

# HERBALISM

N<sup>o</sup>1(11)/2025

ISSN 2450-4963



| CZASOPISMO NAUKOWE |

# HERBALISM

nr 1(11)/2025

| CZASOPISMO NAUKOWE |

## **Rada Naukowa**

*Prof. dr hab. Grzegorz Bazylak (Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Bydgoszczy)*  
*Prof. dr hab. Stanisław Boryczka (Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach)*  
*Prof. dr hab. Józefa Chrzanowska (Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu)*  
*Prof. dr hab. Adam Kaznowski (Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu)*  
*Prof. dr hab. Wolodymyr Lychowczor (Lwowski Narodowy Uniwersytet Rolniczy, Ukraine)*  
*Prof. dr hab. Rafał Matkowski (Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu)*  
*Prof. dr hab. Roman Niżnikowski (Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie)*  
*Prof. dr hab. Iwona Wawer (Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie)*  
*Prof. dr hab. inż. Jan Grajewski (Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy)*  
*Prof. dr hab. inż. Barbara Sawicka (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie)*  
*Prof. dr hab. inż. Tadeusz Trziszka (Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu)*  
*Prof. dr Elvyra Jariene (Vytautas Magnus University Kauno, Lithuania)*  
*Prof. dr Halil Barış Özel (Bartın University, Türkiye)*  
*Prof. dr Živilė Tarasevičienė (Vytautas Magnus University Kauno, Lithuania)*  
*Prof. Imran Aslan (Bingol University, Türkiye)*  
*Prof. Yuliya Motuzka (State University of Trade and Economics, Ukraine)*  
*Prof. Viola Wambol (Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic, Ukraine)*  
*Dr hab. Katarína Gubiniová (Comenius University Bratislava, Slovak Republic)*  
*Dr hab. Malgorzata Jarosová (University of Economics in Bratislava, Slovak Republic)*  
*Dr hab. Łukasz Łuczaj (Uniwersytet Rzeszowski)*  
*Dr hab. Katarzyna Seidler-Łożykowska (Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich w Poznaniu)*  
*Dr hab. Magdalena Twarużek (Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy)*  
*Dr hab. Mirosław Welz (Wojewódzki Inspektorat Weterynarii w Krośnie)*  
*Dr hab. Danuta Zarzycka (Uniwersytet Medyczny w Lublinie)*  
*Dr hab. inż. Agnieszka Ginter (Uniwersytet w Siedlcach)*  
*Dr hab. inż. Iwona Mystkowska (Akademia Bialska im. Jana Pawła II)*  
*Dr Izabela Betlej (Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie)*  
*Dr Nadeem Ahmad Khan (College Nuh, Haryana, Indie)*  
*Dr Altaf Hussain Lahori (Sindh Madressatul Islam University, Karachi, Pakistan)*  
*Dr Read S. Shehata (Damanhour University, Ministry of Agriculture, Egypt)*  
*Dr Anna Siwiec (Uniwersytet Rzeszowski)*  
*Dr inż. Miroslav Šlosár (Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovak Republic)*  
*Dr Parisa Ziarati (Food and Agricultural Research Center, Pars Arya LTD, Tehran, Iran)*

## **Recenzenci**

*Prof. dr hab. Honorata Danilenko (Vytautas Magnus University Academy, Lithuania)*  
*Prof. dr hab. Ilona Kaczmarczyk-Żebrowska (Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach)*  
*Dr hab. Ireneusz Kapusta (Uniwersytet Rzeszowski)*  
*Dr hab. Elżbieta Sikora (Politechnika Krakowska)*  
*Dr hab. Grażyna Zawiślak (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie)*  
*Dr hab. inż. Katarzyna Dereń (Uniwersytet Rzeszowski)*  
*Dr hab. inż. Anna Kiełtyka-Dadasiewicz (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie)*  
*Dr hab. inż. Jacek Słupski (Uniwersytet Rolniczy w Krakowie)*  
*Dr hab. inż. Renata Tobiasz-Salach (Uniwersytet Rzeszowski)*  
*Dr Aneta Bobryk-Mamczarz (PZZ LUBELLA GMW Sp. z o.o., Sp.k.)*  
*Dr Natalia Dobros (Warszawski Uniwersytet Medyczny)*  
*Dr Paweł Siudem (Warszawski Uniwersytet Medyczny)*  
*Dr Katarzyna Zawada (Warszawski Uniwersytet Medyczny)*  
*Dr Agnieszka Zielińska (Warszawski Uniwersytet Medyczny)*  
*Dr inż. Tomasz Cebulak (Uniwersytet Rzeszowski)*  
*Dr inż. Joanna Kaszuba (Uniwersytet Rzeszowski)*  
*Dr inż. Małgorzata Stryjecka (Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Chełmie)*

## **Redaktor Naczelna**

Dr hab. inż. Barbara Krochmal-Marczak

## **Skład, przygotowanie do druku**

Jadwiga Popowska  
ISSN 2450-4963

## **Redaktorzy Tematyczni**

Dr hab. Katarzyna Paradowska  
Dr Henryk Różański

Pierwotną formą czasopisma HERBALISM jest wersja papierowa

## **Redaktor Statystyczny**

Dr Justyna Kurkowiak

Czasopismo jest indeksowane w bazach: AGRO, PBL GBL, Pol-index, EBSCO, Index Copernicus Journal Master List

## **Sekretarz Redakcji**

Mgr Jolanta Witkoś

## **Wydawca**

Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie  
Polskie Towarzystwo Zielarzy i Fitoterapeutów  
Rynek 1, 38-400 Krosno  
tel.: +48 13 437 55 00  
e-mail: herbalism@pans.krosno.pl  
www.herbalism.edu.pl

## **Projekt okładki**

Anna Czerny / www.annczerny.pl

## **Korekta**

Magdalena Rudnik

## Spis treści

|  |     |
|--|-----|
| <b>Yield and antioxidant properties of herb and root of Ashwagandha (<i>Withania somnifera</i> L.) grown with permaculture under Subcarpathian conditions</b><br>Plonowanie oraz właściwości antyoksydacyjne ziela i korzeni witanii ospałej ( <i>Withania somnifera</i> L.), uprawianej metodą permakulturową w warunkach Podkarpacia<br>Elżbieta Pisulewska, Barbara Krochmal-Marczak, Paulina Jędrzejewska, Grażyna Chałubiec-Skoczylas, Marta Pisarek, Bernadetta Bienia . . . . . | 7   |
| <b>Porównanie właściwości antyoksydacyjnych i cytoprotekcyjnych ekstraktów roślinnych z trzech odmian nasion czarnuszki</b><br>Comparison of antioxidant and cytoprotective properties of plant extracts from three varieties of nigella seeds<br>Daniel Przybyło, Agnieszka Mokrzyńska, Aleksandra Ziemlewska . . . . .   | 22  |
| <b>Ocena właściwości przeciwutleniających <i>in vitro</i> żołądki <i>Quercus rubra</i> pochodzących z różnych lokalizacji</b><br>In vitro evaluation of antioxidant properties of <i>Quercus rubra</i> acorns from different locations<br>Dominika Szynal, Adam Klimowicz . . . . .  | 35  |
| <b>Liście jabłoni jako źródło składników bioaktywnych</b><br>Apple leaves as a source of bioactive compounds<br>Małgorzata Tabaszewska, Radosława Skoczeń-Słupska, Patrycja Wójcik, Grzegorz Tokarczyk . . . . .   | 49  |
| <b>Cenne właściwości czosnku pospolitego (<i>Allium sativum</i> L.)</b><br>Valuable properties of common garlic ( <i>Allium sativum</i> L.)<br>Agnieszka Ginter, Krystyna Zarzecka, Iwona Mystkowska . . . . .   | 64  |
| <b>„Pszeniczna rewolucja” a zdrowotne aspekty konsumpcji</b><br>„Wheat Revolution” and the health aspects of consuming<br>Ewa Płażuk, Iwona Mystkowska . . . . .   | 75  |
| <b>Rola wybranych surowców roślinnych w zmniejszaniu stężenia cholesterolu we krwi</b><br>The role of selected plant materials in reducing blood cholesterol levels<br>Krzysztof Błęcha . . . . .  | 93  |
| <b>Kofeina jako kluczowy składnik suplementów diety dla sportowców</b><br>Caffeine as a key ingredient in dietary supplements for athletes<br>Klaudia Bernat, Iwona Mystkowska . . . . .   | 103 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Analiza preparatów zawierających kofeinę przeznaczonych dla sportowców</b><br>Analysis of preparations containing caffeine for use by athletes<br>Alicja Chrzanowska, Julia Makulec, Katarzyna Paradowska . . . . .  | 115 |
| <b>Wpływ preparatów roślinnych na ograniczenie stresu u roślin</b><br>The influence of plant preparations on reducing stress in plants<br>Anna Sikorska, Ewelina Pietrzak, Marek Gugąła. . . . .  | 129 |
| <b>Konserwanty – niezbędne dla przedłużenia okresu przydatności preparatu kosmetycznego</b><br>Preservatives – indispensable in prolonging the shelf life of a cosmetic preparation<br>Oliwia Szambora, Katarzyna Paradowska. . . . .   | 153 |
| <b>Efektywność rolnicza i fizjologiczna nawożenia azotem kukurydzy (<i>Zea Mays</i> L.) uprawianej na ziarno</b><br>Agricultural and physiological efficiency of nitrogen fertilization of corn ( <i>Zea Mays</i> L.) grown for grain<br>Marek Niewęglowski, Anna Sikorska, Marek Gugąła, Ewa Krasnodębska, Krystyna Zarzecka . . . . . | 173 |
| <b>Znaczenie światła, rytmu okołodobowego oraz snu dla zdrowia z uwzględnieniem fitoterapii w zaburzeniach snu</b><br>Importance of light, circadianrhythm and sleep for health with consideration of phytotherapy in sleepdisorders<br>Anna Moskal, Małgorzata Moskal-Szybka, Renata Dziubaszewska . . . . .                           | 190 |
| <b>Zielnik osobisty. Ekslibrisy – małe formy graficzne Krzysztofy Lachtary</b><br>Personal herbarium. Ekslibrises – small graphic forms by Krzysztofa Lachtara<br>Katarzyna Tulik. . . . .  | 202 |
| <b>Etymologia polskich nazwisk pochodzących od nazw roślin zielarskich (cz. 1)</b><br>Etymology of polish surnames derived from the name of herbal plants (part 1)<br>Zbigniew Dobrzański, Barbara Krochmal-Marczak, Jolanta Witkoś . . . . .   | 211 |

## Szanowni Czytelnicy!

Z ogromną radością oddajemy w Państwa ręce jedenasty numer czasopisma „Herbalism”. Tegoroczna edycja obfituje w inspirujące i rzetelnie opracowane artykuły naukowe, których autorzy zgłębiają tematykę roślin leczniczych, ich właściwości prozdrowotnych oraz znaczenia w kontekście zrównoważonego rolnictwa i ochrony zdrowia. Jednym z ważnych zagadnień poruszanych w tym numerze jest analiza plonowania oraz właściwości antyoksydacyjne ziela i korzeni witanii ospalej (*Withania somnifera* L.), uprawianej metodą permakulturową w warunkach Podkarpacia. Roślina ta, znana również jako ashwagandha, od wieków wykorzystywana jest w medycynie ajurwedyjskiej, a współczesne badania naukowe coraz częściej potwierdzają jej potencjał jako naturalnego adaptogenu wspomagającego organizm w walce ze stresem oksydacyjnym. Na uwagę zasługują również badania dotyczące właściwości antyoksydacyjnych i cytoprotekcyjnych ekstraktów roślinnych z trzech odmian nasion czarnuszki oraz oceny właściwości przeciwutleniających żołądki *Quercus rubra* pochodzących z różnych lokalizacji. W kontekście ochrony zdrowia szczególnie interesujący jest artykuł „Liście jabłoni jako źródło składników bioaktywnych”, który przybliży wartość odżywczą oraz potencjalne zastosowanie tych często niedocenianych surowców roślinnych. Równie istotne są badania dotyczące cennych właściwości czosnku pospolitego (*Allium sativum* L.), który od wieków uważany jest za naturalny antybiotyk o szerokim spektrum działania.

Przedstawione badania naukowe koncentrują się na obecności bioaktywnych składników, które mają istotne znaczenie w kontekście zdrowia publicznego oraz wpływają na możliwości zrównoważonego rozwoju rolnictwa. Może to prowadzić do podniesienia wiedzy na temat zdrowotnych właściwości roślin, co jest szczególnie ważne, biorąc pod uwagę rosnącą popularność naturalnych suplementów i produktów ekologicznych.

Tegoroczne wydanie „Herbalizmu” nie ogranicza się jednak wyłącznie do problematyki roślin leczniczych. Szczególną uwagę poświęcono także kwestiom związanym ze zdrowym żywieniem oraz dietetyką. Jednym z ważkich zagadnień poruszanych w niniejszym tomie jest wpływ wybranych surowców roślinnych na redukcję poziomu cholesterolu we krwi, co jest kluczowe dla profilaktyki chorób sercowo-naczyniowych. Równie interesujące są analizy dotyczące kofeiny – zarówno jako składnika suplementów diety dla sportowców, jak i jej wpływu na wydolność fizyczną. Te zagadnienia stają się coraz bardziej istotne w kontekście rosnącego zainteresowania naturalnymi metodami wspierania organizmu, zwłaszcza wśród osób prowadzących aktywny tryb życia.

Warto także zwrócić uwagę na artykuły dotyczące wpływu preparatów roślinnych na ograniczenie stresu u roślin, co może mieć kluczowe znaczenie w kontekście

zrównoważonego rolnictwa i zmieniającego się klimatu. Z kolei w obszarze technologii istotnym zagadnieniem jest analiza konserwantów i ich roli w przedłużaniu trwałości kosmetyków.

Ponadto w tym numerze znajdują Państwo również badania dotyczące efektywności nawożenia azotem kukurydzy (*Zea mays* L.) uprawianej na ziarno, co stanowi istotny wkład w rozwój nowoczesnych technik rolniczych.

Nie zabrakło również tematów dotyczących wpływu światła, rytmu okołodobowego oraz snu na zdrowie człowieka, ze szczególnym uwzględnieniem roli fitoterapii w leczeniu zaburzeń snu. To zagadnienie nabiera coraz większego znaczenia, zwłaszcza w kontekście współczesnego stylu życia, w którym niedobór snu i zaburzenia rytmu dobowego stanowią coraz większe wyzwanie zdrowotne.

Miłośników małych form sztuki z pewnością zainteresuje artykuł „Zielnik osobisty. Ekslibrisy – małe formy graficzne Krzysztofy Lachtary”, poświęcony twórczości jednej z nielicznych polskich artystek specjalizujących się w grafice inspirowanej światem roślin. Ciekawym uzupełnieniem tej tematyki jest także analiza etymologii polskich nazwisk wywodzących się od nazw roślin zielarskich, co może stanowić fascynujący wgląd w historię języka i kultury.

Mamy nadzieję, że tegoroczny numer „Herbalismu” dostarczy Państwu wielu inspiracji oraz stanie się cennym źródłem wiedzy zarówno dla badaczy, jak i dla wszystkich pasjonatów roślin i ich właściwości. Wyniki zaprezentowanych badań nie tylko poszerzają naszą wiedzę na temat potencjału roślin w kontekście zdrowia i rolnictwa, ale również mogą stanowić podstawę do dalszych prac naukowych i praktycznych wdrożeń.

Serdecznie zapraszamy do lektury oraz do współtworzenia kolejnych numerów naszego czasopisma. Osoby prowadzące badania w szeroko pojętym obszarze roślin leczniczych, surowców roślinnych oraz ich wpływu na zdrowie i środowisko zachęcamy do nadsyłania swoich tekstów, komentarzy i głosów polemicznych na adres redakcji.

Życzymy inspirującej lektury i owocnych refleksji!

Redaktor Naczelna  
*dr hab. inż. Barbara Krochmal-Marczak*

## **Yield and antioxidant properties of herb and root of Ashwagandha (*Withania somnifera* L.) grown with permaculture under Subcarpathian conditions**

### **Plonowanie oraz właściwości antyoksydacyjne ziela i korzeni witanii ospałej (*Withania somnifera* L.), uprawianej metodą permakulturową w warunkach Podkarpacia**

Elżbieta Pisulewska<sup>1</sup>, Barbara Krochmal-Marczak<sup>1</sup>, Paulina Jędrzejewska<sup>1</sup>,  
Grażyna Chałubiec-Skoczylas<sup>2</sup>, Marta Pisarek<sup>1</sup>, Bernadetta Bienia<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State University of Applied Sciences in Krosno, Rynek 1, 38-400 Krosno, e-mail: barbara.marczak@pans.krosno.pl

<sup>2</sup> Autorska Pracownia Architektoniczna, ul. Górna 11/11, 30-094 Kraków

---

**Keywords:** permaculture, ashwagandha, herb, root, yield, extracts, antioxidant properties

**Słowa kluczowe:** permakultura, witania ospała, ziele, korzeń, plon, ekstrakty, właściwości antyoksydacyjne

---

### **Abstract**

The aim of this study was to conduct a pilot experiment on the cultivation of ashwagandha (*Withania somnifera* L.) using the permaculture method, to estimate the yield of the herb and roots of this species and to determine their antioxidant properties. The field experiment was conducted in 2024 in the Subcarpathian voivodeships (50°82' N 23°54' E), Poland. The experiment was established in raised beds using the permaculture method on lasagne-type perches.

The average herb fresh weight yield was 7.422 kg/m<sup>2</sup>. Herb dry matter yield was 2.186 kg/m<sup>2</sup>, root fresh weight yield was 1.569 kg/m<sup>2</sup> and root dry matter yield was 0.594 kg/m<sup>2</sup>. Both the herb and the roots of ashwagandha hold antioxidant properties; however, the level of antioxidant properties depended on the harvest date. The highest level of antioxidant properties was observed in samples of the herb harvested in August, i.e. on the first harvest date. This value was 33.55% higher compared to the herb sample collected in October (second harvest date). The harvested roots of ashwagandha were characterised by different levels of antioxidant properties in the different harvest dates. In this case, the highest level of antioxidant properties was recorded in root samples collected at the end of the ashwagandha growing season, i.e. at harvest date II. It was also observed that the level of antioxidant properties of the herb and the roots of ashwagandha depended on the type of solvent used to prepare the extracts.

## Streszczenie

Celem badań było przeprowadzenie pilotażowego doświadczenia dotyczącego uprawy witanii ospałej (*Withania somnifera* L.) metodą permakulturową, oszacowanie wielkości plonów ziela i korzeni tego gatunku oraz określenie ich właściwości antyoksydacyjnych. Doświadczenie polowe przeprowadzono w 2024 r. w Polsce na terenie województwa podkarpackiego (50°82' N 23°54' E). Eksperyment zrealizowano na podniesionych zagonach metodą permakulturową na grzędach typu lazagne. Średni plon świeżej masy ziela wynosił 7,422 kg/m<sup>2</sup>. Plon suchej masy ziela kształtował się na poziomie 2,186 kg/m<sup>2</sup>, plon świeżej masy korzeni wynosił 1,569 kg/m<sup>2</sup>, zaś plon suchej masy korzeni 0,594 kg/m<sup>2</sup>. Zarówno ziele, jak i korzenie witanii ospałej posiadają właściwości antyoksydacyjne, jednakże ich poziom zależał od terminu zbioru. Najwyższy poziom właściwości antyoksydacyjnych zaobserwowano w próbkach ziela zebranego w sierpniu, czyli w I terminie zbioru. Wartość ta była wyższa o 33,55% w porównaniu do próbek ziela zebranego w październiku (II termin zbioru). Zebrane korzenie witanii ospałej cechowały się różnym poziomem właściwości antyoksydacyjnych w zależności od terminu zbioru. Przy czym w tym przypadku najwyższy poziom właściwości antyoksydacyjnych zanotowano w próbkach korzeni zebranych pod koniec okresu wegetacji rośliny, czyli w II terminie zbioru. Zaobserwowano również, że poziom właściwości antyoksydacyjnych ziela oraz korzeni witanii ospałej zależał od rodzaju rozpuszczalnika użytego do przygotowania ekstraktów.

## Introduction

The word permaculture was coined from a combination of the words permanent and agriculture, in line with the belief that culture alone could not survive without agriculture and a land use ethics [1, 2]. Permaculture is based on the observation of natural systems, combining the traditions of ancient agricultural systems with the achievements of modern scientific and technological knowledge. Its aim is to replicate systems found in nature, while creating an environment geared towards the production of food for humans and animals. Permaculture systems are, by design, both environmentally friendly and economically efficient.

Satisfying the needs of oneself and of the nearest people and beings, without polluting or over-exploiting the environment, is the goal of every permaculturist [2, 3, and 4]. Permaculture involves leaving the garden or crop to nature, with very little or no interference by the user in the processes taking place. Permaculture gardens and crops make use of natural processes occurring in nature, for example in the soil under the influence of soil organisms or the interaction between plants and animals. For this reason, permaculture proponents dispense with digging, weeding and watering. They also do not remove organic residues which, once decomposed, enrich the soil and contribute to water retention [5, 6].

They do not use chemical treatments. Ornamental plants or vegetables can be grown in boxes, which allow more demanding species of plants to be grown in a weak site and improve garden design. They make it easier to control the soil pH and fertilise the site. Permaculture strives for self-sufficiency, creates healthy ecosystems, cares for biodiversity and efficient use of resources while also making work easier as there is no need to bend down [5, 7].

Although there is an increasing amount of information on this cultivation system, there is still a lack of scientific reports on yield effects and ready instructions on permaculture cultivation technology. Therefore, the aim of the present study was to conduct a pilot experiment using the permaculture method with the herb ashwagandha (*Withania somnifera* L.), to estimate the yield of the herb and roots of this species and to determine the antioxidant properties of the obtained raw material.

## Material and Methods

### Plant Material

A field experiment on the cultivation of ashwagandha was conducted in 2024 at the Experimental Field of the State University of Applied Sciences in Krosno, located in Subcarpathian Voivodship 50°82' N 23°54' E), Poland. The experiment was established in raised beds using permaculture method on lasagne-type perches. For this purpose, wooden boxes measuring 1.00 x 0.75 x 5.75 m were prepared.

The boxes were then divided into 1 x 1m<sup>2</sup> experimental fields. The boxes were directly set on the grass. They were filled from underneath with cardboard boxes (without adhesive tape, foil, varnish, etc.). The next layer consisted of shredded dry branches, sticks and old rotten planks (which will turn into rich organic matter over time and under the action of microorganisms).

The wood layer was covered with straw and a layer of compost mixed with soil. The last layer was the compost itself, on which the ashwagandha seedlings were planted. The experiment was repeated in 4 replications. The seedlings came from seeds purchased from a garden shop in Krosno territory.

Before sowing, the seeds were soaked in tap water for 24h, then sown shallowly in a mixture of soil (garden and organic soil) and compost (50:50) in multi pots and covered with perlite. The multicups were kept in the greenhouse at temperatures above 10°C. After a week, the first emergence took place. When the seedlings were 7 cm long, they were transplanted into P9 production pots filled with a 50:50 soil/compost mixture. The plants were watered every three days.

Approximately, after 5 weeks since sowing, the seedlings were planted out into a permanent place at a spacing of 30x25 cm. Plant care during the growing season consisted of hand weeding, soil loosening and irrigation as needed. In order to carry out tests for the evaluation of antioxidant properties, harvesting of the herb and roots was done twice during the vegetation of ashwagandha i.e.: 1st date – 20 August, 2nd date – 30 September.

After harvesting, the raw material was washed, crushed into small pieces, frozen at  $-25^{\circ}\text{C}$  and then lyophilised (0.37 mBa) for 48h, in a FreeZone 12L lyophiliser, from Labconco (Labconco Corporation Kansas City, MO, USA). The resulting freeze-dried samples were stored at  $5^{\circ}\text{C}$  in dark glass containers, out of light. The final harvest of ashwagandha was carried out by hand on the 5<sup>th</sup> of October at harvest maturity. Immediately after harvesting, the fresh weight yield of the herb and roots was determined and, after drying at  $35^{\circ}\text{C}$ , the air-dry weight yield of the herb and roots of ashwagandha was calculated.



**Photo 1.** Ashwagandha during vegetation.

Source: photography by the Author.

## Soil Conditions

Before setting up the field experiment, soil samples were taken from the layer of compost mixed with soil according to the standard [8] in order to determine the abundance of soil in macro- and micro-elements and soil pH in 1 M KCL. These tests were performed by the District Chemical and Agricultural Station in Rzeszów.

**Table 1.** Physicochemical Properties of the Soil.

| Content of macro- and micro-nutrients and organic matter | macronutrients (mg/100g) |      |      | Corg. (%) | Organic matter (%) | pH (KCl) | micronutrients (mg/kg) |       |      |      |
|--|--------------------------|------|------|-----------|--------------------|----------|------------------------|-------|------|------|
|  | P205                     | K20  | Mg   |           |                    |          | Cu                     | Mn    | Zn   | Fe   |
|  | 29.5                     | 41.3 | 15.8 | 1,62      | 2.79               | 6.3      | 5.2                    | 177.5 | 13.5 | 2193 |

Source: Data based on the results obtained by the District Chemical and Agricultural Station in Rzeszów 2024.

The abundance of bioavailable phosphorus, potassium and magnesium was very high, and that of copper, manganese, iron and zinc was medium. The organic matter content of the arable layer was high at 2.79% (Table 1). The results of the study allowed the soil to be classified in the medium agronomic category [9]. The soil was slightly acidic (pH 6.3 in 1M KCl).

## Meteorological Conditions

**Table 2.** Weather Conditions During the Vegetation of Ashwagandha in 2024, According to the Meteorological Station in Dukla

| Year                                     | Months |       |       |       |       |       | Average |
|--|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|  | IV     | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | IV-IX   |
| Rainfall [mm]                            |        |       |       |       |       |       |         |
| 2024                                     | 23.3   | 35.7  | 52.9  | 11.7  | 15.3  | 22    | 27.78   |
| The average sum of long-term (1989-2014) | 55.9   | 95.6  | 100.9 | 116.5 | 30.1  | 53.1  | 79.8    |
| Air temperature [°C]                     |        |       |       |       |       |       |         |
| 2024                                     | 10.03  | 12,37 | 17.13 | 20.37 | 21.33 | 15.53 | 16.2    |
| Long-term average (1989-2014)            | 9.2    | 13.6  | 16.4  | 19    | 19.4  | 14.02 | 15.52   |
| Hydrothermal coefficient                 |        |       |       |       |       |       |         |
| 2024                                     | 2.3    | 2.9   | 3.1   | 0.6   | 0.7   | 1.4   | 1.9     |

Ranges of hydrothermal coefficient values according to Sielianiнов:  $k \leq 0.4$  – extremely dry month;  $0.4 < k \leq 0.7$  – very dry;  $0.7 < k \leq 1.0$  – dry; fairly dry –  $1.0 < k \leq 1.3$ ; optimal –  $1.3 < k \leq 1.6$ ; moderately humid –  $1.6 < k \leq 2.0$ ; humid,  $2.0 < k \leq 2.5$ ; very humid  $2.5 < k \leq 3.0$ ; extremely humid  $k > 3.0$ .

The course of weather during the growing season of ashwagandha was variable, as shown in Table 2. In the analysed period from April to September 2024, there were large differences in the amount of rainfall per month compared to the multi-year average (1989-2014). The year 2024 was classified as moderately humid, as evidenced by the Sielianiнов hydrothermal coefficient values (Table 2).

However, there was a significant variation in the hydrothermal index values between the different months of the ashwagandha growing season. Average rainfall in 2024 reached 27.78 mm per month, but was still far below the multi-year norm. Average air temperatures in 2024 appeared to be higher than the multi-year norm, except for May, which could favour the vegetation of ashwagandha, which prefers warm conditions (Table 2).

### Sample Preparation

Extracts of the herb and roots of ashwagandha were prepared by crushing 0.75g of freeze-dried material in a mortar with 80% methanol (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), topping it up in portions of a total volume of 25 ml. The extraction time was 4 hours. Each sample obtained was aspirated through a funnel with a sintered disk into a 25 ml volumetric flask. The extraction process was carried out at 22°C with limited light. The extracts were stored in the dark at 5°C for one week [10]. Extraction was carried out using four different solvents, i.e. water, 30%, 50% and 70% ethanol.

### Measurement of Antioxidant Properties

The antioxidant properties were measured using the stable DPPH radical. Measurements were performed using spectrophotometric methods with a Genesys 150 UV-Vis spectrophotometer (Thermo Scientific) and wavelengths are given in the method descriptions.

### Measurement of Antioxidant Potential Using the DPPH Radical

One of the more commonly used methods for the measurement of antioxidant activity is that using a DPPH solution. DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) is a free radical with a relatively high persistence and can therefore be easily prepared for testing [11]. The 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical is a dark purple crystalline solid, well soluble in organic solvents and insoluble in water. In alcohol solution, it is dark violet in colour with an absorbance maximum with a wavelength of 517 nm.

Measurement results are usually reported as the number of equivalents of the reference substance or as the radical scavenging rate expressed in %:

$$\text{DPPH radical reduction [\%]} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \cdot 100$$

where:

$A_0$  – absorbance of the control sample

$A_t$  – absorbance of the test sample after the specified time ( $t = 10$  min).

## Statistical Analysis

Statistical analysis of the tested samples was performed using Statistica 13.3 (StatSoft, Visual Basic, TIBCO Software Inc., PL). Herb and root yield and antioxidant property scores were analysed using ANOVA test. Results were expressed as mean  $\pm$  standard deviation and were considered statistically significant at  $p < 0.05$ .

## Results and discussion

### Yield of Fresh and Dry Weight of Herb and Roots

Based on the permaculture ashwagandha cultivation study conducted, the average fresh herb weight yield harvested in October at harvest maturity was 7.422 kg/m<sup>2</sup>.

Plant dry matter yield per 1 m<sup>2</sup> was 2.186 kg/m<sup>2</sup>, root fresh matter yield was 1.569 kg/m<sup>2</sup> and root dry matter yield was 0.594 kg/m<sup>2</sup> (Table 3). These results can be considered high compared to the study of Obidowska et al. [12], who, in their study of a trial of ashwagandha cultivation in Poland under container growing conditions without covers, obtained a fresh herb weight yield of 351.21 g per plant.

**Table 3.** Fresh and Dry Weight Yield of Herb and Root of Ashwagandha

| Feature         | yield kg/m <sup>2</sup> | Min  | Max  | Yield per 1 plant kg/m <sup>2</sup> |
|-----------------|-------------------------|------|------|-------------------------------------|
| fresh herb mass | 7.422 $\pm$ 1,40a       | 5.95 | 9.85 | 0.742                               |
| herb dry matter | 2.186 $\pm$ 0,43b       | 1.77 | 2.87 | 0.218                               |
| fresh root mass | 1.569 $\pm$ 0.21c,b     | 1.24 | 1.92 | 0.156                               |
| dry root mass   | 0.594 $\pm$ 0.08c       | 0.44 | 0.68 | 0.059                               |

$\pm$  Standard deviation

Explanation: a-c average values denoted by different letters in the rows are statistically significant different at  $p \leq 0.05$

The high fresh weight yield of herb and root of ashwagandha in our study may have been due, among other things, to the very high content of elements, i.e. phosphorus, potassium and magnesium, in the soil (Table 1). According to Williamson et al. [13] permaculture cultivation in raised beds is characterised by significantly higher yields and better raw material quality compared to conventional practices.

According to these authors, permaculture methods focus on imitating the natural recycling of the ecosystem through the addition of organic matter, minimal soil disturbance and species diversity of the plants grown. They are featuring the promotion of microbial activity and plant synergy. All these activities contribute to a significantly higher carbon, nutrient and organic matter content compared to conventionally cultivated soil.

Similar yield results of above and below ground parts of ashwagandha under raised bed conditions were also obtained by Prajapati et al. [14], Pandey and Shukla [15] and Arand et al. [16]. On the other hand, Noworolnik [17] in his study on the effect of soil quality on the yield of aboveground parts of plants describes that, among many habitat-agronomic factors, soil conditions and especially their nutrient abundance (besides nitrogen fertilisation), have the strongest effect on yield.

According to Helfenstain et al. [18], zinc is a very important nutrient for ensuring the correct course of vital processes in the plant. According to the studies of these authors, zinc participates in nitrogen metabolism, thanks to which the plant rapidly absorbs this element and produces a higher yield of green mass. In our study, the soil zinc content was at an average level of 13.5 mg/kg (Table 1).

According to Ukalska-Jaruga et al. [19], the yield of both above- and below-ground parts of the plant is strongly influenced by the content of organic matter in the soil, which, by influencing the physical, chemical and biological properties of soils, affects their productive function. In addition, research by Księżak [20] reports that the organic matter available in the soil is a source of nutrients for plants and readily available carbon for many groups of microorganisms, and also has a retention function.

In our research, the value of this property was 2.79 % p.s.m. and can be considered high. According to Trawczyński [21] and Janowiak and Spsychaj-Fabisiak [22], one of the main measures of soil fertility is the content of organic carbon in the soil, which at the same time is a basic determinant of soil productive capacity.

In our study, the organic carbon content of the soil was at an average level of 1.62 %. According to Neina [23] and Widłak [24], soil pH also plays a major role in plant yield. The value of this trait in our study was 7.1 pH and was defined as neutral. According to Kloc-Szatnik [25], most horticultural plants grow and develop best at a pH of 6.2-7. *Withania somnifera* belongs to the group of plants that yield noticeably better in neutral soil.

Similar reports in Rajeswara's work [26] state that ashwagandha grows well in well-drained sandy, sandy and loam soils with light texture and pH of 7.0-8.0. According to Srivastava et al. [27], the high yield of herb and roots of ashwagandha is also influenced by meteorological conditions and especially air temperature, which should be between 20°C and 31°C.

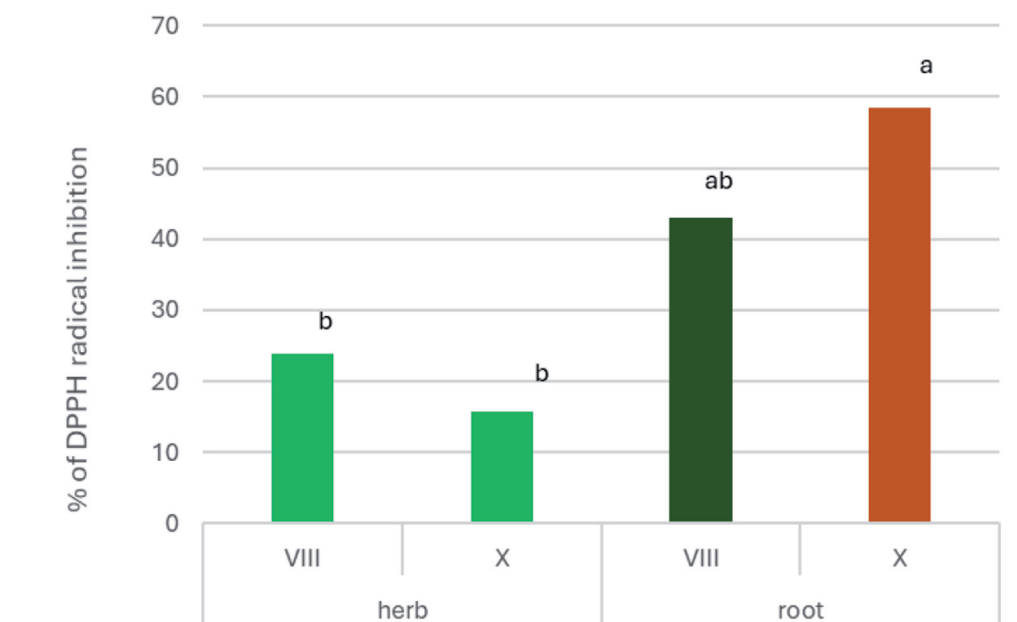
This is confirmed by authors' own research, where air temperatures in 2024 were higher than the multi-year average except in May, which may have favoured the vegetation of ashwagandha, which prefers warm weather conditions during growth and development.

## Antioxidant Properties of the Herb and Root

The DPPH reagent method is widely used to measure the antioxidant capacity of natural raw materials: fruit, juices, plant extracts, food. It is especially often used in the determination of the antioxidant properties of phenolic compounds [28]. It is fast and accurate, and the results obtained are reproducible and comparable with values obtained from other tests using free radical scavenging capacity [29].

Analysing the data obtained after the DPPH radical test on the antioxidant properties of the extracts of the herb and the root of ashwagandha, it can be concluded that both the herb and the roots of ashwagandha hold antioxidant properties, however, a higher value of the tested trait was obtained in the roots of ashwagandha. It was also observed that the degree of DPPH radical reduction varied between harvesting dates for both the herb and roots of this species (Figure 1).

The highest level of antioxidant properties was observed in the samples of herb harvested in August, i.e. on the first harvest date. This value was 33.55% higher compared to the herb sample collected in October (second harvest date) (Figure 1). The harvested roots of ashwagandha had different levels of antioxidant properties in the different harvest dates.



**Figure 1:** DPPH test for comparison of antioxidant properties in the herb and in the root at different harvest dates.

Explanation: a-b mean values denoted by different letters in the rows are statistically significant different at  $p \leq 0.05$

Whereas, in this case, the highest level of antioxidant properties was observed in root samples collected at the end of the ashwagandha growing season, i.e. at harvest date II. The degree of DPPH radical reduction for these samples ranged from 38.10-78.11% and was 36% higher than root extract samples harvested in August (harvest date I). Jeziarska and Sykuła [30] obtained values ranging from  $22.22 \pm 0.069$  to  $33.03 \pm 0.074$  in ashwagandha herb extracts.

Lower values than the above discussed in the extracts from ashwagandha herb were obtained by Jeziarska and Sykuła [31], which ranged from  $22.22 \pm 0.069$  to  $33.03 \pm 0.074$ . According to many authors, the prevailing climatic conditions during the growing season shape the intensity of abiotic stress factors (UV radiation, temperature, precipitation) being the main factor modelling the synthesis of secondary metabolites, the level of which depends on the vegetative part of the plant and its developmental stage [32, 33].

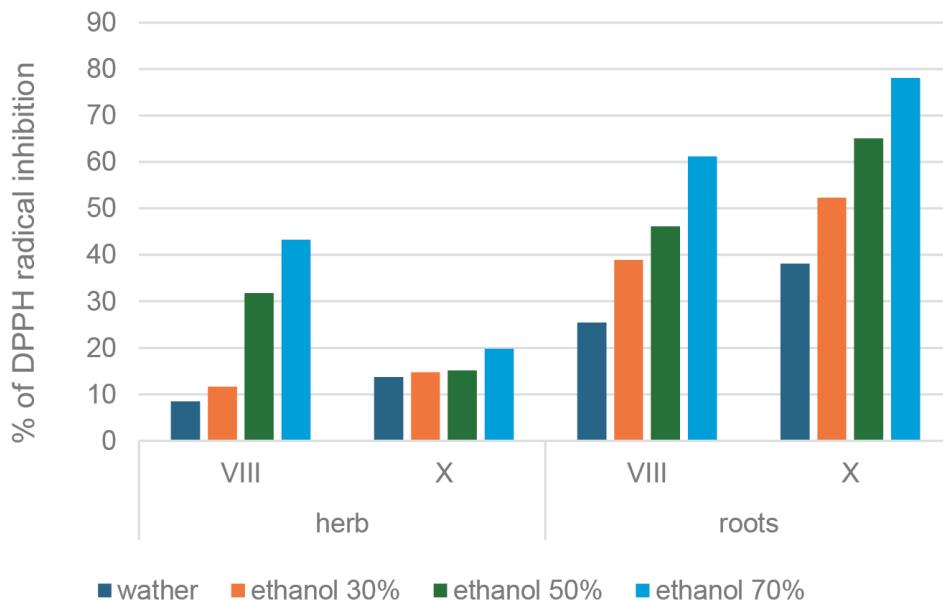
According to Gupta et al. [34], exposure to sunlight can affect photosynthesis and the production of secondary metabolites, which often have antioxidant effects. According to our study, the level of antioxidant properties of the ashwagandha herb may have been affected by weather conditions, as there were high air temperatures and there was a drought from July to August (Table 1).

The research results of Fernando et al. [35], reported that extracts from the above-ground parts of ashwagandha showed significant variation in the levels of antioxidant properties at different growth stages of this species. In the study of these authors, the highest total free radical scavenging capacity was achieved by extracts from the herb harvested just after the flowering stage. This is confirmed by the results of our own study, where the highest level of free radical scavenging was observed for extracts from the herb harvested in August, i.e. just after flowering. Sharma et al. [36, 37] in their study prove that the DPPH radical scavenging potential may also depend on the location of the plantation where the ashwagandha is grown.

In the authors' study, it was observed that the level of antioxidant properties of the herb and roots of ashwagandha depended not only on the date of harvesting but also on the type of solvent used to prepare the extracts.

The weakest free radical scavenging capacity was observed in aqueous extracts compared to ethanol extracts, with alcohol extracts prepared with 70% ethanol holding the highest free radical scavenging capacity, with values ranging from 19.80-78.11%. The aqueous extracts had the weakest oxidative properties. The degree of DPPH radical reduction for these samples ranged from 8.5-38.10%. In a study by Dhanani et al. [38], the aqueous extracts of *W. somnifera* also obtained the lowest free radical scavenging activity compared to the alcoholic extracts. The results of our study are also consistent with the study of Ezaez et al. [39],

who observed the highest DPPH scavenging potential in methanolic extracts ( $81.98 \pm 0.49\%$ ), followed by acetone extracts ( $62.57 \pm 1.14\%$ ) and the lowest in aqueous extracts ( $53.72 \pm 1.32\%$ ).



**Figure 2:** Effect of aqueous and alcoholic extracts on the antioxidant properties of the herb and roots of ashwagandha at different harvest dates.

## Conclusion

In conclusion, the results of the pilot study on the cultivation of ashwagandha on raised beds using the permaculture method under the conditions of the Subcarpathian Voivodship, it can be stated that this method developed favourable soil conditions for the cultivation of this species, which brought tangible benefits in the form of high herb and root yield. The herbs, as well as the roots of ashwagandha, hold antioxidant properties, and their level depended on the harvest date. The highest level of antioxidant properties was observed in samples of the herb harvested in August, i.e. on the first harvest date. The collected roots of ashwagandha were also characterised by different levels of antioxidant properties in the different harvest dates.

Notably, the highest level of antioxidant properties was recorded in root samples collected at the end of the ashwagandha vegetation period, i.e. at harvest date II. It was also observed that the level of antioxidant properties of the herb and the

roots of ashwagandha depended on the type of solvent used to prepare the extracts. However, further research in this direction is required for the results obtained to provide implementation instructions for the cultivation of this species.

Several years of research results will allow the development of a detailed cultivation technology under permaculture cultivation conditions, and will also indicate the optimum time for harvesting the herb and roots, in order to obtain a raw material with the highest antioxidant properties. Continued research on ashwagandha should in future also include traditional field cultivation and the size and quality of the raw material obtained. It also seems necessary to determine the withanolides in the herb and roots of ashwagandha depending on the cultivation technology used.

*Publikacja w ramach projektu badawczego pn. „Rola roślin zielarskich i barwierskich w ekologicznym systemie gospodarowania”, dofinansowanego ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu pn. „Nauka dla Społeczeństwa II”.*

## References

- [1] Holmgren D., Permaculture – Principles and Pathways beyond Sustainability, Holmgren Design Services, Victoria, Australia 2002.
- [2] Alakendu P.R., Afiya S., Senthilkumar S., Manivannan S., Permaculture: A Sustainable Farming Approach for Modern Era, Haya: Saudi Journal of Life Science, 2024, 9(7), pp. 305–312.
- [3] Bhandari D., Bisto B., Permaculture: A Key Driver for Sustainable Agriculture in Nepal, International Journal of Applied Sciences and Biotechnology, 2019, 7(2), pp. 167–173.
- [4] Fadaee S., The permaculture movement in India: A social movement with Southern characteristics, Social Movement Studies, 2019, 18(6), pp. 720–734.
- [5] Rhodes C.J., Permaculture: Regenerative – not merely sustainable, Science Progress, 2015, 98(4), pp. 403–412.
- [6] Maye D., Examining innovation for sustainability from the bottom up: An analysis of the permaculture community in England, Sociologic Ruralise, 2018, 58(2), pp. 331–350.
- [7] Krebs J., Bach S., Permaculture – Scientific evidence of principles for the agroecological design of farming systems, Sustainability, 2018, 10(9), p. 3218.

- [8] PN-R-04031: 1997. Instrukcja pobierania próbek glebowych.
- [9] Mocek A., Gleboznawstwo, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.
- [10] Kostecka-Gugała A., Kruczek M., Ledwożyw-Smołeń I., Kaszycki P., Antioxidants and Health-Beneficial Nutrients in Fruits of Eighteen Cucurbita Cultivars: Analysis of Diversity and Dietary Implications, *Molecules*, 2020, 25, p. 1792.
- [11] Cybul M., Nowak R., Przegląd metod stosowanych w analizie właściwości antyoksydacyjnych wyciągów roślinnych, *Herba Polonica*, 2008, 1, pp. 68–78.
- [12] Obidoska G., Sadowska A., Próby uprawy polowej *Withania somnifera* (L.) Dun. oraz ocena plonu i wartości surowca krajowego, *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 2004, 233, pp. 173–180.
- [13] Williamson R.F., Reay M., Sgouridis F., Permaculture Management of Arable Soil Increases Soil Microbial Abundance, Nutrients, and Carbon Stocks Compared to Conventional Agriculture, *Agronomy*, 2024, 14, p. 1446.
- [14] Prajapati R.K., Sunil P., Nagauria M.N., Koulini S.R., Effect of sowing method on growth and yield of Ashwagandha in black soil under *Gmelina arborea* based agroforestry system, [in:] *Multipurpose Trees in the tropics: Management and improvement strategies*, (eds.) V.P. Tewari and R.L. Srivastava, Arid Forest Research Institute, 2005, pp. 343–346.
- [15] Pandey P.K., Shukla P.K., Studies on propagation of Ashwagandha (*Withania somnifera* Dunal), *Journal of Non-Timber Forest Products*, 2004, 11, pp. 131–134.
- [16] Anand R.K., Dwivedi S.V., Sagar V., Effect of sowing methods on growth, yield and economics of ashwagandha (*Withania somnifera* Dunal) under rainfed conditions, *Progressive Horticulture*, 2016, 48(2), pp. 136–140.
- [17] Noworolnik K., Warunki glebowe a plonowanie zbóż i ich współdziałania z czynnikami agrotechnicznymi, *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2015, 44(18), pp. 119–133.
- [18] Helfenstein J., Müller I., Grüter R., Bhullar G., Mandloi L., Papritz A., Siegrist M., Schulin R., Frossard E., Organic Wheat Farming Improves Grain Zinc Concentration, *PLoS ONE*, 2016, 11(8), pp. 1–20.
- [19] Ukalska-Jaruga A., Smreczak B., Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Rola materii organicznej w procesach akumulacji trwałych zanieczyszczeń organicznych (TZO) w glebach, *Polish Journal of Agronomy*, 2015, 20, pp. 15–23.
- [20] Książak J., Kęsik K., Wpływ nawożenia mineralnego i organicznego na plonowanie i jakość nasion bobiku, *Polish Journal of Agronomy*, 2017, 31, pp. 52–62.
- [21] Trawczyński C., Bilans azotu, fosforu i potasu drugiej rotacji płodozmianu w systemie produkcji ekologicznej na glebie lekkiej, *Fragmenta Agronomica*, 2015, 32(2), pp. 87–96.
- [22] Janowiak J., Spychaj-Fabisiak E., Próchnicotwórcza rola słomy przyorywanej bez obornika i razem z obornikiem na tle zróżnicowanego nawożenia azotem na glebie lekkiej, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2006, 512, pp. 201–207.
- [23] Neina D., The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation, *Applied & Environmental Soil Science*, 2019, pp. 1–9.

- [24] Widłak M., Zmienność wybranych parametrów gleb ornych w okresie cyklu wegetacyjnego roślin, *Annual Set The Environment Protection*, 2016, 18, pp. 803–814.
- [25] Kloc-Szatnik A., Wpływ pH na zawartość manganu w roślinach pochodzących z siedlisk naturalnych i uprawianych w kulturach wodnych, *Acta Agrophysica*, 2001, 57, pp. 139–146.
- [26] Rajeswara B.R., Opportunities and challenges in the cultivation of Ashwagandha (*Withania somnifera* (L.) Dunal), *Journal of Pharmacognosy*, 2012, 3(2), pp. 88–91.
- [27] Srivastava M.P., Gupta S., Dixit S., Yadav N., Yadav V., Hina S., Singh H., Kanaujia P., Sharma Y.K., *Withania somnifera* (Ashwagandha): A wonder herb with multiple medicinal properties, *Asian Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2018; 4(2), pp. 123–130.
- [28] Nenadis N., Tsimidou M., Observations on the estimation of scavenging activity of phenolic compounds using rapid 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) tests, *Journal of the American Oil Chemists Society*, 2002, 79, pp. 1191–1195.
- [29] Sanchez-Moreno C., Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems, *Food Science and Technology International*, 2002, 8(3), pp. 121–137.
- [30] Tousif M.I., Nazir M., Saleem M., Tauseef S., Uddin R., Altaf M., Zengin G., Ak G., Ozturk R.B., Mahomoodally M.F., Exploring the industrial importance of a miracle herb *Withania somnifera* (L.) Dunal: Authentication through chemical profiling, in vitro studies and computational analyses, *Process Biochemia*, 2022, 121, pp. 514–528.
- [31] Jezierska A., Sykuła A., Antioxidant properties of *Moringa oleifera* and *Withania somnifera* extracts and their use in cosmetics for men, *Biotechnology Food Science*, 2023, 85(1), pp. 34–42.
- [32] Ghasemzadeh A., Omidvar V., Jaafar Z.H., Polyphenolic content and their antioxidant activity in leaf extract of sweet potato (*Ipomoea batatas*), *Journal of Medicinal Plants Research*, 2012, 6, pp. 2971–2976.
- [33] Truong V.D., McFeeters R.F., Thompson R.T., Dean L.L., Shofran B., Phenolic acid content and composition in leaves and roots of common commercial sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) cultivars in the United States, *Journal Food Science*, 2007, p. 72, pp. C343–C349.
- [34] Gupta S., Pareek S., Ameta K.D., Sarolia D.K., Paliania S., Kaushik R.A., Shuklaand K.B., Kumari P., Analysis of nutritional composition of sweet potato vines, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2018, 7(2), pp. 104–106.
- [35] Fernando I.D.N.S., Abeysinghe D.C., Dharmadasa R.M., Determination of phenolic contents and antioxidant capacity of different parts of *Withania somnifera* (L.) Dunal. from three different growth stages, *Industrial Crops and Products*, 2013, 50, pp. 537–539.
- [36] Sharma A.K., Basu I., Singh S., Efficacy and safety of ashwagandha root extract in subclinical hypothyroid patients: a double-blind, randomized placebo-controlled trial, *Journal Altern Complement Medicine*, 2018, 24(3), pp. 243–248.

- [37] Sharma R., Samant S., Sharma P., Devi S., Evaluation of antioxidant activities of *Withania somnifera* leaves growing in natural habitats of North-west Himalaya, India, Journal of Medicinal Plants Research, 2012, 6(5), pp. 657–661.
- [38] Dhanani T., Shah S., Gajbhiye N.A. Kumar G.S., Effect of extraction methods on yield, phytochemical constituents and antioxidant activity of *Withania somnifera*, Arabian Journal of Chemistry, 2017, 10(1), pp. 1193–1199.
- [39] Ezez D., Mekonnen N., Tefera M., Phytochemical analysis of *Withania somnifera* leaf extracts by GC-MS and evaluating antioxidants and antibacterial activities, International Journal of Food Properties, 2023, 26(10), pp. 581–590.

## **Porównanie właściwości antyoksydacyjnych i cytoprotekcyjnych ekstraktów roślinnych z trzech odmian nasion czarnuszki**

### **Comparison of antioxidant and cytoprotective properties of plant extracts from three varieties of nigella seeds**

Daniel Przybyło, Agnieszka Mokrzyńska, Aleksandra Ziemlewska

Katedra Technologii Produktów Kosmetycznych i Farmaceutycznych, Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie, ul. mjr. Henryka Sucharskiego 2, 35-225 Rzeszów, e-mail: DanielPrzybylo@outlook.com

---

**Słowa kluczowe:** czarnuszka siewna, właściwości antyoksydacyjne, ekstrakty roślinne, fenole, flawonoidy, cytotoksyczność, keratynocyty

**Keywords:** *Nigella sativa*, antioxidant properties, plant extracts, phenols, flavonoids, cytotoxicity, keratinocytes

---

### **Streszczenie**

Czarnuszka siewna (*Nigella sativa*) to roślina wykorzystywana w medycynie ludowej od wieków ze względu na swoje terapeutyczne właściwości. Czarnuszka jest obiektem wielu badań pod kątem walki z nowotworami, gdyż ma bardzo duży potencjał terapeutyczny w tym zakresie. Roślina ta posiada blisko spokrewnione gatunki z rodzaju *Nigella*, które mogą okazać się równie bogatym źródłem składników terapeutycznych co sama *N. sativa*. W pracy porównano gatunki *N. sativa*, *N. damascena* oraz *N. orientalis* pod względem właściwości antyoksydacyjnych z użyciem syntetycznego rodnika DPPH, a także ogólnej zawartości flawonoidów i związków fenolowych. Ponadto ekstrakty z nasion *N. sativa*, *N. damascena* i *N. orientalis* zbadano pod kątem cytotoksyczności wobec ludzkich komórek skóry – keratynocytów (HaCaT). W celu oceny stopnia żywotności komórek po ekspozycji na różne stężenia ekstraktów z badanych roślin wykonano test Alamar Blue. Najlepsze właściwości antyoksydacyjne wykazał 1% ekstrakt z nasion *N. orientalis*, natomiast biorąc pod uwagę wszystkie stężenia wykorzystane do badania, najbardziej obiecującymi właściwościami cechuje się *N. damascena*, która wykazała również najwyższe wartości w odniesieniu do ogólnej zawartości flawonoidów oraz związków fenolowych.

### **Summary**

Black cumin (*Nigella sativa*) is a plant that has been used in folk medicine for centuries for its therapeutic properties. The object of much research in terms of fighting cancer, showing very high therapeutic potential in this regard. Black cumin has been the subject of much research in terms of fighting cancer, showing very high therapeutic potential in this

regard. The plant has closely related species in the *Nigella* genus, which may prove to be as rich a source of therapeutic ingredients as *N. sativa*. In this study, *N. sativa*, *N. damascene* and *N. orientalis* species were compared in terms of antioxidant properties by DPPH, total flavonoid content and phenolic compounds. In addition, *N. sativa*, *N. damascene* and *N. orientalis* seed extracts were tested for cytotoxicity against human keratinocyte skin cells (HaCaT). An Alamar Blue assay was used to assess the degree of cell viability after exposure to different concentrations of extracts from the tested plants. The significant antioxidant properties were demonstrated by 1% *N. orientalis* seed extract, while considering all concentrations used for the test, the most promising properties were found in *N. damascena*, which also showed the highest values for total flavonoids and phenolic compounds content.

## Wstęp

Czarnuszka siewna (*Nigella sativa*) to jednoroczna, zielna roślina, występująca głównie w ciepłych krajach środkowej Europy, takich jak Rumunia, Bułgaria i Cypr, oraz w krajach Bliskiego Wschodu (Irak, Iran, Turcja) [1]. Osiąga wysokość od 20 do 30 cm. Kwiaty posiadają 5–10 płatków w kolorze żółtym, białym, różowym, jasnoniebieskim lub jasnofioletowym [2]. Jej nasiona cechują się bogatą zawartością składników odżywczych [3]. Charakteryzują się czarnym kolorem, są małe, o trójkątnym kształcie i gruzelkowatej powierzchni [4], płaskie z jednej strony i wypukłe z drugiej [1]. Zawierają witaminy, takie jak tokoferol i niacyna, związki mineralne, takie jak wapń, żelazo, potas i sód, błonnik pokarmowy, aminokwasy, monosacharydy (glukozę, ksylozę i arabinozę), węglowodany, kwasy tłuszczowe, szczególnie nienasycone (kwas oleinowy i linolenowy), a także olejek eteryczny, alkaloidy i saponiny [5–7]. Większość właściwości czarnuszki siewnej przypisuje się tymochininowi, który jest głównym składnikiem olejku eterycznego [1]. Szeroko znany i stosowany jest olej z nasion, który pozyskuje się metodą wytlaczania na zimno, gdyż wówczas uzyskuje się najwyższą obecność fenoli, tokoferolu oraz tymochinonu w porównaniu do metod z użyciem wyższych temperatur [8]. *N. sativa* posiada właściwości: antybakteryjne, przeciwzapalne, antyoksydacyjne, [9] przeciwnowotworowe, [10, 11] hepatoprotekcyjne [12], moczopędne [13], regulacji ciśnienia krwi [14], przeciwbólowe [15], przeciwalergiczne [16], a także przeciwcukrzycowe [17]. Ponadto znajduje ona również zastosowanie w przemyśle kosmetycznym jako składnik preparatów do włosów [18], dezodorantów [19], szamponów, kremów i mydła [20].

Czarnuszka damasceńska (*Nigella damascena*), blisko spokrewniona z *N. sativa*, jednoroczna, zielna roślina występuje w strefie euro-śródziemnomorskiej, rośnie od Makaronezji po basen Morza Śródziemnego (z wykluczeniem Egiptu i Izraela) aż do Iranu. Potrafi osiągać wysokość od 15 do 45 cm. Znalazła miejsce wśród roślin ozdobnych ze względu na szczytowe, samotnie występujące kwiaty składające się z niebiesko-białych płatków otoczonych nitkowatymi liśćmi. W centrum znaj-

dują się wyprostowane pręciki. Nasiona mają trójkątny kształt i są pomarszczone. Ponadto aromatyczny charakter nasion sprawia, że są one używane w kuchni jako przyprawa, np. do sera bądź chleba [21, 22]. Wykazują one właściwości przeciwwirusowe (przeciw wirusowi HSV-1) [23], przeciwzapalne [24], przeciwnowotworowe, antyoksydacyjne [22] i obiecującą właściwość przeciwpyschotyczną [25]. Ponadto wyizolowany z *N. damascena*  $\beta$ -elemene działa antybakteryjnie na bakterie *Mycobacterium tuberculosis* [26].

Czarnuszka orientalna (*Nigella orientalis*), tak jak wyżej wymienione gatunki, jest rośliną jednoroczną, zielną, a także cenioną rośliną ozdobną. Płatki kwiatów posiadają różne kolory, od zielonego, żółtego aż po czerwony, które tworzą wyjątkowe wzory, np. plamki przypominające oczy, rozproszone plamki czy paski [28]. Posiada właściwości przeciwbólowe, przeciwzapalne [27] i antyoksydacyjne [29].

Celem niniejszej pracy było porównanie ekstraktów roślinnych pozyskanych z gatunku *Nigella* (*Nigella sativa*, *Nigella damascena* i *Nigella orientalis*) pod kątem właściwości cytotoksycznych, zdolności do zmiatania wolnych rodników oraz ogólnej zawartości flawonoidów i związków flawonowych.

## **Materiał i metody badań**

### **Metoda pozyskania ekstraktów**

Nasiona czarnuszki siewnej (Ziółko, Łopiennik Górny, Polska) zostały kupione w sklepie zielarskim, natomiast nasiona czarnuszki damasceńskiej (Vilmorin, Plewiska, Polska) oraz czarnuszki orientalnej (Polan, Kraków, Polska) kupiono w sklepie ogrodniczym. W celu uzyskania ekstraktów wykorzystano 5 g uprzednio rozgniecionego w młynku surowca. Następnie dodano 95 ml ekstrahenta składającego się z wody i etanolu (96% v/v, Warchem, Zakręt, Polska) w proporcjach 50/50. Ekstrakcję przeprowadzano przez 3 godziny z wykorzystaniem mieszadła magnetycznego. Otrzymane ekstrakty zostały dodatkowo poddane działaniu ultradźwięków w łaźni ultradźwiękowej w temperaturze pokojowej przez 45 min (częstotliwość ultradźwięków: 35 kHz; moc ultradźwięków: 170 W). Ekstrakty przefiltrowano trzykrotnie przez bibułę filtracyjną Whatmana nr 10. Finalnie każdy ekstrakt rozcieńczono 2-, 5-, 10-, 50- i 100-krotnie, uzyskując próbki w stężeniach 2,5%, 1%, 0,5%, 0,1% oraz 0,05%.

### **Oznaczenie ogólnej zawartości związków fenolowych metodą spektrofotometryczną z użyciem odczynnika Folina-Ciocalteu**

Oznaczenie wykonano za pomocą metody Folina-Ciocalteu (F-C) przy użyciu spektrofotometru UV-Vis. Metoda ta oparta jest na reakcji barwnej, która występuje pomiędzy związkami fenolowymi a odczynnikiem F-C (Warchem, Zakręt,

Polska). Tworzący się w środowisku alkalicznym anion fenolowy redukuje powstały heteropolifosfowolfranian molibdenu do związku o kolorze niebieskim, ową zmianę barwy zmierzono spektrofotometrycznie przy długości fali 740 nm. Jako ślepej próby użyto roztworu wodnego.

Do sporządzenia krzywej wzorcowej wykorzystano roztwór wodny oraz szereg rozcieńczeń kwasu galusowego.

Do obliczeń posłużyło równanie otrzymane dla krzywej wzorcowej. W każdej próbie dla każdego rozcieńczenia pomiar wykonano dwukrotnie.

### **Oznaczenie ogólnej zawartości flawonoidów**

Oznaczenie wykonano za pomocą metody Christa-Müllera (C-M), przy użyciu spektrofotometru UV-Vis. Ogólną wartość flawonoidów określono przy użyciu azotanu glinu zgodnie z procedurą Woisky and Salatino [30]. Przygotowanie próbek do badań polegało na zmieszaniu 300  $\mu\text{l}$  każdego z ekstraktów i 1200  $\mu\text{l}$  mieszaniny reakcyjnej (80%  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , 10%  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \times 9 \text{H}_2\text{O}$  oraz 1M  $\text{C}_2\text{H}_3\text{KO}_2$ ) (Warchem, Zakręt, Polska). Następnie próbki zostały poddane 40-minutowej inkubacji w temperaturze pokojowej. Absorbancję mierzono przy długości fali równej 415 nm. Całkowitą zawartość flawonoidów w próbkach obliczono na podstawie krzywej wzorcowej roztworu kwercytyny (10–100  $\text{mg}/\text{dm}^3$ ). Wyniki wyrażono jako ekwiwalent kwercetyny. Do obliczeń posłużyło równanie otrzymane dla krzywej wzorcowej, gdzie współczynnik determinacji wynosił 0,9981. W każdej próbie dla każdego rozcieńczenia pomiar wykonano dwukrotnie.

$$\text{Równanie: } y = 0,01x - 0,0109$$

gdzie:

y – absorbancja próbki,

x – stężenie kwercetyny.

### **Ocena zdolności antyoksydacyjnej przy użyciu metody redukcji rodnika DPPH**

Do oceny zdolności zmiatania wolnych rodników przez ekstrakty wykorzystano zmodyfikowaną metodę Branda-Williamsa [31]. Przygotowanie próbek polegało na zmieszaniu 100  $\mu\text{l}$  ekstraktu o stężeniach 0,1%, 0,5%, 1 % i 2,5%, a następnie dodano 100  $\mu\text{l}$  4mM roztworu DPPH (Sigma-Aldrich, Burlington, MA, USA). Absorbancję badanych próbek mierzono przy długości fali 540 nm, za pomocą czytnika mikropłytek Filtr Max 5 (ThermoScientific). Próbę kontrolną w badaniu stanowiło 100  $\mu\text{l}$  DPPH z 100  $\mu\text{l}$  wody destylowanej. Dla każdej z próbek pomiar został dokonany dwukrotnie.

Do obliczenia odsetka zmiatania wolnego rodnika DPPH posłużyło równanie:

$$\% \text{ zmiatania DPPH} = \frac{A_k - A_b}{A_k} \times 100$$

gdzie:

A<sub>k</sub> – absorbancja próbki kontrolnej,

A<sub>b</sub> – absorbancja próbki badanej.

### **Test cytotoksyczności. Procedura prowadzenia hodowli komórkowej**

W badaniu mającym na celu ocenę cytotoksyczności badanych ekstraktów wykorzystano ludzkie keratynocyty (HaCaT) pozyskane z ATCC (American Type Culture Collection; Manassas, VA, 20108, USA). Komórki hodowano w medium hodowlanym DMEM suplementowanym L-glutaminą, 5% surowicą bydlęcą (FBS) oraz antybiotykami (100 µg/ml penicyliny i 1000 µg/ml streptomycyny, Gibco). Prowadzenie hodowli odbywało się w inkubatorze w temp. 37° i 5% stężeniu CO<sub>2</sub>.

Badanie cytotoksyczności polegało na wysianiu komórek na płytkę 96-dołkową o stężeniu 10 000 komórek/dołek. Po czym komórki poddano ekspozycji na badane ekstrakty z czarnuszki siewnej, czarnuszki damasceńskiej i czarnuszki orientalnej w stężeniach 0,5%, 0,1%, 0,05%.

### **Test Alamar Blue**

Przeprowadzony test cytotoksyczności Alamar Blue (AB) pozwolił na ocenę żywotności komórek w odpowiedzi na badane ekstrakty i ich stężenia. Test ten umożliwia określenie poziomu aktywności enzymów związanych z procesem oddychania w badanych komórkach. W pierwszej kolejności komórki HaCaT wysiano na płytkę 96-dołkową. Po osiągnięciu odpowiedniej konfluencji komórki poddano ekspozycji na badane ekstrakty, a następnie inkubowano przez 24 godz. Na kolejnym etapie do każdego dołka dodano roztwór rezazuryny o stężeniu 60 µM i ponownie inkubowano przez 2 godz. w temp. 37°C w ciemności. Po tym czasie dokonano pomiaru fluorescencji przy użyciu czytnika mikropłytek (FilterMax F5, Molecular Devices, Silicon Valley, CA, USA) przy długości fali 570 nm. Dla każdej z roślin w każdym z trzech jej stężeń wykonano cztery osobne próby. Wynik przedstawiony został jako procent żywotności komórek HaCaT w porównaniu do kontroli, określonej jako 100% (komórek nietraktowanych ekstraktami).

## **Wyniki i dyskusja**

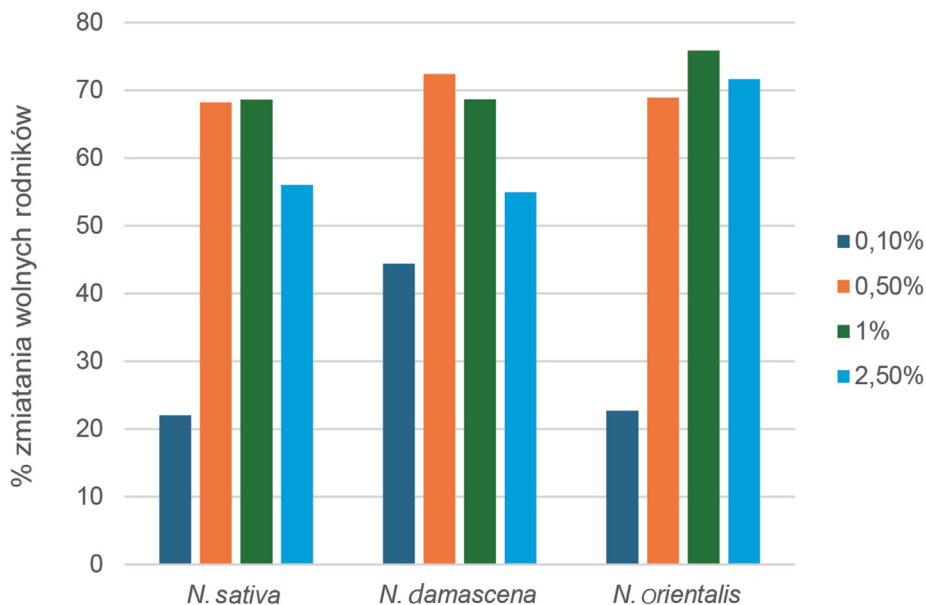
Bogatym źródłem związków polifenolowych, w tym flawonoidów, są ekstrakty roślinne, które posiadają silne właściwości antyoksydacyjne [32]. Dzięki temu znajdują zastosowanie w przemyśle kosmetycznym, spożywczym oraz farmaceutycznym

i są używane jako suplementy diety [33]. Rośliny i ich przetwory (ekstrakty, oleje, olejki eteryczne) są podstawowym składnikiem kosmetyków od czasów pojawienia się ludzkości, przy czym same używane były również jako kosmetyki [34]. Obecnie w kosmetykach najczęściej stosowane są antyoksydanty syntetyczne ze względu na stosunkowo niskie koszty ich otrzymania. Jednak coraz częściej stosowane są antyoksydanty naturalne, z których najpowszechniejszą grupę stanowią polifenole (flawonoidy, stylbeny), ponieważ dobrze rozpuszczają się w wodzie i etanolu. Rozpuszczalniki te są szeroko stosowane w sektorach przemysłowych. Producenci, mogąc wybrać między tymi dwoma rodzajami antyoksydantów, coraz chętniej skłaniają się ku antyoksydantom naturalnym, ponieważ w ostatnich latach stale rośnie upodobanie konsumentów do organicznych i naturalnych produktów, które potencjalnie wykazują mniej negatywnych efektów niż produkty syntetyczne [32]. Naturalne antyoksydanty mają zdolność do redukcji stresu oksydacyjnego w skórze, spowodowanego przede wszystkim promieniowaniem słonecznym, ale także chronią produkty przed utlenianiem [35]. Jednakże związki obecne w roślinach mogą wykazywać działanie cytotoksyczne na komórki ludzkie [36].

## Ocena właściwości antyoksydacyjnych

Do oceny zdolności zmiatania wolnych rodników przez badane próbki wykorzystano metodę DPPH. Metanolowy roztwór DPPH cechuje się ciemnofioletowym zabarwieniem. Jeśli badany związek posiada właściwości antyoksydacyjne i zostanie poddany reakcji z roztworem DPPH, jego barwa zmienia się na żółtą, przy czym stopień zmiany barwy jest proporcjonalny do zawartości antyoksydantów w badanych próbkach. Otrzymane wyniki są zgodne z uzyskanymi przez innych badaczy [2, 22, 29], którzy również zaobserwowali właściwości antyoksydacyjne czarnuszki siewnej, czarnuszki damasceńskiej i czarnuszki orientальной. Wyniki uzyskane w tym doświadczeniu pokazują, że największe właściwości antyoksydacyjne wykazuje 1% ekstrakt z nasion *N. orientalis*, niemniej jednak ten sam ekstrakt w stężeniu 0,1% osiągnął wartość najmniejszą ze wszystkich badanych próbek. Dla wszystkich analizowanych ekstraktów wartości w stężeniach 0,5% oraz 1% są bardzo zbliżone. Natomiast znaczące różnice obserwuje się w przypadku stężeń 0,1% oraz 2,5%, przy czym dla 0,1% stężenia najbardziej obiecujące właściwości posiada *N. damascena*, a dla stężenia 2,5% *N. orientalis*. Wyniki (Wykres 1) przedstawiają % zmiatania wolnych rodników obliczony po 20 min. Do doświadczenia użyto czytnika mikroplamki Filtr Max 5 (ThermoScientific). Badania przeprowadzone w celu porównania przy użyciu metody DPPH właściwości antyoksydacyjnych ekstraktów z nasion *N. damascena* oraz *N. sativa*

również wykazały większy potencjał zmiatania wolnych rodników przez ekstrakt otrzymany z *N. damascena* [37].



**Wykres 1.** Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH.

**Figure 1.** Free radical scavenging capacity of DPPH.

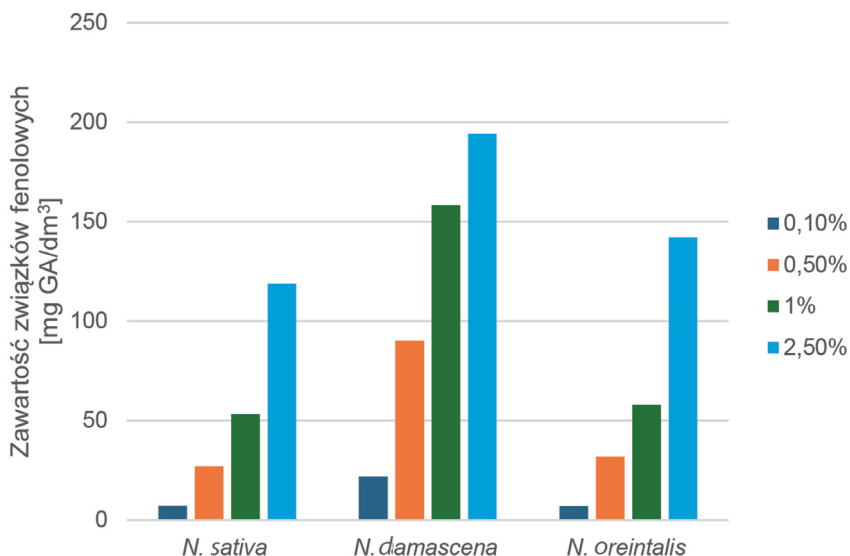
Źródło: badania własne.

Source: own research.

## Oznaczenie ogólnej zawartości związków fenolowych

Do oznaczenia wykorzystano metodę z odczynnikami Folina-Ciocalteu. Wyniki zostały wyrażone w miligramach kwasu galusowego na  $\text{dm}^3$  ekstraktu. Zaobserwowano, że najwięcej związków fenolowych ogółem znajduje się w ekstrakcie *N. damascena* (Wykres 2).

Taka prawidłowość została stwierdzona również w innych doświadczeniach prowadzonych w celu porównania gatunków *N. sativa* oraz *N. damascena* [37], a także w przypadku porównania ekstraktu z nadziemnych części roślin *N. sativa*, *N. damascena*, *N. orientalis* oraz *N. hispanica*. *N. hispanica* wykazała największą zawartość związków fenolowych, natomiast biorąc pod uwagę tylko badane w niniejszej pracy gatunki, analogicznie do otrzymanych wyników (wykres 2) należy stwierdzić, iż *N. damascena* zawiera najwięcej związków fenolowych spośród gatunków *N. sativa* oraz *N. orientalis* [29].



**Wykres 2.** Zawartość związków fenolowych.

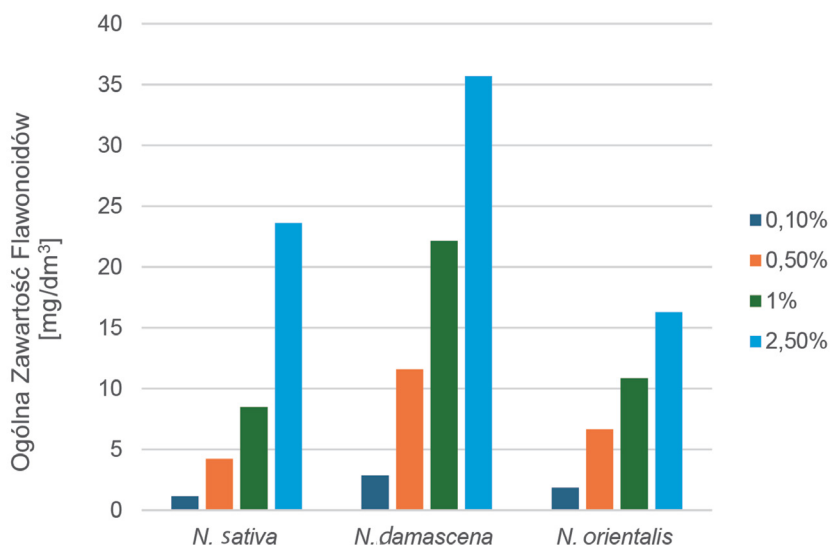
**Figure 2.** Phenolic compound content.

Źródło: badania własne.

Source: own research.

### Oznaczenie ogólnej zawartości flawonoidów

Zawartość flawonoidów oznaczono za pomocą metody Christa-Müllera (C-M), a wartości zostały wyrażone w miligramach kwercetyny na 1 dm<sup>3</sup> ekstraktu. Stwierdzono, że największą ilość flawonoidów, biorąc pod uwagę każde badane stężenie ekstraktu (0,1%; 0,5%; 1%; 2,5%), posiada gatunek *N. damascena*. Podobną zależność możemy zaobserwować w literaturze, która pokazuje przewagę *N. damascena* nad *N. sativa* pod względem zawartości flawonoidów [37]. Ponadto analiza wykazała, że ekstrakt z nasion *N. orientalis* w stężeniach 0,1%; 0,5% i 1% również wykazuje większą zawartość flawonoidów niż gatunek *N. sativa*.



**Wykres 3.** Zawartość flawonoidów.

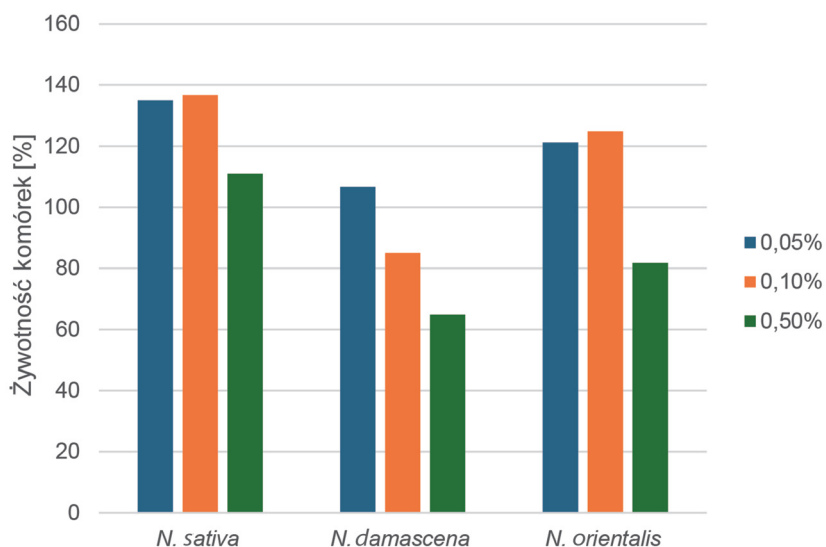
**Figure 3.** Flavonoid content.

Źródło: badania własne.

Source: own research.

## Ocena cytotoksyczności

Do oceny cytotoksyczności wykorzystano linię komórkową ludzką keratynocytów (HaCaT) i poddano je ekspozycji na badane ekstrakty. W doświadczeniu posłużono się testem Alamar Blue, w którym rezazuryna o barwie niebieskiej jest redukowana do rezorufiny o barwie różowej. Taka zmiana barwy zachodzi dzięki aktywności metabolicznej komórek, którą jest oddychanie tlenowe, dzięki czemu wykorzystuje się ją jako wskaźnik żywotności komórek [38]. Uzyskane wyniki (Wykres 4) pokazują, iż 0,05% stężenie każdego z badanych gatunków nie wykazuje działania cytotoksycznego na komórki. Ekstrakty z nasion *N. damascena* w stężeniach 0,5% i 0,1% zadziałały toksycznie na komórki i doprowadziły do śmierci części z nich. Natomiast ekstrakt 0,5% oraz 0,1% z nasion gatunku *N. sativa* nie wykazał działania toksycznego na komórki HaCaT, tak samo jak 0,1% ekstrakt z nasion *N. orientalis*. Jak donosi literatura, etanolowy (95%) ekstrakt z nasion *N. sativa* wykazuje efekt antyproliferacyjny na ludzkie komórki (HaCaT) [39]. Ponadto inne badania mówią o nietoksycznym efekcie ekstraktów z nadziemnych części *N. damascena* [22]. Jednakże w literaturze nie ma doniesień dotyczących wpływu ekstraktów z nasion gatunków *N. damascena* i *N. orientalis* na linię komórkową keratynocytów.



**Wykres 4.** Cytotoksyczność.

**Figure 4.** Cytotoxicity.

Źródło: badania własne.

Source: own research.

## Podsumowanie

Na podstawie analizy wyników z przeprowadzonych badań oraz przytoczonej literatury wyciągnięto następujące wnioski:

Największą zawartość związków fenolowych posiada ekstrakt z nasion *N. damascena*, a najmniejszą *N. sativa*. Największą zawartość flawonoidów posiada ekstrakt z nasion *N. damascena*, a najmniejszą ekstrakt *N. orientalis*. Najlepszą zdolność do zmiatania wolnych rodników przy ekstraktach powyżej 1% wykazuje *N. orientalis*, natomiast przy ekstraktach poniżej 1% najlepszą – *N. damascena*. Ekstrakty w stężeniu 0,05% nie wykazują cytotoksyczności komórkowej. Natomiast ekstrakty z nasion *N. damascena* w stężeniach 0,1% i 0,5% oraz *N. orientalis* w stężeniu 0,5% doprowadziły do śmierci części z komórek (HaCaT). Najbardziej toksyczne okazały się nasiona *N. damascena*, podczas gdy nasiona *N. sativa* w żadnym z badanych stężeń nie doprowadziły do śmierci komórek. W przypadku formułowania kosmetyków, w których stosowane są ekstrakty z nasion *N. damascena* oraz *N. orientalis*, należy zwrócić uwagę na stosowane stężenie, aby nie wywołać negatywnego wpływu na komórki skóry.

## Literatura

- [1] Burdock G.A., Assessment of black cumin (*Nigella sativa* L.) as a food ingredient and putative therapeutic agent, *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 2022, 128, s. 105088.
- [2] Begum S., Abdul M., A review on *Nigella sativa*: a marvel herb, *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 2020, 10(2), s. 213–219.
- [3] Kaushik N., Aradhita B., A Study on Physicochemical Properties and Nutritional Profile of an Indigenous Cultivar-Black cumin (*Nigella sativa* L.), *International Journal of Food and Nutritional Sciences*, 2022, 7, s. 379–391.
- [4] Bashir O., Food applications of *Nigella sativa* seeds, [w:] *Black cumin (Nigella sativa) seeds: Chemistry, technology, functionality and applications*, (red.) M.F. Ramadan, Springer, Cham, 2021, s. 191–207.
- [5] Silva A.F.C., Parvez I.H., Pacheco R., Serralheiro M.L., Mechanism of action and the biological activities of *Nigella sativa* oil components, *Food Bioscience*, 2020, 38, s. 100783.
- [6] Mukhtar H., Raza S.A., Composition of *Nigella sativa* seeds, [w:] *Black cumin (Nigella sativa) seeds: chemistry, technology, functionality, and applications*, Springer, Cham 2021, s. 45–57.
- [7] Benazzouz-Smail L., Achat S., Brahmi F., Bachir-Bey M., Arab R., Lorenzo J.M., Benbouriche A., Boudiab K., Hauchard D., Boulekbache L., Biological Properties, Phenolic Profile, and Botanical Aspect of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. Seeds: A Comparative Study, *Molecules*, 2023, 28(2), s. 571.
- [8] Kiralan M., Changes in Volatile Compounds of Black Cumin (*Nigella Sativa* L.) Seed Oil During Thermal Oxidation, *International Journal of Food Properties*, 2014, 17(7), s. 1482–1489.
- [9] Bhavikatti S.K., Zainuddin S.L.A., Ramli R.B., Nadaf S.J., Dandge P.B., Khalate M., Karobari M.I., Insights into the antioxidant, anti-inflammatory and anti-microbial potential of *Nigella sativa* essential oil against oral pathogens, *Scientific Reports*, 2024, 14(1), s. 11878.
- [10] Çınar İ., Gidik B., Dirican E., Determination of anti-cancer effects of *Nigella sativa* seed oil on MCF7 breast and AGS gastric cancer cells, *Molecular Biology Reports*, 2024, 51(1), s. 491.
- [11] Raad A.K., Javed A., Phytochemical analysis and Anticancer Potency of Black Cumin Oil (*Nigella sativa* Linn.) Against Osteosarcoma, *Journal of Angiotherapy*, 2024, 8(5), s. 1–6.
- [12] Khattak N., The hepatoprotective potential of *Nigella sativa* oil against cypermethrin-induced hepatotoxicity in rats: A histomorphological investigation, *Professional Medical Journal*, 2024, 31(8), s. 1140–1146.
- [13] El-Tantawy W., Temraz A., Mohamed S., Herbal Extracts Acting as Diuretics: A Comprehensive Review, *Egyptian Journal of Chemistry*, 2024, 67(3), s. 387–399. doi: 10.21608/ejchem.2024.254378.8972.

- [14] Moloud F., Yousofpour M., Moosazadeh M., Fatahian A., Determination of the effect of *Nigella sativa* on blood pressure; a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials, *Journal of Nephropathology*, 2024, 13(1), s. 2127–235.
- [15] Kumar S.L., Naik Z., Panwar A., M.S., Keluskar V., Kumar R.S., Comparative evaluation of the efficacy of *Nigella sativa* (75% v/v) cream and clobetasol propionate (0.05% w/w) gel in oral lichen planus-a double-blinded randomized control trial, *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 2024, 28(1), s. 225–234.
- [16] Bival Š.M., *Astragalus membranaceus*, *Nigella sativa*, and *Perilla frutescens* as Immunomodulators-Molecular Mechanisms and Clinical Effectiveness in Allergic Diseases, *Curr Issues Molecular Biology*, 2024, 46(8), s. 9016–9032.
- [17] ALSuhaymi N., Therapeutic Effects of *Nigella sativa* Oil and Whole Seeds on STZ-Induced Diabetic Rats: A Biochemical and Immunohistochemical Study, *Oxidative Medicine Cellular Longevity*, 2024, 10, s. 5594090.
- [18] Meghamala G., Bonthagarala B., Yohan G., Formulation development and evaluation natural hair oil, *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2024, 13(7), s. 1006–1016.
- [19] Rugayyah A., Ramadhani R., Santi E., Awaluddin N., Alydrus N.L., Formulation and Activity Test of Oil Spray Deodorant Preparations in Black Cumin Seeds (*Nigella Sativa* L.) Against *Staphylococcus Epidermidis* Causes Of Body Odor, *Jurnal EduHealth*, 2024, 15(1), s. 735–752.
- [20] Haque M., Singh R., *Nigella sativa*: A promise for industrial and agricultural economic growth, [w:] *Black seeds (Nigella sativa)*, Elsevier, 2022, s. 439–460.
- [21] Badalamenti N., Modica A., Bazan G., Marino P., Bruno M., The ethnobotany, phytochemistry, and biological properties of *Nigella damascena* – A review, *Phytochemistry*, 2022, 198, s. 113165.
- [22] Scognamiglio M., Maresca V., Basile A., Pacifico S., Fiorentino A., Bruno M., Badalamenti N., Kapelusz M., Marino P., Capasso L., Bontempo P., Bazan G., Charakterystyka fitochemiczna, właściwości antyoksydacyjne i antyproliferacyjne dzikich i uprawianych gatunków *Nigella damascena* zebranych na Sycylii (Włochy), *Antyoksydanty*, 2024, 13(4), 402, s. 1, 10.
- [23] Ogawa K., Nakamura S., Hosokawa K., Ishimaru H., Saito N., Ryu K., Fujimuro M., Nakashima S., Matsuda H., New diterpenes from *Nigella damascena* seeds and their antiviral activities against herpes simplex virus type-1, *Journal of Natural Medicines*, 2018, 72, s. 439–447.
- [24] Sieniawska E., Michel P., Mroczek T., Granica S., Skalicka-Woźniak K., *Nigella damascena* L. essential oil and its main constituents, damascenine and  $\beta$ -elemene modulate inflammatory response of human neutrophils *ex vivo*, *Food and Chemical Toxicology*, 2019, 125, s. 161–169.
- [25] Bright Y., Maas D.A., Verheij M.M.M., Paladini M.S., Amatdjais-Groenen HIV, Molteni R., Riva M.A., Martens G.J.M., Homberg J.R., The Natural Protoalkaloid Methyl-2-Amino-3-Methoxybenzoate (MAM) Alleviates Positive as well as Cognitive Symptoms in Rat and Mouse Schizophrenia Models, *Current Neuropharmacology*, 2024, 22(2), s. 323–338.

- [26] Sieniawska E., *Nigella damascena* L. essential oil-a valuable source of  $\beta$ -elemene for antimicrobial testing, *Molecules*, 2018, 23(2), s. 256.
- [27] Ait Eldjoudi D., Ruiz-Fernandez C., González-Rodríguez M., Ait Atmane S., Cordero-Barreal A., Farrag Y., Pino J., Sineiro J., Lago F., Conde-Aranda J., Khettal B., Gualillo O., Analgesic and antiinflammatory effects of *Nigella orientalis* L. seeds fixed oil: Pharmacological potentials and molecular mechanisms, *Phytotherapy Research*, 2022, 36(3), s. 1372–1385.
- [28] Yuan Y., Li X., Yao X., Fu X., Cheng J., Shan H., Yin X., Kong H., Mechanisms underlying the formation of complex color patterns on *Nigella orientalis* (Ranunculaceae) petals, *New Phytologist*, 2023, 237(6), s. 2450–2466.
- [29] Vergun O., Shymanska O., Brindza J., Svydenko L., The seasonal variation of antioxidant activity of *Nigella* spp. in Ukraine, *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*, 2023, 7(2), s. 197–207.
- [30] Woisky R.G., Salatino A., Analysis of Propolis: Some Parameters and Procedures for Chemical Quality Control, *Journal of Apicultural Research*, 1998, 37, s. 99–105.
- [31] Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C., Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity, *Lwt – Food Science and Technology*, 1995, 28, s. 25–30.
- [32] Hoang H.T., Ju-Young M., Young-Chul L., Natural antioxidants from plant extracts in skincare cosmetics: Recent applications, challenges and perspectives, *Cosmetics*, 2021, 8(4), s. 106.
- [33] Gutiérrez-Del-Río I., López-Ibáñez S., Magadán-Corpas P., Fernández-Calleja L., Pérez-Valero Á., Tuñón-Granda M., Miguélez E.M., Villar C.J., Lombó F., Terpenoids and Polyphenols as Natural Antioxidant Agents in Food Preservation, *Antioxidants*, 2021, 10(8), s. 1264.
- [34] Desam N.R., Al-Rajab A.J., The importance of natural products in cosmetics, [w:] *Bioactive natural products for pharmaceutical applications*, (red.) P. Dilipkumar, A.K. Nayak, Springer, Cham 2021, s. 643–685.
- [35] He H., Li A., Li S., Tang J., Li L., Xiong L., Natural components in sunscreens: Topical formulations with sun protection factor (SPF), *Biomed Pharmacother*, 2021, 134, s. 111161.
- [36] Anywar G., Kakudidi E., Byamukama R., Mukonzo J., Schubert A., Oryem-Origa H., Jassoy C., A Review of the Toxicity and Phytochemistry of Medicinal Plant Species Used by Herbalists in Treating People Living With HIV/AIDS in Uganda, *Frontiers Pharmacology*, 2021, 15(12), s. 615147.
- [37] Toma C.C., Olah N.K., Vlase L., Mogoşan C., Mocan A., Comparative Studies on Polyphenolic Composition, Antioxidant and Diuretic Effects of *Nigella sativa* L. (Black Cumin) and *Nigella damascena* L. (Lady-in-a-Mist) Seeds, *Molecules*, 2015, 20(6), s. 9560–9574.
- [38] Kumar P., Nagarajan A., Uchil P.D., Analysis of Cell Viability by the Lactate Dehydrogenase Assay, *Cold Spring Harbor Protocols*, 2018, 6, s. 462–464.
- [39] Dwarampudi L.P., Antipsoriatic activity and cytotoxicity of ethanolic extract of *Nigella sativa* seeds, *Pharmacognosy Magazine*, 2012, 8(32), s. 268.

## Ocena właściwości przeciwutleniających *in vitro* żołądździ *Quercus rubra* pochodzących z różnych lokalizacji

### In vitro evaluation of antioxidant properties of *Quercus rubra* acorns from different locations

Dominika Szynal<sup>1</sup>, Adam Klimowicz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Studenckie Koło Naukowe przy Zakładzie Chemii Kosmetycznej i Farmaceutycznej, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, ul. Powstańców Wlkp. 72, 70-111 Szczecin, e-mail: dominiczka@vp.pl (autor korespondencyjny)

<sup>2</sup> Zakład Chemii Kosmetycznej i Farmaceutycznej, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, ul. Powstańców Wlkp. 72, 70-111 Szczecin, e-mail: adam.klimowicz@pum.edu.pl

---

**Słowa kluczowe:** dąb czerwony, metoda DPPH, metoda ABTS, aktywność antyoksydacyjna

**Keywords:** northern red oak, DPPH method, ABTS method, antioxidant activity

---

### Streszczenie

W organizmie ludzkim nieprzerwanie mają miejsce procesy metaboliczne, podczas których dochodzi do powstania różnych produktów ubocznych, w tym – zaliczanych do reaktywnych form tlenu – wolnych rodników. W celu ochrony przed ich szkodliwym działaniem stosuje się antyoksydanty. Dąb czerwony (*Quercus rubra*, *Fagaceae*), a dokładniej ekstrakty z jego żołądździ, jest cennym ich źródłem. Drzewo to jest przykładem rośliny, której różne części, w tym żołądździe czy kora, zawierają flawonoidy, które stanowią jedną z najważniejszych grup naturalnych związków eliminujących wolne rodniki. Celem badań było określenie aktywności antyoksydacyjnej ekstraktów z żołądździ *Quercus rubra* zebranych z różnych lokalizacji. Surowiec roślinny stanowiły świeże, a następnie wysuszone żołądździe dębu czerwonego, zebrane w październiku 2023 r. w trzech różnych lokalizacjach – w nadleśnictwie Nowogard, przy ruchliwej ulicy w Szczecinie oraz nad znajdującym się w tym mieście jeziorem Goplany. Zmielony surowiec poddano ekstrakcji wspomaganą ultradźwiękami. Ekstrakty przygotowano z użyciem czterech krótkołańcuchowych alkoholi alifatycznych: metanolu, etanolu, propan-1-olu, propan-2-olu – wszystkie w trzech stężeniach, tj. 40%, 70% oraz nierozcieńczone. Aktywność antyoksydacyjną uzyskanych ekstraktów oceniano metodami DPPH i ABTS.

Ekstrakty z żołądździ wykazywały aktywność antyoksydacyjną, która w zasadzie zależała od lokalizacji dębów. Żołądździe pochodzące z dębu czerwonego (*Quercus rubra*, *Fagaceae*) stanowią cenne źródło antyoksydantów. Ze względu na wspomniane właściwości można byłoby rozważyć ich zastosowanie w produkcji wybranych grup kosmetyków, głównie przeciwstarzeniowych.

## Summary

In the human body, metabolic processes continuously occur, leading to the formation of various by-products, including free radicals belonging to reactive oxygen species. To protect against their harmful effects, antioxidants are used. The northern red oak (*Quercus rubra*, *Fagaceae*), specifically extracts from its acorns, is a valuable source of antioxidants. This tree exemplifies a plant containing flavonoids, which are one of the most important natural groups of compounds that eliminate free radicals. The aim of the study was to determine the antioxidant activity of extracts from the acorns of *Quercus rubra* collected from different locations.

The plant material consisted of fresh, and subsequently dried, acorns of the northern red oak, collected in October 2023 from three different locations: in the Nowogard Forest District, near a busy street in Szczecin, and near the nearby Goplana Lake (Szczecin). The ground raw material was subjected to ultrasound-assisted extraction. Extracts were prepared using four short-chain aliphatic alcohols: methanol, ethanol, propan-1-ol, propan-2-ol, all in three concentrations, namely 40%, 70%, and undiluted. The antioxidant activity of the obtained extracts was assessed using the DPPH and ABTS methods. The acorn extracts exhibited antioxidant activity. This activity was essentially dependent of the location of the oak trees. Acorns from the northern red oak (*Quercus rubra*, *Fagaceae*) are a valuable source of antioxidants. Due to these properties, their use in the production of selected groups of cosmetics, mainly anti-aging, could be considered.

## Wstęp

Starzenie się organizmu to proces nieunikniony, ciągły i uwarunkowany genetycznie. Ten typ starzenia określane jest jako chronologiczny lub naturalny, gdyż głównie kojarzy się z czynnikami wewnętrznymi, a nie zewnętrznymi. Z upływem lat zmniejsza się produkcja kolagenu i elastyny, powstaje też coraz mniej nowych komórek. Twarz pokrywa się zmarszczkami, skóra staje się cieńsza, gdyż warstwa tkanki tłuszczowej pod nią ulega redukcji, co skutkuje zwiótnieniem skóry i powstawaniem m.in. „obwisłych policzków” [1]. Ponadto zmarszczki mimiczne stają się trwałe, bruzda nosowo-wargowa staje się zdecydowanie bardziej wyrazista, a skóra cienka i przezroczysta. Wszystkie wyżej wymienione zmiany nasilają się znacząco w okresie pomenopauzalnym, gdy pojawiają się wahania hormonalne [1]. Zewnętrzne starzenie się skóry spowodowane jest przez czynniki pochodzące ze środowiska, w którym żyjemy. Do czynników tych możemy zaliczyć: zanieczyszczenie środowiska, promieniowanie UV, palenie tytoniu czy niewłaściwą dietę. Promieniowanie ultrafioletowe stanowi główny zewnętrzny czynnik prowadzący do starzenia się skóry ze względu na to, że przez całe życie kumulują się w skórze duże dawki UV. Może powodować to tzw. fotostarzenie, jak również liczne nowotwory. Te negatywne skutki związane są z działaniem wolnych rodników [2–4].

W organizmie ludzkim nieprzerwanie mają miejsce procesy metaboliczne, podczas których dochodzi do powstania różnych produktów ubocznych, w tym zaliczanych do reaktywnych form tlenu (RFT) wyżej wymienionych rodników. Stanowią one cząsteczki posiadające minimum jeden niesparowany elektron, z czego wynika ich większa reaktywność w porównaniu do cząsteczki obojętnej [5, 6]. W warunkach homeostazy układy antyoksydacyjne działają poprawnie. Jeżeli równowaga pomiędzy wytwarzaniem RFT a procesami antyoksydacyjnymi jest zaburzona, pojawia się zjawisko określane mianem stresu oksydacyjnego. Podstawowym działaniem przeciwutleniaczy jest hamowanie powstawania wolnych rodników, spowalnianie, jak również przerywanie reakcji łańcuchowych, które przyczyniają się do ich powstawania [6, 7]. Dodatkowo związki te przeciwdziałają utlenianiu metali takich jak rtęć, ołów, kadm czy miedź, naprawiają dysfunkcje powstałe w wyniku działania RFT, których nasz organizm nie jest w stanie sam naprawić, oraz stymulują endogenne układy antyoksydacyjne poprzez syntezę enzymów antyoksydacyjnych [7]. Ponadto tworzą barierę zapobiegającą tworzeniu się RFT i ich przenikaniu do struktur biologicznych [8, 9].

Wolne rodniki kontrolowane są przez dwa systemy antyoksydacyjne. W składzie układu enzymatycznego znajdują się: dysmutaza ponadtlenkowa, peroksydaza glutationowa i katalaza, czyli tzw. triada enzymów [10, 11]. Kolejny układ, nazywany nieenzymatycznym, obejmuje grupę niskocząsteczkowych substancji ochronnych, które określane są jako tzw. zmiatacze wolnych rodników. Przenoszą one swoje elektrony na wolne rodniki i przekształcają je do postaci utlenionej, która charakteryzuje się niską reaktywnością. Do tej grupy zalicza się głównie witaminy, melatoninę i glutation oraz białka osocza [12, 13]. Egzogenne przeciwutleniacze pochodzą ze źródeł naturalnych, głównie z roślin. Zawierają karotenoidy, polifenole, witaminy A, C i E, składniki mineralne, tj. cynk, mangan i selen [14–16].

Jednym z powszechnie występujących gatunków drzew jest dąb czerwony (*Quercus rubra*, *Fagaceae*). Wywodzi się on ze wschodniej części Ameryki Północnej i stanowi najliczniej występujący w Polsce obcy gatunek liściasty, zarówno pod względem zajmowanego obszaru, jak i miejsc introdukcji [17, 18]. Występuje pod postacią drzewostanów litych, a także jako domieszka w mieszanych drzewostanach. Dąb czerwony w Polsce występuje na całym niżu oraz w niższych położeniach górskich.

Według Hereźniaka dąb czerwony uważany jest za jedyny obcy gatunek, który całkowicie przystosował się do wymogów siedliskowych polskich ekosystemów leśnych [19]. Jest to gatunek charakteryzujący się bardzo szybkim wzrostem w młodości, a na swoim rodzimym obszarze dorasta nawet do 47 m wysokości. Do Polski został introdukowany w XIX w. – a dokładnie w 1806 r. Mimo iż należy do drzew wartościowych pod względem produkcyjnym, uznawany jest za gatunek inwazyjny

– stwarza zagrożenie dla miejscowej roślinności [20, 21]. W drzewostanach gospodarczych w sąsiedztwie dębu czerwonego często występuje dąb szypułkowy (*Quercus robur*, *Fagaceae*). *Quercus rubra* może stanowić konkurencję dla *Quercus robur*, a co za tym idzie – wypierać go ze składu gatunkowego [19].

Dąb czerwony znalazł szerokie zastosowanie w leśnictwie za sprawą swoich walorów. Jest to przede wszystkim wysoka wydajność, zdolność do szybkiej aklimatyzacji, duża żywotność [22], wytrzymałość na zanieczyszczenia przemysłowe oraz okresowe zasolenie gleby [23]. Z tego względu sadzony był w parkach, w miastach – wzdłuż dróg, a także stał się odmianą powszechnie stosowaną do przebudowy drzewostanów, które znajdowały się pod wpływem emisji przemysłowych [20]. Do jego zalet zalicza się również dość wysoką wartość drewna, z niewielką liczbą sęków, łatwego w obróbce [24, 25], i szybki wzrost – w porównaniu z dębami rodzimymi [26]. Pomimo wielu pozytywów obserwuje się również negatywny wpływ dębu czerwonego na fitocenozy, głównie na obszarach cennych przyrodniczo [27, 28].

Zgodnie z obowiązującymi zasadami uprawy lasu zaleca się eliminację tego gatunku w reprodukcji gatunków obcych. Jednakże dąb czerwony jest nadal masowo spotykany w polskich lasach [29]. Wyżej wymieniony gatunek ma tendencję do samoistnego odnawiania się i współtworzenia jednogatunkowych drzewostanów [26]. Aktualnie dąb czerwony zajmuje 5% powierzchni lasów państwowych, a jednocześnie jest gatunkiem, który dominuje na obszarze 0,5% z nich, czyli 3 900 ha [20]. Poza tym nadal bywa na nieznaną skalę hodowany w szkółkach i wprowadzany jest do środowiska przyrodniczego [24].

Dotychczas przeprowadzono bardzo niewiele badań dotyczących potencjału przeciwutleniającego ekstraktów z żołądki dębu czerwonego. Dlatego też postanowiono dokonać oznaczenia aktywności antyoksydacyjnej metodą DPPH i ABTS ekstraktów z żołądki *Quercus rubra* zebranych w trzech różnych lokalizacjach, w celu oceny wpływu miejsca pochodzenia na wspomnianą aktywność.

## **Materiały i metody**

Rodnik DPPH i ABTS nabyto w firmie Sigma-Aldrich (USA). Metanol, propan-1-ol, propan-2-ol pochodziły z Chempur (Piekary Śląskie), natomiast etanol z firmy Linegal Chemicals (Warszawa).

Surowiec roślinny stanowiły dojrzałe, opadłe żołądki dębu czerwonego zebrane w październiku 2023 r. w trzech różnych lokalizacjach – w lesie w nadleśnictwie Nowogard, z dala od ruchliwych dróg, przy ruchliwej ulicy w Szczecinie oraz nad położonym w tym mieście jeziorem Goplany – na terenie zlokalizowanym w niezbyt dużej odległości od ruchliwej ulicy, dlatego określonym jako park leśny.

Żołądź suszono w temperaturze pokojowej przez okres trzech tygodni, w dobrze wentylowanym oraz ciemnym miejscu. Wysuszone żołądź zostały poddane ocenie jakości surowca. Po wyselekcjonowaniu materiału zostały zmielone i były przechowywane w tych samych warunkach. Zmielony surowiec poddano ekstrakcji wspomaganą ultradźwiękami, zaliczanej do zielonych technik ekstrakcji. Ekstrakty przygotowano z użyciem 4 krótkołańcuchowych alkoholi alifatycznych: metanolu, etanolu, propan-1-olu, propan-2-olu – wszystkie w 3 stężeniach, tj. 40% (v/v), 70% (v/v) oraz nierozcieńczone. Ekstrakty sporządzano w proporcji 0,5 g roślinnego surowca na 10 cm<sup>3</sup> rozpuszczalnika. Próbkę przygotowano z wykorzystaniem łaźni ultradźwiękowej (Sonic 0.5, Polsonic, Polska), czas trwania ekstrakcji wynosił 15, 30 lub 60 min. Łącznie przygotowano 108 ekstraktów. Po ekstrakcji materiał roślinny rozdzielono za pomocą filtrowania, a czyste wyciągi przeniesiono do plastikowych probówek zamkniętych korkiem i przechowywano w temperaturze pokojowej, w ciemnym miejscu do czasu analizy potencjału przeciwutleniającego.

Aktywność antyoksydacyjną uzyskanych ekstraktów oceniano metodami DPPH i ABTS [27, 28]. Metoda DPPH polega na rejestrowanej spektrofotometrycznie zmianie zabarwienia etanolowego roztworu rodnika DPPH z fioletowej na żółtą. Pomiaru dokonano przy długości fali 517 nm (przy użyciu spektrofotometru Hitachi U-51000). W skrócie: do 132 µl badanego ekstraktu dodawano 2500 µl rozcieńczonego alkoholowego roztworu DPPH i po upływie 10 min dokonywano pomiaru przy wspomnianej powyżej długości fali. Aktywność antyoksydacyjną wyrażoną jako równoważnik troloksu w mmol troloksu/dm<sup>3</sup> wyznaczono ze sporządzonej krzywej zależności absorbancji od stężenia troloksu ( $y = -1,4527x + 0,9423$ ;  $r = 0,982$ ) [29, 30]. Każdy ekstrakt badano w trzech powtórzeniach, a wyniki przedstawiono w postaci średniej arytmetycznej ± odchylenie standardowe (SD).

Druga z zastosowanych metod, metoda ABTS, opiera się na spektrofotometrycznej ocenie zdolności przeciwutleniaczy do neutralizacji niebieskiego kationorodnika produkowanego z ABTS (2,2'-azobis(3-etylobenzotiazolino-6-sulfonianu)), otrzymanego w wyniku reakcji z nadsiarczanem sodu, wyrażonej obniżeniem absorbancji badanego roztworu [31]. Sposób postępowania obejmował dodanie do 25 µl próbki badanego ekstraktu 2500 µl rozcieńczonego 50% (v/v) metanolem roztworu ABTS i dokonaniu, po 6-minutowej inkubacji w temperaturze pokojowej, pomiaru absorbancji przy długości fali 734 nm. Aktywność antyoksydacyjną wyrażoną jako równoważnik troloksu w mmol troloksu/dm<sup>3</sup> wyznaczono ze sporządzonej krzywej zależności absorbancji od stężenia troloksu ( $y = -0,2697x + 0,8806$ ;  $r = 0,985$ ) [30, 31]. Każdy ekstrakt badano w trzech powtórzeniach, a wyniki przedstawiono w postaci średniej arytmetycznej ± odchy-

lenie standardowe (SD). Oceniono również korelację pomiędzy aktywnościami uzyskanymi przy użyciu obu metod z wykorzystaniem regresji liniowej. Oceniono również istotność statystyczną różnic pomiędzy poszczególnymi grupami pomiarów. Ponieważ wyniki w poszczególnych grupach różniły się istotnie od rozkładu normalnego, do analizy wykorzystano test Manna-Whitneya i Kruskala-Wallisa. Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą arkusza kalkulacyjnego programu Excel z pakietu Microsoft Office oraz programu ProStat v.5.5.

## Wyniki

Na rysunku 1 przedstawiono średnie aktywności antyoksydacyjne ekstraktów z żołądździ dębu czerwonego zebrane w 3 lokalizacjach: przy ruchliwej ulicy, w parku leśnym i w lesie oddalonym od ruchliwych dróg. Aktywność antyoksydacyjną oznaczono metodą ABTS, natomiast wyniki wyrażono w mmol troloksu/dm<sup>3</sup>. Jak wynika z przedstawionych rycin, aktywność antyoksydacyjna oznaczona metodą ABTS otrzymanych ekstraktów była na podobnym poziomie, ale stwierdzono istotne statystyczne różnice między materiałem zebrany przy ruchliwej ulicy i w parku leśnym oraz w lesie (Tabela 1).

**Tabela 1.** Analiza statystyczna różnic aktywności antyoksydacyjnej żołądździ dębu czerwonego zebranych z trzech lokalizacji

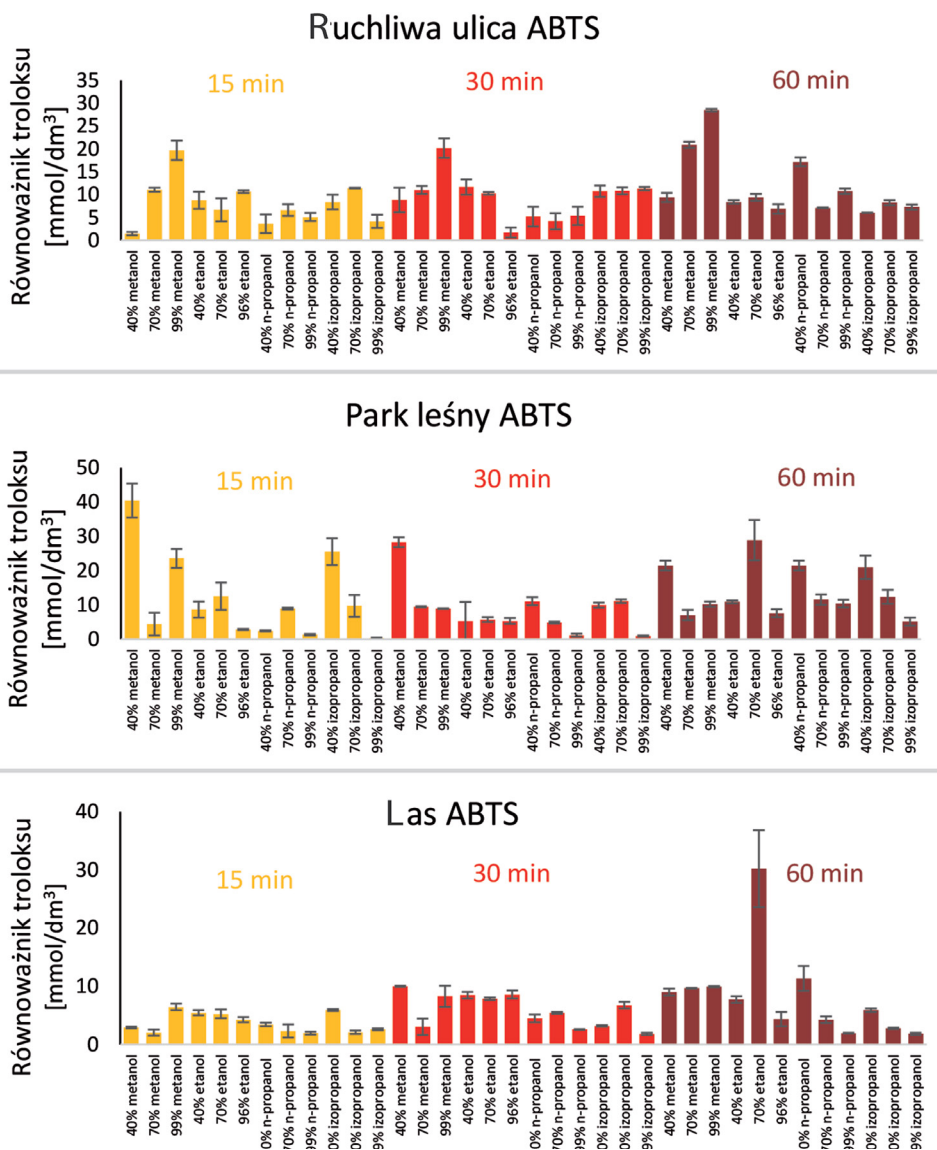
Table 1. Statistical analysis of differences in antioxidant activity of red oak acorns collected from three locations

| Metoda oznaczania aktywności | Porównywane lokalizacje |            | <i>p</i>             |
|------------------------------|-------------------------|------------|----------------------|
| DPPH                         | ruchliwa ulica          | park leśny | <i>p</i> < 0,0001    |
|                              | ruchliwa ulica          | las        | <i>p</i> = 0,0027    |
|                              | park leśny              | las        | <i>p</i> = 0,0049    |
| ABTS                         | ruchliwa ulica          | park leśny | <i>p</i> = 0,67 (NS) |
|                              | ruchliwa ulica          | las        | <i>p</i> = 0,0003    |
|                              | park leśny              | las        | <i>p</i> = 0,0021    |

NS – nieistotnie statystycznie

Źródło: badanie własne.

Source: own study.



**Rysunek 1.** Średnia aktywność antyoksydacyjna ( $\pm$  odchylenie standardowe, SD) ekstraktów żołądźi dębu czerwonego zebranych w trzech lokalizacjach oznaczona metodą ABTS i wyrażona jako równoważniki troloksu [mmol troloksu/dm<sup>3</sup>]. Pionowe linie oznaczają odchylenie standardowe (SD).

**Figure 1.** Mean antioxidant activity ( $\pm$  standard deviation, SD) of red oak acorn extracts collected at three locations determined by the ABTS method and expressed as trolox equivalents [mmol trolox/dm<sup>3</sup>]. Vertical lines represent standard deviations (SD).

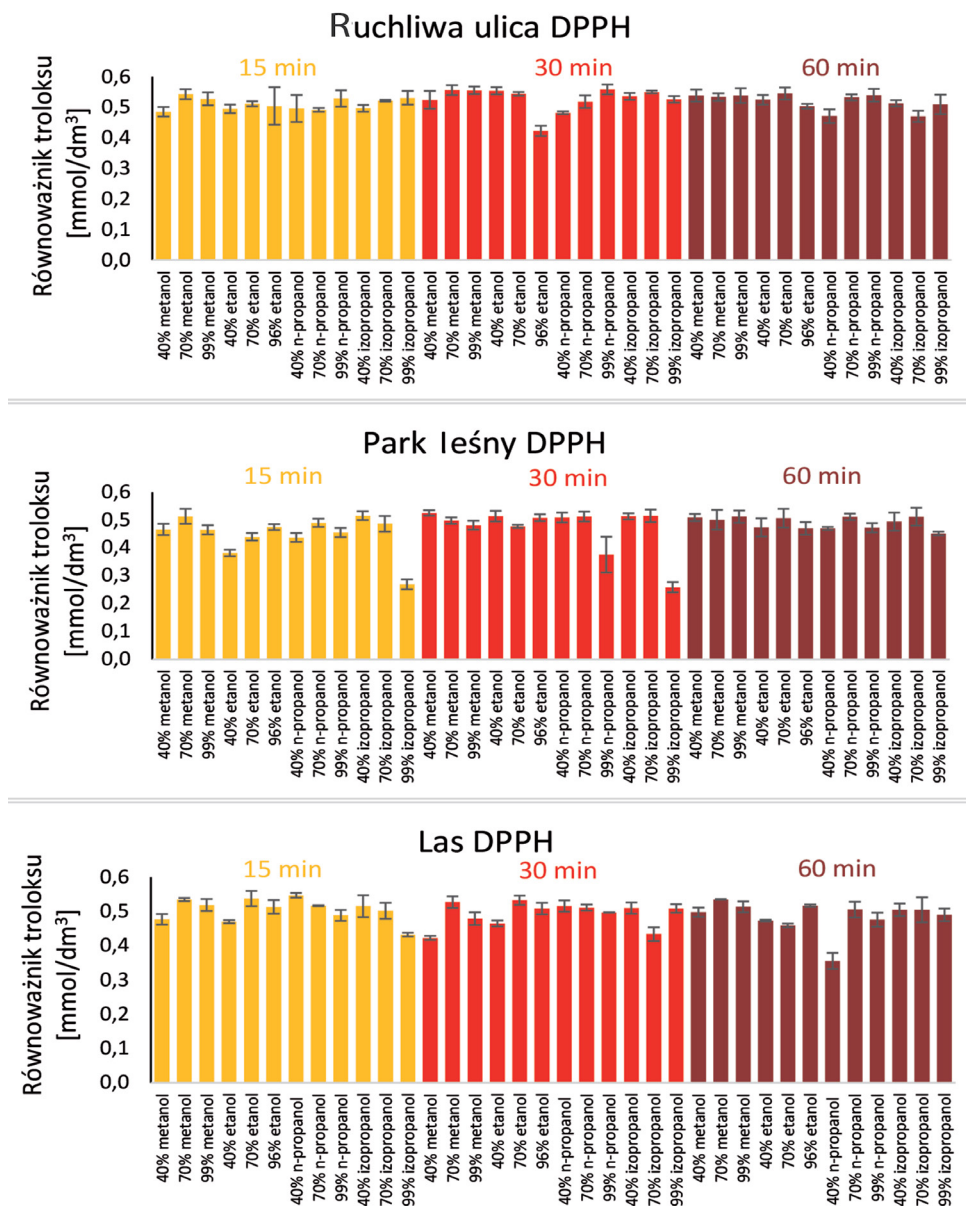
Źródło: badania własne.

Source: own study (results of this study).

Rysunek 2 przedstawia średnie aktywności antyoksydacyjne ekstraktów z żołądzi dębu czerwonego pochodzących z tych samych lokalizacji. Aktywność antyoksydacyjną oznaczono metodą DPPH, natomiast wyniki wyrażono, podobnie jak w przypadku poprzedniej metody, w mmol troloksu/dm<sup>3</sup>. Jak wynika z przedstawionych rycin, aktywność antyoksydacyjna otrzymanych ekstraktów oznaczona metodą DPPH była na podobnym poziomie, ale stwierdzono istotne statystyczne różnice między ekstraktami pochodzącymi z poszczególnych lokalizacji (Tabela 1). Otrzymane wyniki wydają się świadczyć o tym, że to, gdzie rośnie dąb czerwony, może mieć wpływ na aktywność antyoksydacyjną ekstraktów z jego żołądzi.

Oceniono również, czy zastosowany alkohol, jego stężenie i czas ekstrakcji miały wpływ na obserwowane aktywności antyoksydacyjne ekstraktów z żołądzi dębu czerwonego. Wykorzystano w tym celu test Kruskala-Wallisa. W przypadku zastosowania do oznaczeń aktywności antyoksydacyjnej ekstraktów w poszczególnych alkoholach metody DPPH nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy ekstraktami ( $p = 0,2264$ ). Przy oznaczaniu aktywności metodą ABTS stwierdzono istotne statystycznie różnice między ekstraktami sporządzonymi w metanolu i n-propanolu ( $p = 0,029$ ) i pomiędzy ekstraktami w metanolu i izopropanolu ( $p = 0,002$ ), natomiast ekstrakty etanolowe nie różniły się w stopniu statystycznie istotnym od ekstraktów w metanolu, n-propanolu i izopropanolu ( $p = 0,165$ ;  $p = 0,090$  i  $p = 0,165$ ), podobnie ekstrakty w n-propanolu i izopropanolu ( $p = 0,372$ ). Zbadano również wpływ czasu ekstrakcji. W przypadku oceny metodą DPPH nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy poszczególnymi czasami ekstrakcji surowców ( $p = 0,310$ ), natomiast w przypadku analizy ekstraktów metodą ABTS stwierdzono istotne statystycznie różnice pomiędzy próbkami ekstrahowanymi przez 15 i 30 min ( $p = 0,003$ ). Stężenie alkoholi użytych do sporządzenia ekstraktów miało wpływ na uzyskane właściwości. W przypadku oznaczeń metodą DPPH stwierdzono istotne statystycznie różnice między ekstraktami sporządzonymi w 40 i 70% (v/v) alkoholach ( $p = 0,036$ ) i pomiędzy ekstraktami w 70% i stężonych alkoholach ( $p = 0,035$ ). W przypadku oznaczeń metodą ABTS istotnie statystycznie różniły się ekstrakty w 40% i stężonych alkoholach ( $p = 0,015$ ) oraz w 70% i stężonych alkoholach ( $p = 0,048$ ).

Dokonano również analizy korelacji pomiędzy wartościami aktywności antyoksydacyjnej oznaczonej metodą DPPH i ABTS. Stwierdzono istotną statystycznie liniową korelację pomiędzy aktywnością antyoksydacyjną oznaczoną obiema metodami dla ruchliwej ulicy i parku leśnego (ruchliwa ulica  $y = 0,002x + 0,4992$ ;  $R = 0,3822$ ,  $p = 0,021$ ; park leśny  $y = 0,0024x + 0,443$ ;  $R = 0,3658$ ;  $p = 0,028$ ), natomiast nie stwierdzono takiej korelacji w przypadku lasu ( $y = -0,0024x + 0,5087$ ;  $R = -0,3173$ ;  $p = 0,059$ ).



**Rysunek 2.** Średnia aktywność antyoksydacyjna ( $\pm$  odchylenie standardowe, SD) ekstraktów żołądźi dębu czerwonego zebranego w trzech lokalizacjach oznaczona metodą DPPH i wyrażona jako równoważniki troloksu [mmol troloksu/dm<sup>3</sup>]. Pionowe linie oznaczają odchylenie standardowe (SD).

**Figure 2.** Mean antioxidant activity ( $\pm$  standard deviation, SD) of red oak acorn extracts collected at three locations determined by the DPPH method and expressed as trolox equivalents [mmol Trolox/dm<sup>3</sup>].

Źródło: badania własne.

Source: own study (results of this study).

## Dyskusja

W prezentowanej pracy podjęto próbę określenia aktywności antyoksydacyjnej ekstraktów z żołądździ *Quercus rubra* zebranych w październiku 2023 r. w trzech różnych lokalizacjach – w nadleśnictwie Nowogard, przy ruchliwej ulicy w Szczecinie oraz przy położonym w tym mieście jeziorem Goplany. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że aktywność antyoksydacyjna ekstraktów otrzymanych z wykorzystaniem czterech niskocząsteczkowych alkoholi była różna w zależności od miejsca zbioru żołądździ.

Głównymi substancjami prozdrowotnymi znajdującymi się w żołądździach pochodzących z różnych gatunków *Quercus* są m.in. związki fenolowe. Niezwykle ważna jest ocena ich wpływu na skórę w procesie starzenia, gdyż dowiedzenie ich korzystnego wpływu umożliwiłoby wykorzystanie żołądździ m.in. w przemyśle kosmetycznym. Od lat aktywność antyoksydacyjna żołądździ dębu czerwonego stanowi przedmiot zainteresowań przedstawicieli wielu dyscyplin naukowych. W związku z tym istnieje możliwość porównania pozyskanych wyników badań własnych z badaniami prowadzonymi przez innych badaczy.

Oracz i wsp. [32] przeprowadzili pierwsze kompleksowe badanie mające na celu szczegółową identyfikację strukturalną metodą UHPLC-DAD-ESI-HRMS/MS związków fenolowych w surowych i poddanych obróbce termicznej nasionach *Q. rubra*. Przeprowadzona przez nich analiza w tym zakresie pozwoliła zidentyfikować i oznaczyć ilościowo łącznie 41 związków fenolowe, w tym garbniki ulegające hydrolizie (gallotaninę i elagitaninę), glikozydy fenolowe, kwas elagonowy i jego pochodne oraz pochodne kwasu hydroksybenzoesowego. Głównymi pojedynczymi związkami fenolowymi w nasionach *Q. rubra* były m.in. kreatynina, rugosyna, enoteina B i izomery D rugosyny. Wykazano, iż kreatynina jest jednym z najbardziej stabilnych termicznie związków fenolowych nasion dębu czerwonego, natomiast najbardziej wrażliwe na obróbkę cieplną są galotaniny i dimeryczne elagotanniny o dużej masie cząsteczkowej.

Górnaś w swych badaniach [33] przeanalizował obecność tokoferoli w owocach *Q. rubra* L. oraz *Q. robur* L. przy użyciu techniki wysokosprawnej chromatografii cieczowej. W wyniku analizy zidentyfikował cztery rodzaje tokoferoli:  $\alpha$ -tokoferol,  $\beta$ -tokoferol,  $\gamma$ -tokoferol oraz  $\delta$ -tokoferol. W żołądździach *Q. robur* najwyższym stężeniem cechowały się  $\gamma$ -tokoferole, podczas gdy w *Q. rubra* dominowały pod tym względem  $\beta$ -tokoferole. Dominacja  $\beta$ -tokoferoli w żołądździach pochodzących z dębu czerwonego jest interesująca, bowiem w innych gatunkach *Quercus* dominują inne tokoferole [34]. Wysoka zawartość tokoferoli w owocach dębów decyduje o ich właściwościach antyoksydacyjnych, co czyni je surowcem potencjalnie użytecznym w przemyśle farmaceutycznym i kosmetycznym [33].

Marc i wsp. [35] w swojej pracy przedstawili możliwość wykorzystania proszku z żołądź z dębu czerwonego do otrzymania produktu czekoladowego niezawierającego środków pobudzających układ nerwowy. Czekoladę otrzymano po zoptymalizowaniu procesu prażenia żołądź dębu i uzyskaniu proszku. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że żołądź dębu czerwonego charakteryzują się dużą zawartością związków fenolowych, które wykazują silne działanie przeciwutleniające, a w związku z tym spełniają liczne funkcje fizjologiczne, biochemiczne i biologiczne. Żołądź te są obiecującym materiałem bazowym, który zawiera duże ilości metabolitów wtórnych, zdolnych do zapewnienia ochrony przed skażeniem mikrobiologicznym, a zwłaszcza namnażaniem się bakterii Gram-dodatnich (*Bacillus cereus*).

Oracz i wsp. [36] skupili się na zbadaniu składu związków bioaktywnych, w tym związków fenolowych i produktów reakcji Maillarda, cech smakowych i zdolności przeciwutleniających żołądź dębu czerwonego, uwzględniając różne kombinacje czasu i temperatury ich prażenia. Celem badania było zidentyfikowanie odpowiednich i efektywnych warunków obróbki termicznej, które poprawiają właściwości sensoryczne produktu oraz zwiększają lub utrzymują zawartość korzystnych dla zdrowia związków bioaktywnych, wykazujących m.in. właściwości przeciwutleniające. Badacze wykazali, iż zarówno nieprażone, jak i prażone nasiona *Quercus rubra* można uznać za cenne źródło związków bioaktywnych, wykazujących silne właściwości przeciwutleniające. Żołądź dębu czerwonego można zatem wykorzystać do produkcji pełnowartościowej i zdrowej żywności, bogatej we wszystkie niezbędne składniki odżywcze, której spożywanie może znacząco zmniejszyć ryzyko rozwoju chorób cywilizacyjnych. Ponadto wysoka zawartość melanoidyn i związków fenolowych sprawi, że surowiec ten oraz uzyskane z niego preparaty staną się trwalsze, jak również bardziej odporne na szkodniki oraz patogeny, a także łatwiejsze będzie ich przetworstwo – pozwoli to uniknąć niepożądanego stosowania stabilizatorów i konserwantów oraz wydłużyć przewidywany czas przechowywania surowca. Tym samym uprawa dębu czerwonego zasadniczo nie wymaga nawożenia ani stosowania pestycydów i można uznać jego żołądź za znaczące źródło żywności funkcjonalnej. Dodatkowo wyniki badań pokazały, iż zarówno prażone, jak i nieprażone nasiona *Quercus rubra* mogą być wykorzystywane jako składnik funkcjonalny w przemyśle spożywczym oraz mogą znaleźć zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym i kosmetycznym.

Zamieszczone dane z piśmiennictwa, jak również wyniki przeprowadzonych badań świadczą o znaczących właściwościach przeciwutleniających dębu czerwonego. Uzyskane wyniki dowodzą, iż można rozważyć możliwość szerszego zastosowania *Quercus rubra* w przemyśle farmaceutycznym oraz kosmetycznym.

## Wnioski

1. Dąb czerwony (*Quercus rubra*, *Fagaceae*) stanowi cenne źródło antyoksydantów.
2. Znaczący wpływ na uzyskiwany potencjał antyoksydacyjny wyciągów z tej rośliny miał rodzaj stosowanego ekstrahenta, jak również czas ekstrakcji.
3. Ekstrakcja wspomagana ultradźwiękami, zaliczana do zielonych technik, jest cenną metodą służącą pozyskiwaniu ekstraktów o znaczącej aktywności antyoksydacyjnej.
4. Ze względu na istotne właściwości prozdrowotne dąb czerwony powinien znaleźć zastosowanie w produkcji kosmetyków, głównie przeciwstarzeniowych.

## Literatura

- [1] Urbańska M., Nowak G., Florek E., Wpływ palenia tytoniu na starzenie się skóry, *Przegląd Lekarski*, 2012, 69(10), s. 1111–1114.
- [2] Węglowska J., Milewska A., Pozytywne i negatywne skutki promieniowania słonecznego, *Postępy Kosmetologii*, 2011, 2(2), s. 93–97.
- [3] Tobin D.J., Introduction to skin aging, *Journal of Tissue Viability*, 2017, 26(1), s. 37–46.
- [4] Miller E., Malinowska K., Gałęcka E., Mrowicka M., Kędziora J., Rola flawonoidów jako przeciwutleniaczy w organizmie człowieka, *Polski Merkurusz Lekarski*, 2008, 24(144), s. 556–560.
- [5] Prior R.L., Oxygen radical absorbance capacity (ORAC): New horizons in relating dietary antioxidants/bioactives and health benefits, *Journal of Functional Foods*, 2015, 18, s. 797–810.
- [6] Skotnicka M., Golan M., Szmukała N., Rola naturalnych przeciwutleniaczy pochodzenia roślinnego w profilaktyce nowotworowej, *Annales Academiae Medicae Gedanensis*, 2017, 47, s. 119–127.
- [7] Karadag A., Ozcelik B., Saner S., Review of methods to determine antioxidant capacities, *Food Analytical Methods*, 2009, 2(1), s. 41–60.
- [8] Koss-Mikołajczyk I., Baranowska M., Namieśnik J., Bartoszek A., Metody oznaczania właściwości przeciwutleniających fitozwiązków w systemach komórkowych z wykorzystaniem zjawiska fluorescencji/luminescencji, *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 2017, 71, s. 602–617.
- [9] Puzanowska-Tarasiewicz H., Kuźmicka L., Tarasiewicz M., Antyoksydanty a reaktywne formy tlenu, *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 2010, 43(1), s. 9–14.
- [10] Zabłocka A., Janusz M., Dwa oblicza wolnych rodników tlenowych, *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 2008, 62, s. 118–124.
- [11] Czajka A., Wolne rodniki tlenowe a mechanizmy obronne organizmu, *Nowiny Lekarskie*, 2006, 75(6), s. 582–586.
- [12] Wawrzyniak A., Krotki M., Stoparczyk B., Właściwości antyoksydacyjne owoców i warzyw, *Medycyna Rodzinna*, 2011, 1, s. 19–23.

- [13] Siti H.N., Kamisah Y., Kamsiah J., The role of oxidative stress, antioxidants and vascular inflammation in cardiovascular disease (a review), *Vascular Pharmacology*, 2015, 71, s. 40–56.
- [14] Crobeddu B., Aragao-Santiago L., Bui L.C., Boland S., Baeza Squiban A., Oxidative potential of particulate matter 2.5 as predictive indicator of cellular stress, *Environmental Pollution*, 2017, 230, s. 125–133.
- [15] Szwagrzyk J., Potencjalne korzyści i zagrożenia związane z wprowadzaniem do lasów obcych gatunków drzew, *Sylwan*, 2000, 144(2), s. 99–106.
- [16] Bijak S., Bronisz A., Bronisz K., Wpływ czynników klimatycznych na przyrost radialny dębu szypułkowego i czerwonego w LZD Rogów, *Studia i Materiały CEPL*, 2012, 1(30), s. 1222.
- [17] Tomusiak R., Wojtan R., Arasim W., Porównanie przyrostów radialnych dębu czerwonego i szypułkowego rosnących w bliskim sąsiedztwie, *Studia i Materiały CEPL*, 2016, 48(3), s. 81.
- [18] Gazda A., Augustynowicz P., Obce gatunki drzew w polskich lasach gospodarczych: co wiemy o puli i rozmieszczeniu wybranych taksonów, *Studia i Materiały CEPL*, 2012, 33, s. 53–61.
- [19] Tokarska-Guzik B., Dajdok Z., Zając M., Zając A., Urbisz A., Danielewicz W., Hołdyński C., Rośliny obcego pochodzenia w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem gatunków inwazyjnych, *Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska*, 2012, s. 197.
- [20] Wilczek Z., Kluska P., Zarzycki W., Zarzycka M., Fitocenozy z udziałem dębu czerwonego (*Quercus rubra* L.) na terenie nadleśnictwa Kobiór i ich znaczenie dla tego gatunku, *Acta Geographica Silesiana*, 2017, 26, s. 79–87.
- [21] Woziwoda B., Antropogeniczne wspomaganą ekspansja dębu czerwonego *Quercus rubra*. Zagrożenia ekosystemów leśnych przez człowieka, *Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*, 2008, s. 259–263.
- [22] Wójcik S., Dąb czerwony, *Las Polski*, 2008, 18, s. 22–23.
- [23] Kuc M., Piszczek M., Janusz A., Znaczenie dębu czerwonego w ekosystemie leśnym i rachunku ekonomicznym nadleśnictw Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Katowicach, *Studia i Materiały CEPL*, 2012, 33(4), s. 152–159.
- [24] Chmura D., Charakterystyka fitocenotyczna leśnych zbiorowisk zastępczych z udziałem *Quercus rubra* L. na Wyżynie Śląskiej, *Acta Botanica Silesiaca*, 2014, 10, s. 17–40.
- [25] Chmura D., Impact of alien tree species *Quercus rubra* L. on understorey habitat and flora: a study of the Silesian Upland (Southern Poland), *Polish Journal of Ecology*, 2013, 61(3), s. 431–442.
- [26] Woziwoda B., Kopeć D., Witkowski J., The negative impact of intentionally introduced *Quercus rubra* L. on a forest community, *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 2013, 83(1), s. 39–49.
- [27] Woziwoda B., Potocki M., Sagan J., Zasada M., Tomusiak R., Wilczyński S., Commercial Forestry as a Vector of Alien Tree Species – the Case of *Quercus rubra* L. Introduction in Poland, *Baltic Forestry*, 2014, 20(1), s. 131–141.

- [28] Muzykiewicz A., Zielonka-Brzezicka J., Florkowska K., Klimowicz A., Antioxidant potential of *Hippophae rhamnoides* L. extracts obtained with green extraction technique, *Herba Polonica*, 2018, 84(4), s. 14–22.
- [29] Muzykiewicz A., Nowak A., Florkowska K., Klimowicz A., Optimization of ultrasound-assisted extraction of fresh and frozen Mirabelle plum to enhance antioxidant potential, polyphenols, plant pigments, and phenolic acid content, *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 2022, 21(3), s. 239–250.
- [30] Wąsik A., Klimowicz A., Extracts from *Corylus avellana* as a source of antioxidants useful in cosmetic preparations, *Pomeranian Journal of Life Sciences*, 2022, 68(4), s. 56–66.
- [31] Koss-Mikołajczyk I., Baranowska M., Namieśnik J., Bartoszek A., Metody oznaczania właściwości przeciwutleniających fitozwiązków w systemach komórkowych z wykorzystaniem zjawiska fluorescencji/luminescencji, *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 2017, 71, s. 602–616.
- [32] Oracz J., Żyżelewicz D., Pacholczyk-Sienicka B., UHPLC-DAD-ESI-HRMS/MS profile of phenolic compounds in northern red oak (*Quercus rubra* L., syn. *Q. borealis* F. Michx.) seeds and its transformation during thermal processing, *Industrial Crops and Products*, 2022, 189, s. 115860.
- [33] Górnaś P., Oak *Quercus rubra* L. and *Quercus robur* L. acorns as an unconventional source of gamma-and beta-tocopherol, *European Food Research and Technology*, 2019, 245(1), s. 257–261.
- [34] Szablowska E., Tańska M., Acorns as a source of valuable compounds for Food and Medical Applications: A Review of *Quercus* Species Diversity and Laboratory Studies, *Applied Sciences*, 2024, 14, 2799.
- [35] Marc R.A., Niculae M., Páll E., Mureşan V., Mureşan A., Tanislav A., Puscas A., Muresan C., Cerbu C., Red Oak (*Quercus rubra* L.) Fruits as Potential Alternative for Cocoa Powder: Optimization of Roasting Conditions, Antioxidant and Biological Properties, *Forests*, 2021, 12(8), s. 1088.
- [36] Oracz J., Prejzner M., Grzelczyk J., Kowalska G., Żyżelewicz D., Bioactive Compounds, Antioxidant Activity and Sensory Properties of Northern Red Oak (*Quercus rubra* L., syn. *Q. borealis* F. Michx.) Seeds Affected by Roasting Conditions, *Molecules*, 2023, 28(5), s. 2299.

## Liście jabłoni jako źródło składników bioaktywnych

### Apple leaves as a source of bioactive compounds

Małgorzata Tabaszewska<sup>1,2</sup>, Radosława Skoczeń-Słupska<sup>1</sup>, Patrycja Wójcik<sup>4</sup>,  
Grzegorz Tokarczyk<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Katedra Technologii Produktów Roślinnych i Higieny Żywności, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków, e-mail: małgorzata.tabaszewska@urk.edu.pl

<sup>2</sup> Katedra Żywnienia Człowieka i Metabolomiki, Wydział Nauk o Zdrowiu, Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie, ul. Rybacka 1, 70-204 Szczecin

<sup>3</sup> Katedra Technologii Rybnej, Roślinnej i Gastronomicznej, Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, al. Piastów 17, 70-310 Szczecin

<sup>4</sup> Absolwentka kierunku technologia żywności i żywienie człowieka, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków

---

**Słowa kluczowe:** liście jabłoni, 'Idared', 'Oliwka Inflancka', składniki bioaktywne  
**Keywords:** apple leaves, 'Idared', 'Oliwka Inflancka', bioactive compounds

---

### Streszczenie

*Malus domestica* L. należy do najpopularniejszych roślin sadowniczych w strefie klimatu umiarkowanego. Celem niniejszej pracy była ocena liści jabłoni dwóch odmian: 'Idared' i 'Oliwka Inflancka' zebranych w trzech terminach (wiosna, lato, jesień), jako potencjalnego źródła związków bioaktywnych z możliwością zastosowania w produkcji kosmetyków. W liściach oznaczono zawartość polifenoli ogółem, fenylopropanoidów, flawonoli, antocyjanów, a także oznaczono aktywność przeciwutleniającą względem rodnika ABTS oraz zdolność redukcji jonów żelaza (FRAP). Liście jabłoni odmiany 'Idared' na ogół zawierały większą liczbę oznaczanych składników bioaktywnych oraz cechowały się większą aktywnością przeciwutleniającą w porównaniu do liści jabłoni odmiany 'Oliwka Inflancka'. Liście pozyskane jesienią na ogół były zasobniejsze w oznaczane składniki bioaktywne i cechowały się większą aktywnością przeciwutleniającą w porównaniu do liści pozyskanych w pozostałych porach roku.

### Summary

*Malus domestica* L. is one of the most popular fruit plants in the temperate climate zone. The aim of this study was to evaluate the leaves of two apple varieties: 'Idared' and 'Oliwka Inflancka' collected in three periods (spring, summer, autumn) as a potential source of

bioactive compounds with the possibility of use in the production of cosmetics. The content of total polyphenols, phenylpropanoids, flavonols, anthocyanins was determined in the leaves, as well as the antioxidant activity against the ABTS radical and the ability to reduce iron ions (FRAP). The leaves of the 'Idared' apple variety generally contained a greater amount of the determined bioactive components and were characterized by greater antioxidant activity compared to the leaves of the 'Oliwka Inflancka' apple variety. The leaves collected in autumn were generally richer in the assayed bioactive components and were characterized by greater antioxidant activity compared to the leaves collected in other seasons.

## Wprowadzenie

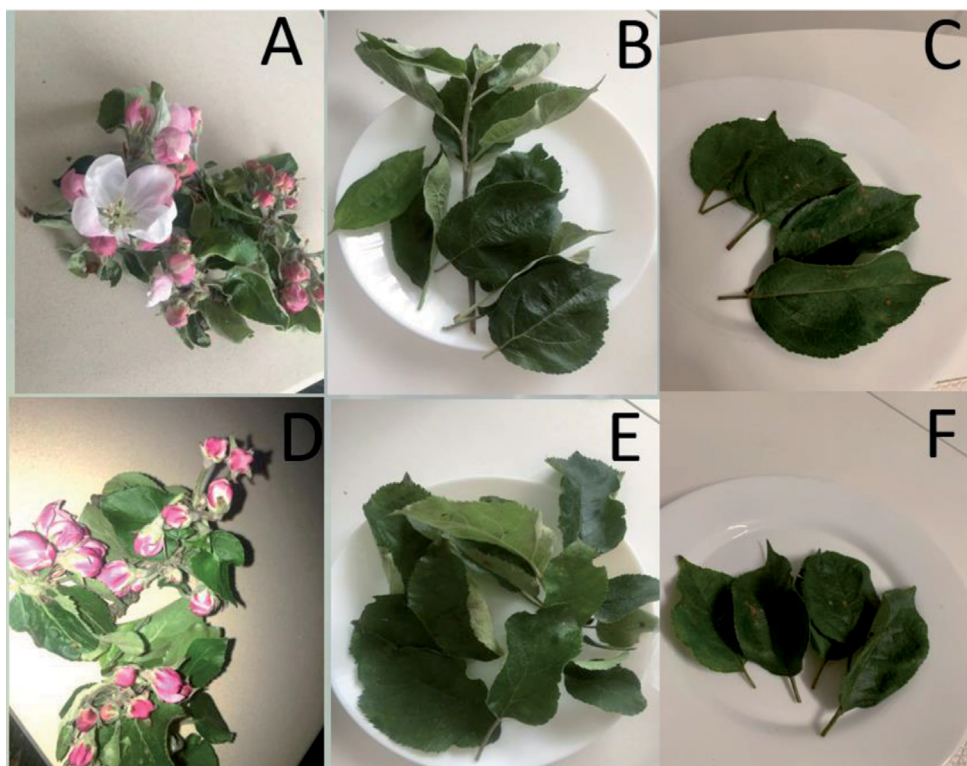
Liście wielu roślin wykorzystywane były przez człowieka w różny sposób, m.in. stanowiły pożywienie ludzi i zwierząt, surowiec w medycynie naturalnej do zapobiegania i leczenia licznych chorób, także do wytwarzania używek czy w kosmetologii w celu dbania o prawidłową kondycję skóry. Liście roślin użytkowych są tematem licznych prac badawczych związanych z ich korzystnym oddziaływaniem na organizmy żywe [1–3]. Udowodniono, m.in., że ekstrakty z liści aronii wykazywały działanie przeciwzapalne i przeciwnowotworowe na linii komórkowej SK-Hep1 i Raw 264.7 [4] czy przeciwbiałaczkowe wobec linii komórkowych HL60 [5]. Z kolei ekstrakty z liści pigwy wykazywały korzystne działanie m.in. na profil lipidowy krwi królików [6]. Natomiast ekstrakt z liści morwy czarnej wykazywał działanie przeciwnowotworowe wobec linii komórkowej HeLa [7].

Jabłoń domowa (*Malus domestica* L.), należąca do rodziny różowate (Rosaceae), jest najpopularniejszą rośliną sadowniczą w strefie klimatu umiarkowanego. Roślina ta jest niewysokim (5–12 m) drzewem o liściach długości od 5 do 12 cm i szerokości od 3 do 6 cm, owalnych lub jajowatych, piłkowanych, o owłosionym spodzie. Kwiaty, koloru blad różowego, osadzone na skróconych pędach rozkwitają wiosną równocześnie z pączkowaniem liści [8]. Na świecie w uprawie występuje około 10 tys. odmian tej rośliny [8]. W Polsce dominują odmiany: 'Red Jonaprince', 'Idared', 'Golden Delicious', 'Gala', 'Szampion', 'Ligol', bardzo popularna jest również wczesna odmiana jabłoni 'Oliwka Inflancka' [9]. Jabłonie, oprócz cennego spożywczo surowca, którym są jabłka (wykorzystywane zarówno do bezpośredniej konsumpcji, jak i przetwórstwa), mogą dostarczać również liście zasobne w składniki bioaktywne. Zawartość składników w roślinach zależy od wielu czynników, które związane są m.in. z uprawą, warunkami klimatyczno-glebowymi, odmianą, ale również z czasem wegetacji rośliny [10]. Liście jabłoni zasobne są w liczne związki bioaktywne, przede wszystkim w związki fenolowe, a zwłaszcza floretynę i procyjanidynę. Liście jabłoni wykazują większą aktywność przeciwutleniającą oraz zawierają większą ilość związków fenolowych niż ich owoce [3, 11].

Celem niniejszej pracy była ocena liści jabłoni dwóch odmian: 'Idared' i 'Oliwka Inflancka', zebranych w trzech terminach (wiosną, latem, jesienią), jako potencjalnego źródła związków bioaktywnych z możliwością zastosowania przy produkcji kosmetyków.

### Materiał

Badanym materiałem były liście dwóch odmian jabłoni: 'Oliwka Inflancka' (Papiérówka) oraz 'Idared' (Rysunek 1) zebrane na terenie Mielca (50°17'13"N, 21°25'26"E) w słoneczny dzień. Liście pozyskano w trzech porach wegetacji roślin: wiosną – 20 kwietnia 2020 r. (Rysunki 1A i 1D), latem – 3 lipca 2020 r. (Rysunki 1B i 1E) i jesienią – 10 października 2020 r. (Rysunki 1C i 1F). Po zebraniu materiał badawczy został utrwalony przez proces mrożenia i przechowywany w temperaturze  $-20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  do momentu przeprowadzenia analiz.



**Rysunek 1.** Liście odmiany 'Oliwka Inflancka' A – wiosna; B – lato; C – jesień; liście odmiany 'Idared' D – wiosna; E – lato; F – jesień (fot. Patrycja Wójcik)

**Figure 1.** Leaves of the 'Oliwka Inflancka' variety: A – spring; B – summer; C – autumn; leaves of the 'Idared' variety: D – spring; E – summer; E – autumn (photo Patrycja Wójcik)

## Metody

### Przygotowanie ekstraktów

Zamrożone liście rozdrobniono z wykorzystaniem wysokoobrotowego homogenizatora nożowego Microtron MB 550 (Kinematica AG, Switzerland) z wodą destylowaną w stosunku liście do wody 1:2. Z tak przygotowanego homogenatu odważono po 10 g próby, które następnie ekstrahowano 80% alkoholem etylowym (v/v) na gorąco pod chłodnicą zwrotną w czasie 30 min. Po ochłodzeniu próby zostały przesączone przez sączki o średniej twardości i przelane do kolb miarowych o pojemności 50 ml. Tak przygotowane ekstrakty zostały wykorzystane do przeprowadzenia analiz spektrofotometrycznych.

Analizy spektrofotometryczne wykonano przy użyciu dwuwiązkowego spektrofotometru UV-Vis typu 160A marki Shimadzu (Shimadzu Europe GmbH).

### Zawartość polifenoli ogółem

Zawartość polifenoli ogółem oznaczono metodą opisaną przez Singleton i in. [12] z użyciem odczynnika Folina-Ciocalteu. Do odpowiedniej ilości supernatantu, tak aby uzyskany odczyt absorbancji mieścił się w przedziale 0,3–0,8, dodano 25% (w/v) węglan sodu i wymieszano przy użyciu urządzenia vortex laboratoryjny Labnet (Edison, NJ, USA), a następnie dodano odczynnik Folina-Ciocalteu i wymieszano ponownie. Tak przygotowane próby odstawiono w ciemne miejsce o temp. pokojowej  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  na 60 min. Po tym czasie zmierzono absorbancję przy długości fali 675 nm. Zawartość polifenoli ogółem odczytano z krzywej standardowej sporządzonej dla (+) – katechiny.

### Profil związków fenolowych

Zawartość wybranych grup związków fenolowych oznaczono metodą opisaną przez Fukumoto i Mazza [13]. Do odpowiedniej ilości supernatantu, tak aby uzyskany odczyt absorbancji mieścił się w przedziale 0,3–0,8, dodano 0,1% kwas solny w 96% etanolu (v/v) i wymieszano za pomocą urządzenia vortex laboratoryjny Labnet (Edison, NJ, USA). Następnie do prób dodano 2% kwasu solnego (v/v) i ponownie wymieszano. Pomiar przeprowadzono przy długościach fal: 280 nm, 320 nm, 360 nm i 520 nm w odniesieniu do próby odczynnikowej. Wyniki przeliczono, wykorzystując absorbancję molową ( $\epsilon$ ) odpowiednich standardów: kwasu chlorogenowego ( $0,264 \text{ mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) dla związków fenolowych, kwasu kawowego ( $0,887 \text{ mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) dla fenylopropanoidów, kwercetyny ( $0,513 \text{ mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) dla flawonoli i cyjanidyno-3-glukozydu ( $0,645 \text{ mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ) dla antocyjanów.

### **Zdolność redukcji jonów żelaza**

Zdolność redukcji jonów żelaza (FRAP) określono zgodnie z metodą opisaną przez Benzie i Strain [14]. Do odpowiedniej ilości supernatantu, tak aby uzyskany odczyt absorpcji mieścił się w przedziale 0,3–0,8, dodano roztwór TPTZ (2,4,6-Tris-(2-pyridyl)-s-triazine), następnie próby wymieszano za pomocą urządzenia vortex laboratoryjny Labnet (Edison, NJ, USA). Tak przygotowane próby inkubowano w temp. 37°C przez 10 min. Po tym czasie mierzono absorbcję przy długości fali 595 nm względem próby ślepej (odczynnika). Wartość FRAP odczytano z krzywej i wyrażono jako  $\mu\text{mol Fe}^{2+}$ .

### **Aktywność przeciwutleniająca względem kationorodnika ABTS**

Aktywność przeciwutleniającą względem kationorodnika ABTS oznaczono metodą z użyciem wolnego rodnika ABTS (2,2'-azino-bis(3-etylobenzotiazolino-6-sulfonowy kwas) o naziwe sól diamonowa, opisaną przez Re i in. [15]. Absorbancję mierzono 10 min po dodaniu 2 ml roztworu wolnych rodników do próby przy długości fali 734 nm. Aktywność antyoksydacyjną wyrażono jako ekwiwalent troloksu odczytany z krzywej kalibracyjnej sporządzonej dla tego związku organicznego.

### **Analiza statystyczna**

Wyniki poddano statystycznej analizie danych z użyciem programu komputerowego STATISTICA 13.1 i wyrażono jako średnią  $\pm$  odchylenie standardowe. Zastosowano wielo- i jednoczynnikową analizę wariancji. Istotność różnic między wartościami średnimi określono testem Duncana przy  $p < 0,05$ .

## **Wyniki i dyskusja**

Liście analizowanych odmian jabłoni były zasobne w związki fenolowe oraz charakteryzowały się dużą aktywnością przeciwutleniającą. Istotnie wyższą zawartością sumy flawanoli oraz fenylopropanoidów, a także istotnie większą zdolnością redukcji jonów żelaza cechowały się liście odmiany 'Oliwka Inflancka' w porównaniu do liści odmiany 'Idared'. Zawartość pozostałych oznaczanych związków oraz aktywność przeciwutleniająca względem rodnika ABTS była na podobnym poziomie niezależnie od odmiany (Tabela 1). Liście zebrane jesienią charakteryzowały się na ogół największą zawartością oznaczanych związków i największą aktywnością przeciwutleniającą, z wyjątkiem zawartości sumy fenoli, których największą ilość oznaczono w liściach pozyskanych wiosną (Tabela 1).

**Tabela 1.** Średnia najmniejszych kwadratów zawartości związków bioaktywnych i aktywność przeciwutleniająca liści jabłoni w zależności od odmiany i pory roku zbioru.

**Table 1.** Least squares mean content of bioactive compounds and antioxidant activity of apple leaves depending on the variety and harvest season.

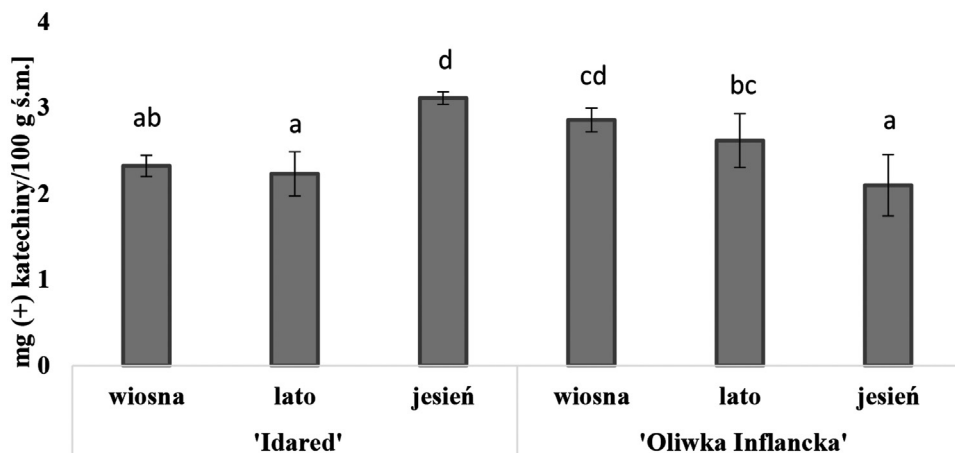
| Czynnik                | Polifenole ogółem [mg (+)-katechiny] | Suma flawonoli [mg kwercetyny] | Suma fenoli [mg kwasu chlorogenowego] | Suma fenoli [mg kwasu chlorogenowego] | Suma antocyjanów [mg cyjanidyny] | FRAP [μmolFe2+] | ABTS [mmol Trolox eq] |
|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------|
| w 100 g ś.m.           |                                      |                                |                                       |                                       |                                  |                 |                       |
| <b>Odmiana jabłoni</b> |                                      |                                |                                       |                                       |                                  |                 |                       |
| Oliwka Inflancka       | 2,52<br>a                            | 64,08<br>a                     | 58,55<br>a                            | 339,31<br>a                           | 1,31<br>a                        | 461,92<br>a     | 2,52<br>a             |
| Idared                 | 2,56<br>a                            | 57,20<br>b                     | 53,65<br>b                            | 334,00<br>a                           | 1,50<br>a                        | 421,03<br>b     | 2,56<br>a             |
| <b>Pora roku</b>       |                                      |                                |                                       |                                       |                                  |                 |                       |
| Wiosna                 | 2,59<br>a                            | 63,33<br>a                     | 58,69<br>a                            | 351,13<br>a                           | 1,45<br>ab                       | 420,17<br>b     | 2,59<br>a             |
| Lato                   | 2,42<br>a                            | 50,31<br>b                     | 50,39<br>b                            | 329,94<br>a                           | 1,11<br>b                        | 431,91<br>b     | 2,42<br>a             |
| Jesień                 | 2,60<br>a                            | 68,27<br>a                     | 59,22<br>a                            | 328,90<br>a                           | 1,66<br>a                        | 472,35<br>a     | 2,60<br>a             |

Te same litery w kolumnach dla danego czynnika oznaczają brak istotnych różnic przy  $p < 0,05$ .

The same letters in the columns for a given factor indicate no significant differences at  $p < 0.05$ .

Źródło: badanie własne.

## Liście jabłoni jako źródło składników bioaktywnych

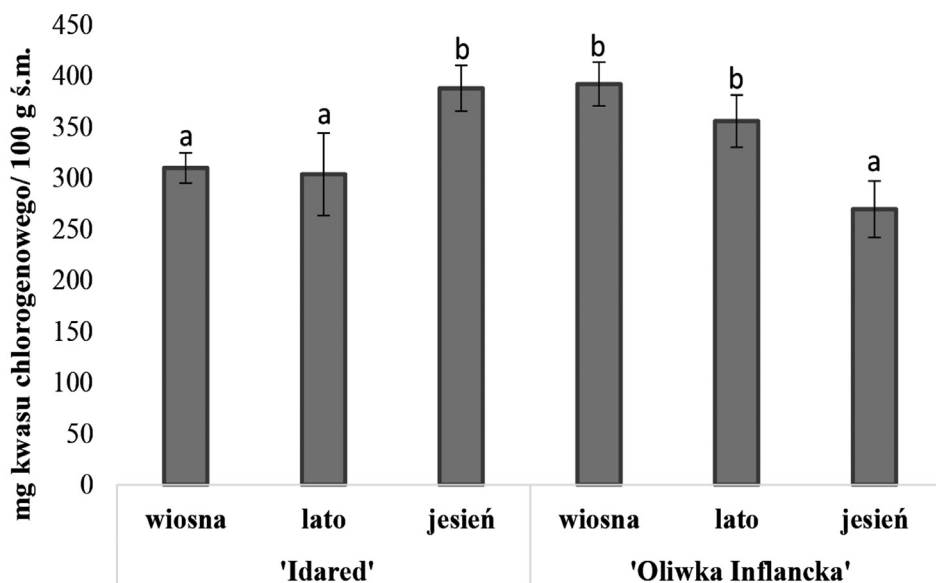


**Wykres 1.** Zawartość polifenoli ogółem w mg (+) katechiny w 100 g s.m. w liściach jabłoni w zależności od pory roku oraz odmiany. Średnia  $\pm$  SD, te same litery nad słupkami oznaczają brak różnic istotnych statystycznie pomiędzy wartościami średnimi przy  $p < 0,05$ .

**Graph 1.** Content of total polyphenols in mg (+) catechin in 100 g f.m. in apple leaves depending on the season and variety. Mean  $\pm$  SD, the same letters above the bars mean no statistically significant differences between the mean values at  $p < 0,05$ .

Źródło: badania własne.

Zawartość polifenoli ogółem (Wykres 1) w liściach analizowanych odmian jabłoni zależna była od pory roku. Nie zaobserwowano istotnych różnic w zawartości polifenoli ogółem w liściach pozyskanych wiosną i latem – niezależnie od odmiany. Z kolei w liściach zebranych jesienią zaobserwowano istotny wzrost tych związków w przypadku odmiany 'Idared' – o 36%, natomiast istotny spadek w przypadku odmiany 'Oliwka Inflancka' – o 24%. Rana i in. [16] oznaczyli zawartość polifenoli ogółem w suszonych liściach jabłoni, uzyskując wartość od 12 do 30 mg kwasu galusowego/g s.m. w zależności od zastosowanej metody ekstrakcji. Natomiast Wojdyło i Oszmiański [17], badający liście jabłoni odmiany 'Ozark Gold', wykazali, że liście te zawierały od 150 do 161 g polifenoli na kg suchej masy liści, przy czym zawartość tych związków nieznacznie różniła się między poszczególnymi terminami zbioru od lipca do października. Z kolei Teleszko i Wojdyło [18], którzy oznaczali w liściach jabłoni zawartość polifenoli gółem, odnotowali wartość średnio 9,5 g/100 g s.m., przy czym istotnie większą zawartością polifenoli ogółem, wynoszącą 11,6 g/100g s.m., charakteryzowały się liście jabłoni odmiany 'Ozark Gold' w porównaniu z liśćmi odmiany 'Szampion', zawierającymi 7,3 g/100 g s.m. polifenoli ogółem. W ekstraktach wodnych i etanolowych uzyskanych z liści jabłoni Efenberger-Szmechtyk i in. [19] zidentyfikowali związki fenolowe należące do kwasów fenolowych, flawan-3-ole, flawonole oraz chalkony, których oznaczono największą ilość [19].



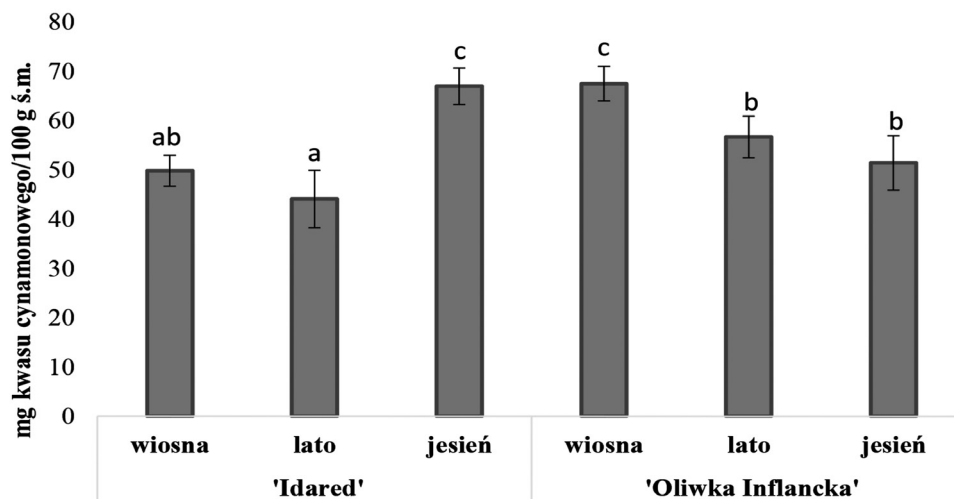
**Wykres 2.** Zawartość sumy fenoli w mg kwasu chlorogenowego w 100 g ś.m. w liściach jabłoni w zależności od pory roku oraz odmiany. Średnia  $\pm$  SD, te same litery nad słupkami oznaczają brak różnic istotnych statystycznie pomiędzy wartościami średnimi przy  $p < 0,05$ .

**Graph 2.** Content of total phenols in mg chlorogenic acid in 100 g f.m. in apple leaves depending on the season and variety. Mean  $\pm$  SD, the same letters above the bars mean no statistically significant differences between the mean values at  $p < 0.05$ .

Źródło: badania własne.

Zawartość sumy fenoli w liściach jabłoni odmiany 'Idared' była wyraźnie wyższa w materiale pozyskanym jesienią w porównaniu do liści zebranych w pozostałych porach roku. Zaobserwowano wzrost zawartości omawianych związków o około 26%. Z kolei w liściach jabłoni odmiany 'Oliwka Inflancka' zaobserwowano istotnie większą zawartość sumy fenoli w materiale pozyskanym wiosną i latem w porównaniu z liśćmi zebranymi jesienią. Zaobserwowano, że wraz z czasem wegetacji rośliny zmniejszała się ilość fenoli w liściach jabłoni tej odmiany (Wykres 2). Rana i in. [16] w liściach jabłoni oznaczyli pięć związków fenolowych, tj. florydzynę, epikatechinę, kwercetyno-3-O-glukozyd, floretynę oraz kwercytrynę. Z kolei Liaudanskas i in. [10] w etanolowych ekstraktach z liści jabłoni odmian 'Aldas', 'Auksis', 'Ligoł' i 'Lodel' zidentyfikowali floretynę, florydzynę, katechinę, kwercytrynę, izokwercytrynę, kwas chlorogenowy, kwas kawowy, hiperozyd oraz awikularynę. Wojdyło i Oszmiański [17] w liściach odmiany 'Ozark Gold' zidentyfikowali 18 związków fenolowych, spośród których w największej ilości występowała floretyna. Natomiast Efenberger-Szmechtyk i in. [19] przy użyciu metody LC-MS zidentyfikowali w różnych ekstraktach z liści jabłoni 12 związków fenolowych, przy czym największą

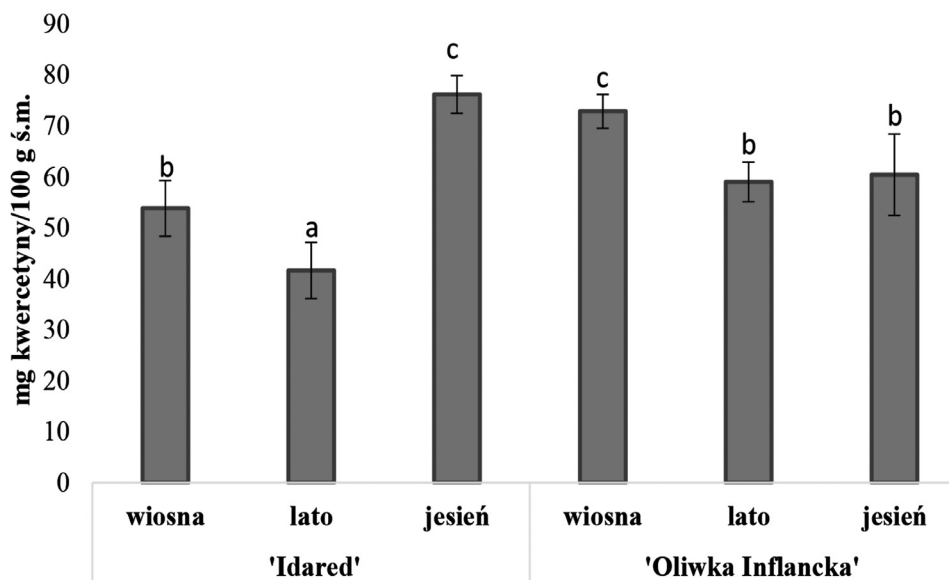
ilość, niezależnie od zastosowanego ekstrahenta i jego stężenia, oznaczono flawonidyny. Z kolei Teleszko i Wojdyło [18] przy użyciu metody LC-MS zidentyfikowali w liściach jabłoni odmian ‘Szampion’ oraz ‘Ozark Gold’ piętnaście związków fenolowych, przy czym największą koncentrację stanowiły związki fenolowe z grupy dihydrochalkony, w tym istotnie więcej tych związków wykryto w liściach odmiany ‘Ozark Gold’ (niecałe 9 g/100 g s.m.).



**Wykres 3.** Zawartość sumy fenylopropanoidów w mg kwasu cynamonowego w 100 g s.m. w liściach jabłoni w zależności od pory roku oraz odmiany. Średnia  $\pm$  SD, te same litery nad słupkami oznaczają brak różnic istotnych statystycznie pomiędzy wartościami średnimi przy  $p < 0,05$ .  
**Graph 3.** Content of total phenylpropanoids in mg cinnamic acid in 100 g f.m. in apple leaves depending on the season and variety. Mean  $\pm$  SD, the same letters above the bars mean no statistically significant differences between the mean values at  $p < 0.05$ .

Źródło: badania własne.

Kształtowanie zawartości sumy fenylopropanoidów w liściach podczas różnych pór roku zależna była od odmiany jabłoni. Liście jabłoni odmiany ‘Idared’ zebrane jesienią miały istotnie większą zawartość fenylopropanoidów w porównaniu z liśćmi pozyskanymi w innych porach roku (Wykres 3). Z kolei istotnie większą zawartość sumy fenylopropanoidów w liściach odmiany ‘Oliwka Inflancka’ oznaczono w materiale pozyskanym wiosną w porównaniu z liśćmi zebranymi w pozostałych porach roku. Podobną zależność zaobserwowano w przypadku zawartości sumy fenoli (Wykres 2). Również Wojdyło i Oszmiański [17] oznaczyli fenylopropanoidy w liściach jabłoni odmiany ‘Ozark Gold’ w każdej porze zbioru, przy czym ich ilość w porównaniu z innymi związkami fenolowymi była znacznie mniejsza. Podobnie Teleszko i Wojdyło [18] oznaczyli związki fenolowe z tej grupy w liściach jabłoni odmian ‘Ozark Gold’ i ‘Szampion’.



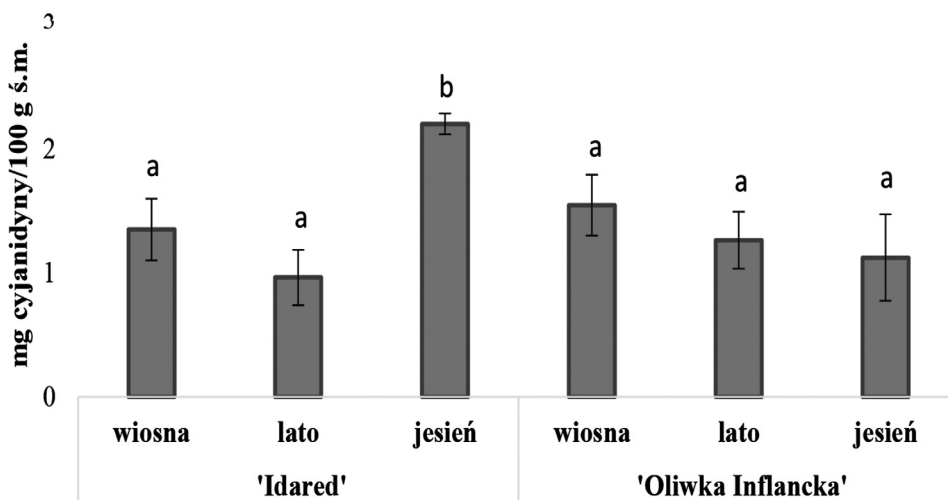
**Wykres 4.** Zawartość sumy flawonoli w mg kwercetyny w 100 g s.m. w liściach jabłoni w zależności od pory roku oraz odmiany. Średnia  $\pm$  SD, te same litery nad słupkami oznaczają brak różnic istotnych statystycznie pomiędzy wartościami średnimi przy  $p < 0,05$ .

**Graph 4.** Content of total flavonols in mg quercetin in 100 g f.m. in apple leaves depending on the season and variety. Mean  $\pm$  SD, the same letters above the bars mean no statistically significant differences between the mean values at  $p < 0.05$ .

Źródło: badania własne.

W liściach jabłoni odmiany 'Idared' zebranych jesienią oraz w liściach jabłoni odmiany 'Oliwka Inflancka' zebranych wiosną zaobserwowano większą sumę flawonoli w porównaniu z liśćmi pozyskanymi w pozostałych porach roku (Wykres 4). W liściach odmiany 'Idared' zebranych jesienią zaobserwowano wyższą o około 30% zawartość sumy flawonoli w porównaniu z liśćmi tej odmiany zebranymi wiosną, natomiast w liściach odmiany 'Oliwka Inflancka' zebranymi jesienią stwierdzono niższą o około 20% zawartość sumy flawonoli w porównaniu z liśćmi tej odmiany zebranymi wiosną. Podobne zależności zaobserwowano w odniesieniu zawartości sumy fenoli (Wykres 2) oraz sumy fenylopropanopidów (Wykres 3). Różnice w zawartości flawonoli w liściach jabłoni w zależności od odmiany zaobserwowali Teleszko i Wojdyło [18], którzy w liściach odmiany 'Szampion' stwierdzili istotnie większą zawartość flawonoli (2,3 g /100 g s.m.) w porównaniu z zawartością tych związków w liściach odmiany 'Ozark Gold' (1,5 g/100 g s.m.) [18]. Rana i in. [16] oznaczyli w liściach jabłoni znacznie większą zawartość flawonoli w przeliczeniu na suchą masę w porównaniu do naszych badań, co mogło być spowodowane zastosowaniem odmiennego ekstrahenta. Natomiast Efenberger-Szmechtyk i in. [19]

zidentyfikowali w ekstraktach wodnych i etanolowych z liści jabłoni przy użyciu metody HPLC dwa flawonole (kwercetyno-pentozyd oraz kwercetyno-ramnozyd), natomiast przy zastosowaniu metody LC-MS dodatkowo jeszcze kwercetyno-heksozyd, przy czym największa ich ilość oznaczona została w ekstraktach z wykorzystaniem 60% alkoholu etylowego.

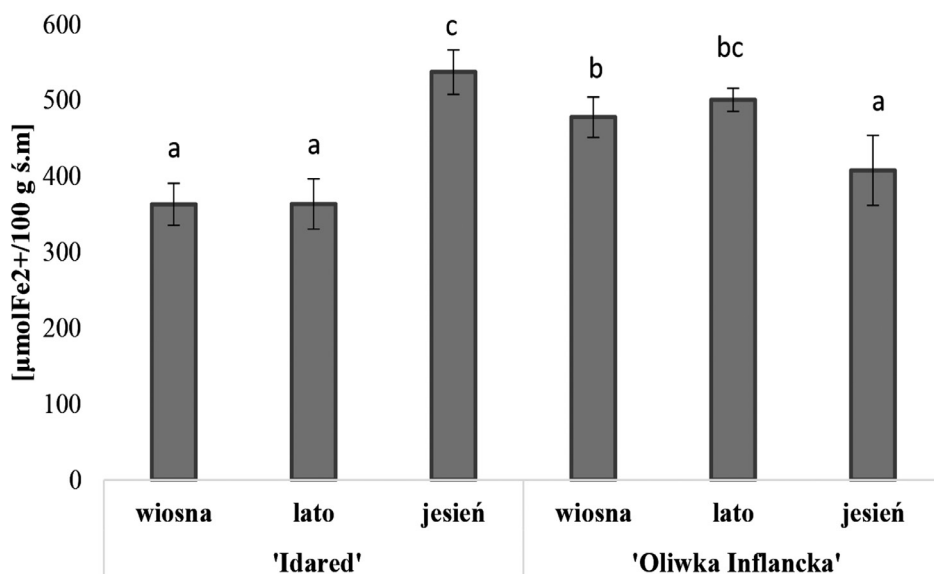


**Wykres 5.** Zawartość sumy antocyjanów w mg cyjanidyny w 100 g ś.m. w liściach jabłoni w zależności od pory roku oraz odmiany. Średnia  $\pm$  SD, te same litery nad słupkami oznaczają brak różnic istotnych statystycznie pomiędzy wartościami średnimi przy  $p < 0,05$ .

**Graph 5.** Content of total anthocyanins in mg cyanidins in 100 g f.m. in apple leaves depending on the season and variety. Mean  $\pm$  SD, the same letters above the bars mean no statistically significant differences between the mean values at  $p < 0.05$ .

Źródło: badania własne.

W liściach jabłoni zawartość sumy antocyjanów była nieznaczna i na podobnym poziomie niezależnie od czasu wegetacji jabłoni i jej odmiany, z wyjątkiem istotnie statystycznie większej zawartości omawianych związków w liściach pozyskanych jesienią z jabłoni odmiany 'Idared' (Wykres 5). Podobną tendencję dotyczącą zawartości antocyjanów można zaobserwować w przypadku pozostałych oznaczanych związków fenolowych (Wykresy 2–4). W liściach odmiany 'Ozark Gold' niezależnie od czasu pozyskania materiału badawczego (materiał zbierano od lipca do października) nie stwierdzono cyjanidyno-3-glukozydu [17]. Również Teleszko i Wojdyło [18] nie oznaczyli antocyjanów w liściach jabłoni odmiany 'Ozark Gold' i 'Szampion', co mogło być spowodowane odmiennymi metodami analizy tych związków. Natomiast Wojdyło i in. [20], badający liście jabłoni odmiany 'Szampion', 'Florina' i 'Empire', oznaczyli antocyjany na poziomie



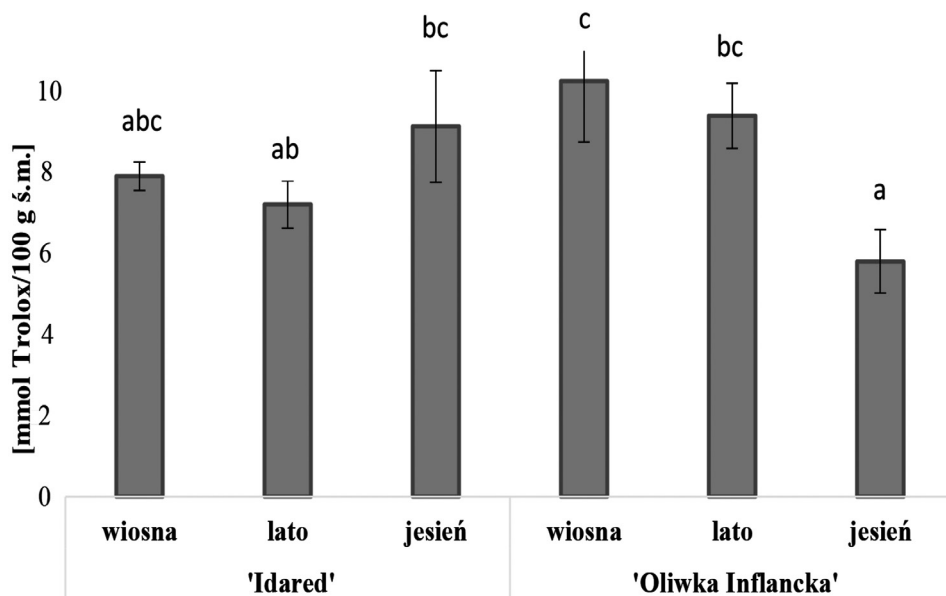
**Wykres 6.** Zdolność redukcji jonów żelaza (FRAP) w  $\mu\text{mol Fe}^{2+}$  w 100 g s.m. w liściach jabłoni w zależności od pory roku oraz odmiany. Średnia  $\pm$  SD, te same litery nad słupkami oznaczają brak różnic istotnych statystycznie pomiędzy wartościami średnimi przy  $p < 0,05$ .

**Graph 6.** FRAP in  $\mu\text{mol Fe}^{2+}$  in 100 g f.m. in apple leaves depending on the season and variety. Mean  $\pm$  SD, the same letters above the bars mean no statistically significant differences between the mean values at  $p < 0.05$ .

Źródło: badania własne.

Zdolność redukcji jonów żelaza (FRAP) liści jabłoni odmiany 'Idared' w pierwszych dwóch okresach wegetacji (wiosna, lato) była na podobnym poziomie, jesienią natomiast zaobserwowano istotny wzrost tego parametru – o około 33%. Odmienne zależności stwierdzono w odniesieniu do zdolności redukcji jonów żelaza w liściach odmiany 'Oliwka Inflancka' – wyższy poziom tego parametru odnotowano w liściach zebranych wiosną i latem, a następnie jesienią zaobserwowano istotny – o około 20% – spadek zdolności redukcji jonów żelaza w porównaniu do wcześniejszych okresów wegetacji jabłoni (Wykres 6). Wyniki te są zbieżne z wynikami uzyskanymi dla związków fenolowych w analizowanych liściach jabłoni (Wykresy 1–5). W badaniach Liaudanskas i in. [10] zdolność redukcji jonów żelaza (FRAP) w etanolowych ekstraktach z liści jabłoni czterech odmian zależna była od odmiany, podobnie jak w prezentowanych badaniach. Najmniejszą zdolność redukcji jonów żelaza oznaczono dla odmiany 'Auksis' – na poziomie 250  $\mu\text{mol}$  troloksu/g s.m., a największą dla odmiany 'Aldas' – ponad 350  $\mu\text{mol}$  troloksu/g s.m. [10]. Również Teleszko i Wojdyło [18] wykazali istotny wpływ odmiany jabłoni na zdolność redukcji jonów żelaza przez jej liście. Liście odmiany 'Szampion' cechowały się istotnie większą zdolnością

## Liście jabłoni jako źródło składników bioaktywnych



**Wykres 7.** Aktywność przeciwutleniająca względem kationorodnika ABTS w mmol troloksu w 100 g ś.m. w liściach jabłoni w zależności od pory roku oraz odmiany. Średnia  $\pm$  SD, te same litery nad słupkami oznaczają brak różnic istotnych statystycznie pomiędzy wartościami średnimi przy  $p < 0,05$ .

**Graph 7.** Antioxidant activity against cation radical ABTS in mmol Trolox in 100 g f.m. in apple leaves depending on the season and variety. Mean  $\pm$  SD, the same letters above the bars mean no statistically significant differences between the mean values at  $p < 0.05$ .

Źródło: badania własne.

Aktywność przeciwutleniająca względem rodnika ABTS liści jabłoni wykazała podobną tendencję do zdolności redukcji jonów żelaza (FRAP), z tym że były one istotne jedynie dla odmiany 'Oliwka Inflancka' (Wykres 7). W przypadku odmiany 'Oliwka Inflancka' zaobserwowano zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej o prawie 50% w liściach jesiennych w porównaniu do liści pozyskanych wiosną. Wojdyło i Oszmiański [17] oznaczyli aktywność przeciwutleniającą ekstraktów z liści jabłoni odmiany 'Ozark Gold' od 17,5 mmol troloksu/g s.m. w liściach pozyskanych w lipcu do 19,9 mmol troloksu/g s.m. w materiale pozyskanym w sierpniu. Z kolei Teleszko i Wojdyło [18] wykazali, że aktywność przeciwutleniająca liści jabłoni istotnie zależała od odmiany – większą aktywnością wygaszania wolnego rodnika ABTS charakteryzowały się liście odmiany 'Ozark Gold' (38,3 mmol Tx/100 g s.m.) w porównaniu z liśćmi jabłoni odmiany 'Szampion' (33,6 mmol Tx/100 g s.m.). Natomiast Liaudanskas i in. [10] w etanolowych ekstraktach z liści jabłoni odmian 'Aldas', 'Auksis', 'Ligol' i 'Lodel' oznaczyli zdolność redukcji katio-

norodniaka ABTS na poziomie 210 do 280  $\mu\text{mol}$  troloksu/g s.m.

### Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że jesienne liście jabłoni odmiany 'Idared' odznaczały się największą zawartością badanych związków oraz największą aktywnością przeciwutleniającą. Z kolei liście odmiany 'Oliwka Inflancka' zebrane wiosną i latem cechowały się dużą ilością oznaczanych związków i wysoką aktywnością przeciwutleniającą. Liście czy ekstrakty pozyskane z wymienionych odmian jabłoni ze względu na potencjalne właściwości prozdrowotne mogą znaleźć zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, w tym spożywczego, suplementów diety czy kosmetycznego.

### Literatura

- [1] Ivanova T., Popova V., Mazova N., Stoyanova A., i Damyanova S., Extracts from physalis leaves (*Physalis peruviana* L.) for prospective application in medicine and cosmetics, Ukrainian Food Journal, 2019, 8(1), s. 34–44.
- [2] Ziemlewska A., Zagórska-Dziok M., i Nizioł-Łukaszewska Z., Assessment of cytotoxicity and antioxidant properties of berry leaves as by-products with potential application in cosmetic and pharmaceutical products, Scientific Reports, 2021, 11(1), s. 3240.
- [3] Wojdyło A., Nowicka P., Turkiewicz I.P., Tkacz K., i Hernandez F., Comparison of bioactive compounds and health promoting properties of fruits and leaves of apple, pear and quince, Scientific Reports, 2021, 11(1), s. 20253.
- [4] Do Thi N., Hwang E.S., Anti-cancer and anti-inflammatory activities of aronia (*Aronia melanocarpa*) leaves, Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2018, 8(12), s. 586–592.
- [5] Skupień K., Kostrzewa-Nowak D., Oszmiański J., i Tarasiuk J., *In vitro* antileukaemic activity of extracts from chokeberry (*Aronia melanocarpa* [Michx] Elliott) and mulberry (*Morus alba* L.) leaves against sensitive and multidrug resistant HL60 cells, Phytotherapy Research, 2008, 22, s. 689–694.
- [6] Khademi F., Danesh B., Mohammad Nejad D., Ghorbani M., Soleimani Rad J., Effects of quince leaf extract on biochemical markers and coronary histopathological changes in rabbits, Arya Atherosclerosis, 2013, 9(4), s. 223–231.
- [7] Qadir M.I., Ali M., Ibrahim Z., Anti-cancer activity of *Morus nigra* leaves extract, Bangladesh Journal of Pharmacology, 2014, 9(4), s. 496–97.
- [8] Starzec A., Raj D., Fecka I., Właściwości prozdrowotne owoców jabłoni domowej w świetle najnowszych badań naukowych (*Malus x domestica* Borkh.), Farmacja Polska, 2020, 76(3), s. 137–148.
- [9] Sałyga S., Jakie odmiany jabłek dominują w polskich chłodniach?, 2023, sadyogrody.pl (dostęp 25.09.24).
- [10] Liaudanskas M., Viškėlis P., Raudonis R., Kviklys D., Uselis N., Janulis V., Phenolic composition and antioxidant activity of *Malus domestica* leaves, The Scientific World

- Journal, 2014, 1, s. 306217.
- [11] Sobhy R., Öz F., Lorenzo J.M., Bakry A.M., Mohamed A., Bioactive components and health promoting effect of berry by-products, In *Berry Bioactive Compound By-Products*, 2023, s. 73–95.
  - [12] Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventós R.M., Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent, [w:] *Methods in Enzymology*, 1999, 299, s. 152–178.
  - [13] Fukumoto L.R., Mazza G., Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(8), s. 3597–3604.
  - [14] Benzie I.F., Strain J.J., The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay, *Analytical Biochemistry*, 1996, 239(1), s. 70–76.
  - [15] Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., i Rice-Evans C., Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, *Free Radical Biology and Medicine*, 1999, 26(9–10), s. 1231–1237.
  - [16] Rana S., Kumar S., Rana A., Sharma V., Katoch P., Padwad Y., Bhushan S., Phenolic constituents from apple tree leaves and their *in vitro* biological activity, *Industrial Crops and Products*, 2016, 90, s. 118–125.
  - [17] Wojdyło A., Oszmiański J., Antioxidant activity modulated by polyphenol contents in apple and leaves during fruit development and ripening, *Antioxidants*, 2020, 9(7), s. 567.
  - [18] Teleszko M., Wojdyło A., Comparison of phenolic compounds and antioxidant potential between selected edible fruits and their leaves, *Journal of Functional Foods*, 2015, 14, s. 736–746.
  - [19] Efenberger-Szmechtyk M., Nowak A., I Czyżowska A., Aktywność przeciwbakteryjna ekstraktów polifenolowych pozyskanych z liści jabłoni, *Rola Procesów Technologicznych w Kształtowaniu Jakości Żywności*, 2016, 68.
  - [20] Wojdyło A., Nowicka P., Turkiewicz I.P., Tkacz K., Hernandez F., Comparison of bioactive compounds and health promoting properties of fruits and leaves of apple, pear and quince, *Scientific Reports*, 2021, 11(1), s. 20253.

## **Cenne właściwości czosnku pospolitego (*Allium sativum* L.)** **Valuable properties of common garlic (*Allium sativum* L.)**

Agnieszka Ginter<sup>1</sup>, Krystyna Zarzecka<sup>1</sup>, Iwona Mystkowska<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instytut Rolnictwa i Ogrodnictwa, Uniwersytet w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: agnieszka.ginter@uws.edu.pl

<sup>2</sup> Zakład Dietetyki, Akademia Bialska im. Jana Pawła II, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska

---

**Słowa kluczowe:** czosnek zwyczajny, allicyna, właściwości prozdrowotne, zdrowie człowieka  
**Keywords:** *Allium sativum* L., allicin, health-promoting qualities, human health

---

### **Streszczenie**

*Allium sativum* L. jest rośliną znaną od stuleci i bardzo cenioną ze względu na zawartość substancji czynnych, które mają działanie nie tylko lecznicze, ale i profilaktyczne. Związki siarkowe, tj. alliina, rozkładana do allicyny, zawarte w tym warzywie stanowią o jego cennych właściwościach prozdrowotnych. Czosnek zwyczajny ma działanie przeciwdrobnoustrojowe, przeciwwirusowe, przeciwgrzybicze, przeciwzapalne, przeciwnowotworowe oraz immunostymulujące. Z badań wynika, iż czosnek i zawarte w nim olejki eteryczne wpływają korzystnie na przemianę materii. Spożywanie czosnku jest nie tylko skuteczne w ograniczeniu chorób, ale i bezpieczne – ze względu na brak skutków ubocznych (w odróżnieniu od antybiotykoterapii). Celem publikacji było omówienie pochodzenia czosnku, przedstawienie jego uprawy oraz ukazanie cennych właściwości prozdrowotnych tej rośliny.

### **Summary**

*Allium sativum* L. is a plant that has been known for centuries and is highly valued for its content of active substances that have not only medicinal but also preventive effects. The sulphur compounds, i.e. alliin, which is broken down to allicin, contained in this vegetable constitute its valuable health-promoting properties. Garlic has antimicrobial, antiviral, antifungal, anti-inflammatory, anti-cancer and immunostimulating properties. Studies show that garlic and the essential oils it contains have a beneficial effect on the metabolism. Garlic consumption is not only effective in reducing disease, but also safe, due to its lack of side effects (especially compared to antibiotic therapy). The aim of this publication was to present and discuss the origin of garlic, its cultivation and to show its valuable health-promoting properties.

## Wstęp

Warzywa z rodzaju *Allium* są jednymi z najczęściej stosowanych i najważniejszych roślin uprawnych na całym świecie [1]. W obrębie rodzaju *Allium*, należącego do rodziny liliowatych, zidentyfikowano w Europie około 300 gatunków [2]. Do najczęściej używanych z tego rodzaju należą czosnek zwyczajny czy też pospolity (*Allium sativum* L.) i cebula zwyczajna (*Allium cepa* L.) [1, 3]. Nazwa łacińska *Allium sativum* pochodzi od celtyckiego słowa *all* ‘ostrzy, piekący’ oraz *sativum* ‘uprawny’, co może świadczyć o tym, iż ten pradawny lud nie tylko znał, ale także uprawiał to warzywo [4]. Czosnek (*Allium sativum* L.), pochodzący z Azji Zachodniej, jest jedną z najważniejszych roślin ze względu na liczne zastosowania kulinarne i lecznicze [5]. *Allium sativum* L. prawdopodobnie pochodzi od dzikiego gatunku *Allium longiscuspis* Rgl [6]. Roślina ta znana była już w starożytnych kulturach egipskich i indyjskich 5000 lat temu. Istnieją też jednoznaczne historyczne dowody na wykorzystywanie czosnku przez Babilończyków 4500 lat temu i przez Chińczyków 2000 lat temu [7]. W papirusie egipskim z około 1600 r. p.n.e. opisany został strajk robotników zatrudnionych przy budowie piramidy, którzy nie otrzymali czosnku jako dodatku do skąpego pożywienia [2]. W Polsce czosnek znany jest od średniowiecza, a pojawił się na przełomie XII i XIII w., szybko zyskując popularność.

*Allium sativum* używany jest tradycyjnie od wieków do wielu celów. Jest szeroko stosowany w rozmaitych potrawach na całym świecie ze względu na swój wyjątkowy aromat [8]. Czosnek, poza walorami odżywczymi i smakowymi, posiada właściwości lecznicze dzięki zawartości ponad 200 biologicznie aktywnych substancji. Na rynku dostępne są rozmaite przemysłowo przetworzone formy czosnku, które różnią się zawartością bioaktywnych związków, zwłaszcza siarkowych [9]. *Allium sativum* L. jest jednym z najwcześniej udokumentowanych przykładów roślin stosowanych w leczeniu chorób i utrzymaniu zdrowia. Terapeutyczne zastosowania czosnku zostały opisane już w starożytnych tekstach medycznych z Egiptu, Grecji, Rzymu, Chin i Indii. W wielu kulturach podawano czosnek robotnikom, aby zapewnić im siłę i zwiększyć zdolność do pracy [10]. Cebule czosnku wykorzystywane są również w przypadku przeziębień, problemów trawiennych, grzybicy czy schorzeń układu krążenia [11].

Artykuł stanowi przegląd dostępnej literatury dotyczącej pochodzenia, uprawy i właściwości czosnku pospolitego, szczególnej rośliny z pogranicza środków spożywczych i leczniczych, która jest wyjątkowo przyjazna zdrowiu człowieka.

## Uprawa czosnku zwyczajnego - wybrane elementy

Kraje Unii Europejskiej produkują rocznie około 400 tys. ton czosnku, podczas gdy na całym świecie jest to około 30 mln ton [12]. Największym producentem *Allium sativum* L. w Europie jest Hiszpania, z całkowitą produkcją wynoszącą po-

nad 273 tys. ton, która w światowej produkcji jest na trzecim miejscu, po Chinach i Argentynie. W Polsce w ostatnich latach powierzchnia uprawy czosnku ulegała wahanom. W latach 2020–2022 zaobserwowano wyraźną tendencję wzrostową (Tabela 1).

**Tabela 1.** Powierzchnia uprawy czosnku [ha] w Polsce w latach 2020–2023.

**Table 1.** Garlic area [ha] in Poland in the years 2020–2023.

| Wyszczególnienie  | Lata    |         |         |         |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|
|                   | 2020    | 2021    | 2022    | 2023    |
| Powierzchnia w ha | 1 240,5 | 1 978,9 | 2 008,4 | 1 932,1 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie [12].

W 2023 r. areał gruntów zajętych pod uprawę tej rośliny wyniósł 1932,1 ha i w porównaniu z 2022 r. był mniejszy o 76,25 ha (2 008,37 ha). Należy jednak zwrócić uwagę, że w zestawieniu roku 2023 z pierwszym analizowanym zanotowano znaczne zwiększenie powierzchni pod uprawę *Allium sativa* L. – o około 700 ha. Pozwala to stwierdzić, że popyt na czosnek wśród konsumentów w ostatnich latach uległ zwiększeniu i należy ocenić, iż jest to pożądany kierunek zmian.

W warunkach klimatycznych Polski można uprawiać czosnek jary (sadzony wiosną) i czosnek ozimy (sadzony jesienią). Przy prawidłowej uprawie czosnku ozimego można spodziewać się większego plonu niż w przypadku uprawy jarego [13]. Czosnek pospolity jest rośliną mierzącą od 20 do 100 cm wysokości. Jego przekształcona łodyga, która zwana jest piętka, wytwarza pokrywające się nawzajem mlecznobiałe cebulki potomne, czyli ząbki, będące swoistym magazynem substancji odżywczych. Wraz ze wzrostem rośliny cebulki zaczynają na siebie naciskać, przez co są kanciaste, z wypukłą zewnętrzną powierzchnią oraz wewnętrzną wklęsłą. Główna czosnku jest kulista i lekko spłaszczona.

Czosnek do właściwego rozwoju potrzebuje dużo słońca, ale radzi sobie dobrze również w półcieniu. Jest to roślina charakteryzująca się słabo rozwiniętym systemem korzeniowym, sięgającym do 20–30 cm w głąb gleby i rozrośniętym w promieniu około 10 cm. To sprawia, że ma duże wymagania glebowe i wodne, potrzebuje gleby wilgotnej, bogatej w próchnicę oraz składniki pokarmowe [14]. Czosnek wymaga gleby żyznej, średnio wilgotnej, o odczynie pH 6,0–7,5. Opisywana roślina warzywna nie wytwarza nasion – rozmnaża się wegetatywnie poprzez ząbki wyodrębnione z główki podziemnej lub cebulki powietrzne tworzone na kwiatostanie. Cebulki powietrzne rosną wolniej i zwykle potrzebują dwóch lat uprawy do wytworzenia główki o odpowiednio dużych rozmiarach. *Allium sativum* utracił zdolność do rozmnażania płciowego z powodu różnych nieprawidłowości rozwojowych, głównie w linii męskiej, związanych ze zjawiskiem zwanym męską sterility [15].

## Cenne właściwości czosnku pospolitego (*Allium sativum* L.)

W ochronie czosnku, podobnie jak innych roślin uprawnych, profesjonalni użytkownicy środków ochrony roślin są zobowiązani do stosowania integrowanego systemu ochrony roślin. Jego podstawą jest maksymalne wykorzystanie metod niechemicznych, które powinny być uzupełniane stosowaniem pestycydów, gdy oczekiwane straty ekonomiczne powodowane przez agrofagi będą większe niż koszt zabiegów [16].

Do Krajowego Rejestru (KR) odmian [17] wpisane są cztery odmiany czosnku pospolitego oraz jedna odmiana regionalna, którą ujęto w KR w kwietniu 2024 r. (Tabela 2).

**Tabela 2.** Odmiany czosnku pospolitego wpisane do Krajowego Rejestru (KR) wg COBORU.  
**Table 2.** Cultivars common garlic entered in the National Register (NR) according to COBORU.

| Nazwa odmiany czosnku pospolitego    | Data wpisu | Data wygaśnięcia |
|--------------------------------------|------------|------------------|
| Arkus                                | 24.01.1997 | 1.11.2030        |
| Harnaś                               | 19.01.2000 | 1.11.2030        |
| Hortus                               | 4.03.2019  | 31.12.2029       |
| Ornak                                | 9.01.2007  | 31.12.2027       |
| Silvia Prima<br>– odmiana regionalna | 9.04.2024  | 31.12.2034       |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych COBORU: *Lista odmian roślin warzywnych wpisanych do krajowego rejestru w Polsce 2024* [17].

W Polsce czosnek uprawia się głównie w trzech województwach: małopolskim (około 40% zbiorów), świętokrzyskim (około 35% zbiorów) oraz lubelskim (około 10% zbiorów) [18]. Warto dodać, że „czosnek latowicki” znajduje się na Liście Produktów Tradycyjnych (LPT) w kategorii: Warzywa i owoce w województwie mazowieckim [19]. Umieszczenie produktu na wspomnianej liście, uwzględniającej produkty wytwarzane w tradycyjny sposób, m.in. zwiększa zainteresowanie nimi konsumentów [20]. Uprawa czosnku w Latowiczu sięga czasów międzywojennych, a cebula czosnku tej odmiany ma wyjątkowo korzenny zapach i doskonale podkreśla smak potraw.

Należy zwrócić uwagę, że w Polsce od 2016 r. działa Stowarzyszenie Czosnek Galicyjski i jest to inicjatywa m.in. producentów czosnku, która powstała w celu wypromowania tej rośliny, a w szczególności zarejestrowania nazwy „czosnek galicyjski” jako Chronionego Oznaczenia Geograficznego (ChOG). Jest to szczególnego rodzaju określenie produktu lub surowca, które funkcjonuje na obszarze Unii Europejskiej (UE) [4]. Stanowi system ochrony produktów, który regulowany jest Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1143 z dnia

11 kwietnia 2024 r. w sprawie oznaczeń geograficznych w odniesieniu do wina, napojów spirytusowych i produktów rolnych oraz gwarantowanych tradycyjnych specjalności i określeń jakościowych stosowanych fakultatywnie w odniesieniu do produktów rolnych [21]. ChOG podkreśla związek między konkretnym regionem geograficznym a nazwą produktu, ze szczególnym wskazaniem na wysoką jakość produktu i jego renomę.

„Czosnek galicyjski” wyróżnia specyficzny skład substancji biologicznie aktywnych oraz charakterystyczne cechy morfologiczne roślin, m.in.:

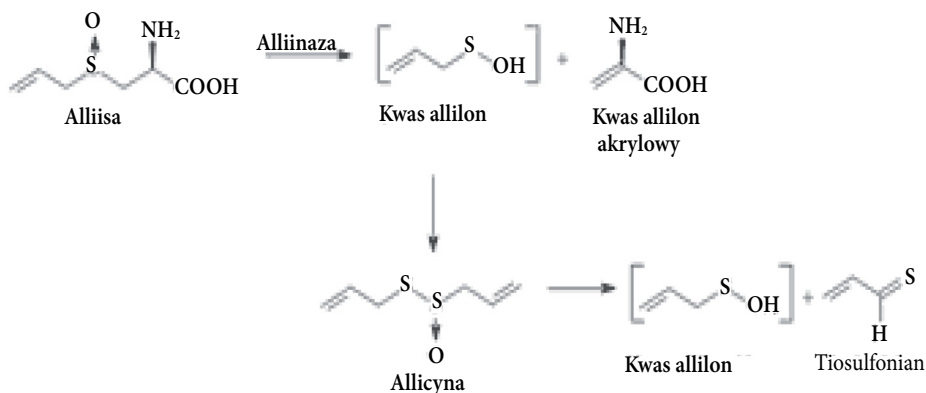
- średnia zawartość alliiny wyższa o 5% w porównaniu do czosnków tych samych odmian uprawianych w innych częściach kraju, stanowiąca nie mniej niż 1,65 g 100 g<sup>-1</sup> suchej masy,
- antocyjanowe wybarwienie łuski (dopuszczalne fioletowo-różowe lub fioletowe), obejmujące minimum 30% powierzchni łuski okrywającej ząbki,
- charakterystyczny kształt i średnica główki (główka kulista o średnicy nie mniejszej niż 50 mm),
- odpowiednia liczba ząbków w główce (6–9 sztuk),
- odporność na niskie temperatury (jest zimotrwały, dzięki czemu jest uprawiany z sadzenia jesiennego),
- pęd kwiatostanowy (strzałkowanie) ścinany ręcznie tuż po wykształceniu,
- specyficzny sposób zbioru i suszenia w suszarniach, tj. w wiatach lub stodolach i innych budynkach z niską wilgotnością i wymianą powietrza.

Nazwa „czosnek galicyjski” odnosi się do świeżych główek czosnku pospolitego (*Allium sativum* L.), przy czym pod tą nazwą wprowadzane są do obrotu rynkowego odmiany Harnaś i Arkus.

## Czosnek jako pożywienie i lek

Czosnek od najdawniejszych czasów był używany w medycynie ludowej do leczenia chorób zakaźnych. Arabowie wykorzystywali go do leczenia ran i owrzodzeń [22]. Był i jest obecny w diecie człowieka od tysięcy lat [23]. Wykorzystywano go również jako aromatyczną przyprawę do potraw oraz jako środek przeciwdrobnoustrojowy. W średniowieczu *Allium sativum* L. stanowił podstawę leczenia przeciwepidemicznego, a w okresie „zarazy” był spożywany lub używany do nacierania ciała i noszony nawet jako amulet. Słowianie zawieszali go nad wejściem do chat. Na terenie południowej Europy czosnek był uważany za panaceum na liczne choroby [22]. Rośliny reprezentujące rodzaj *Allium* były szeroko stosowane ze względu na ich właściwości lecznicze determinowane obecnością licznych związków siarki, przy czym szczególnie popularne są odmiany *Allium sativum*, uprawiane od setek lat we wszystkich

szerokościach geograficznych [24, 25]. Ze względu wagę przykładaną w ostatnich czasach do prawidłowego odżywiania należy pamiętać o bioaktywnych związkach roślin, które wykazują pozytywny wpływ na zdrowie człowieka, a szczególną uwagę powinno się zwracać na cebulę czosnku. Za specyficzny smak i właściwości zdrowotne czosnku odpowiadają związki siarkowe, takie jak alliina i g-glutamylcysteina oraz ich pochodne. Podczas mechanicznego uszkodzenia główki czosnku (krojenie, miążdżenie), dochodzi do uwolnienia enzymu – alliinazy przekształcającej alliinę w aktywną allicynę (Rysunek 1), która jest niezwykle cennym związkiem o lotnym charakterze, wykazującym działanie przeciwdrobnoustrojowe i przeciwzakrzepowe [26, 27].



**Rysunek 1.** Uwalnianie allicyny – siarkoorganicznego związku chemicznego wykazującego działanie antybiotyczne.

**Figure 1.** Release of allicin, a sulphurous chemical compound that exhibits antibiotic activity.

Źródło: [28].

Pod wpływem rozdrabniania cebuli czosnku zostaje aktywowany enzym o nazwie allinaza, który przekształca alliinę w cenną allicynę (Rysunek 1). Allinaza jest głównym tiosulfonianem występującym w czosnku i posiada silne aktywne właściwości biologiczne. Jej wszechstronne działanie wynika z reaktywnego charakteru i zdolności do współdziałania z różnorodnymi celami molekularnymi [29]. Cel molekularny to makrocząsteczka w żywym organizmie, która w opisywanym przypadku oddziałuje z allicyną czosnku, a wynikiem tej interakcji jest pożądaný efekt terapeutyczny. Tiosulfiny są dobrze poznanymi związkami występującymi w roślinach z rodzaju *Allium*. Powstają w wyniku uszkodzenia tkanek roślin i decydują o ich charakterystycznym smaku i zapachu [30]. Stwierdzono, że allicyna w czystej postaci wykazuje aktywność przeciwbakteryjną wobec szerokiego zakresu bakterii Gram-ujemnych i Gram-dodatnich [31]. Allicyna jest kluczowym biologicznie aktywnym składnikiem czosnku zwiększającym jego aktywność antyoksydacyjną, która odpowiada za szerokie spektrum działania antybakteryjnego i przeciwgrzy-

biczego [32–34]. Skuteczność działania czosnku w ograniczeniu rozwoju bakterii i grzybów dowiodły badania naukowe [35]. Allicyna działa na bakterie *Streptococcus pyogenes* – znane jako paciorkowce, najczęściej powodujące stany zapalne górnych dróg oddechowych niewirusowego pochodzenia (angina). W badaniu *in vitro* przeprowadzonym przez nigeryjskich naukowców wykazano, że choć czosnek nie jest tak silny, jak np. erytromycyna, można uznać go za „potężny antybiotyk”.

Czosnek jest także składnikiem naturalnych leczniczych mieszanek odpowiedzialnych za zmniejszenie krzepnięcia krwi [36], dlatego też należy unikać spożywania go przynajmniej na 10 dni przed zabiegami i operacjami, a także w czasie przyjmowania leków rozrzedzających krew [37]. Zawiera on przeciwutleniacze, które wspierają mechanizm obronny organizmu przed uszkodzeniami oksydacyjnymi. O fizjologicznym działaniu czosnku decydują związki zawierające siarkę, ale i inne cenne składniki odżywcze [38, 39], takie jak:

- składniki mineralne: potas, fosfor, selen, żelazo, cynk, siarka i magnez,
- witaminy z grupy B (B1, B2, B3), witaminy A, C i  $\beta$ -karoten,
- błonnik pokarmowy,
- flawonoidy,
- fitosterole,
- polifenole (głównie flawonoidy),
- enzymy (allinaza i peroksydaza),
- kwasy organiczne.

Czosnek ma silne właściwości antywirusowe; w badaniach *in vitro* stwierdzono, że wykazuje on pewną aktywność m.in. przeciwko wirusowi grypy A i B, rinowirusom czy rotawirusom [37, 40]. Czosnek jest produktem bardzo bogatym w aktywne biologicznie substancje chemiczne, a ich mnogość powoduje różnorodne działania farmakologiczne i determinuje wielostronne zastosowania terapeutyczne [41]. Jest on jednym z najbardziej wszechstronnie działających surowców roślinnych, działa silnie przeciwmiażdżycowo oraz ogólnie wzmacniająco [42]. Jego wartość energetyczna w 100 g świeżej masy wynosi 469 kJ (112 kcal).

Poza czosnkiem pospolitym znany jest także czosnek niedźwiedzi (*Allium ursinum* L.). Swoją nazwę zawdzięcza on temu, że zjadają go niedźwiedzie zaraz po przebudzeniu ze snu zimowego, a zawarte w nim wartościowe substancje oczyszczają organizm tych zwierząt i pomagają im wrócić do aktywności po miesiącach letargu [43]. Cała roślina jest jadalna i ma właściwości zdrowotne podobne do czosnku pospolitego [37, 44]. Według badań ta odmiana czosnku posiada bogatszy niż inne odmiany skład chemiczny, m.in. większą liczbę kwasów fenolowych oraz wyższe stężenie związków siarki. Substancje te rozrzedzają wydzielinę zalegającą w oskrzelach podczas przeziębienia, grypy czy przy innych infekcjach układu

oddechowego [37]. Czosnek niedźwiedzi jest również składnikiem wielu potraw i cenionym surowcem zielarskim. Trzeba jednak zaznaczyć, że roślina ta jest prawnie chroniona w naszym kraju – zabronione jest zrywanie czosnku niedźwiedziego w lasach. Pozyskiwany jest on głównie z plantacji, chociaż jest też chętnie uprawiany w domowych ogródkach, gdzie ze względu na piękne, białe kwiaty pełni również funkcję ozdobną [45].

## Podsumowanie

Czosnek to warzywo, którym jedni się zachwycają, a którego inni nie mogą spożywać ze względu na ostry smak i zapach. Zawiera on substancje o działaniu leczniczym, o czym warto pamiętać, komponując dietę. W celu zwiększenia naturalnej odporności organizmu zaleca się spożywanie jednego, a najlepiej do dwóch ząbków czosnku dziennie. Mając na uwadze nadzwyczajne właściwości prozdrowotne tej niepozornej rośliny, bądźmy jak Grecy czy Rzymianie, którzy już tysiące lat temu nie wyobrażali sobie kuchni pozbawionej tej znakomitej przyprawy. *Allium sativum* L. ze względu na swe wyjątkowe walory lecznicze powinien stać się jedną z bardziej pożądanych roślin w naszych przydomowych ogrodach.

## Literatura

- [1] Zawawi S.N., Osman A.M., Wahab I.A., Mohsin, H.F., Comparative phytochemical profiling of garlics (*Allium sativum* L.) and onion (*Allium cepa* L.), *Journal of Pharmaceutical Research International*, 2021, 33(44B), s. 7–17.
- [2] Lutomski J., Fascynacja czosnkiem – wczoraj i dziś, *Postępy Fitoterapii*, 2001, 1, s. 7–14.
- [3] Mnayer D., Anne-Sylvie Fabiano Tixier A.S.F., Petitcolas E., Hamieh T., Nehme N., Ferrant C., Fernandez X., Chemat F., Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of six essential oils from the Alliaceae family, *Molecules*, 2014, 19(12), s. 20034–20053.
- [4] Ogłoszenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 5 października 2016 r. w sprawie wniosku o rejestrację nazwy „czosnek galicyjski” jako chronione oznaczenie geograficzne: [https://www.jurajskakraina.pl/jk2017/images/Files/ogloszenie\\_czosnek\\_galicyjski.pdf](https://www.jurajskakraina.pl/jk2017/images/Files/ogloszenie_czosnek_galicyjski.pdf) (dostęp 21.11.2024).
- [5] FAOSTAT. Crops and Livestock Products, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (dostęp 18.11.2024).
- [6] Voss R.E., Garlic, <http://sfp.ucdavis.edu/pubs/SFNews/archive/95071.htm> (dostęp 12.09.2024).
- [7] Olas-Sochacka M., Czosnek pospolity (*Allium sativum* L.), wyd. Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice 2016, s. 1–4.

- [8] Rahat A., Anjum Z., Zehra S., Baneen F.U., Chishti R., Antibacterial, insecticidal, antifungal and phytochemical screening of *Allium sativum*, *Nigella sativa* and *Plantago ovata*, Sarhad Journal of Agriculture, 2023, 39(2), s. 531–544.
- [9] Świdorski F., Dąbrowska M., Rusaczonok A., Waszkiewicz-Robak B., Bioactive substances of garlic and their role in dietoprophyllaxis and dietotherapy, Roczniki Państwowego Zakładu Higieny, 2007, 58(1), s. 41–46.
- [10] Radkowska I., Wójcik P., Karpowicz A., Właściwości czosnku (*Allium sativum*) oraz możliwość jego wykorzystania w chowie zwierząt, Roczniki Naukowe Zootechniki, 2021, 48(2), s. 179–191.
- [11] Ciuba M., Dziadek K., Kukielka E., Oczkowicz J., Piątkowska E., Leszczyńska T., Kopec A., Porównanie składu chemicznego i zawartości składników bioaktywnych w wybranych odmianach czosnku, Żywność – Nauka – Technologia – Jakość, 2016, 5(108), s. 107–115.
- [12] Powierzchnia uprawy czosnku w Polsce. Jak zmieniała się na przestrzeni lat?, <https://www.warzywa.pl/warzywa-polowe/powierzchnia-uprawy-czosnku-w-polsce-jak-zmieniała-sie-na-przestrzeni-lat/> (dostęp 18.11.24).
- [13] Miłek M., Pora na sadzenie czosnku, file:///C:/Users/user/Downloads/Pora%20na%20sadzenie%20czosnku%20-%20Ma%C5%82gorzata%20Mi%C5%82ek%20(1).pdf (dostęp 21.11.2024)
- [14] Robak J., Agrotechnika w integrowanej produkcji czosnku, [w:] Metodyka integrowanej produkcji czosnku, (red.) J. Robak, wyd. Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa Główny Inspektorat, Warszawa 2020.
- [15] Tchórzewska D., Luchowski R., Gruszecki W.I., Winiarczyk K., Comparative studies of live tapetum cells in sterile garlic (*Allium sativum*) and fertile leek (*Allium ampeloprasum*) using the fluorescence lifetime imaging analytical method, South African Journal of Botany, 2018, 117, s. 222–231.
- [16] Program ochrony czosnku, (red.) J. Golian, wyd. Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice 2024, s. 1–29.
- [17] Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych. Lista odmian roślin warzywnych wpisanych do krajowego rejestru w Polsce, wyd. COBORU. Słupia Wielka 2024, s. 1–84.
- [18] Zaremba Ł., Uprawa czosnku – opłacalna czy nie?, <https://www.agrofakt.pl/uprawa-czosnku-mozliwa-i-oplacalna-czy-nie/> (dostęp 19.11.2024).
- [19] Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/czosnek-latowicki> (dostęp: 20.11.2024).
- [20] Gasiorek P., Rejestracja produktów na Listę Produktów Tradycyjnych – porady praktyczne, wyd. PODR, Szepietowo 2020, s. 1–12.
- [21] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1143 z dnia 11 kwietnia 2024 r. w sprawie oznaczeń geograficznych w odniesieniu do wina, napojów spirytusowych i produktów rolnych oraz gwarantowanych tradycyjnych specjalności i określeń jakościowych stosowanych fakultatywnie w odniesieniu do produktów rolnych, zmieniające rozporządzenia (UE) nr 1308/2013, (UE) 2019/787 i (UE) 2019/1753 oraz uchylające rozporządzenie (UE) nr 1151/2012.

## Cenne właściwości czosnku pospolitego (*Allium sativum* L.)

- [22] Kędzia A., Przeciwdrobnoustrojowe działanie czosnku (*Allium sativum* L.), Postępy Fitoterapii, 2010, 1, s. 46–52.
- [23] Najda A., Błaszczyk L., Winiarczyk K., Dyduch J., Tchórzewska D., Comparative studies of nutritional and health-enhancing properties in the “garlic-like” plant *Allium ampeloprasum* var. *ampeloprasum* (GHG-L) and *A. sativum*, Scientia Horticulturae, 2016, 201, s. 247–255.
- [24] Block E., Garlic and other alliums: the lore and the science, wyd. Royal Society of Chemistry, Cambridge 2010, s. 454.
- [25] Tchórzewska D., Bocianowski J., Najda A., Dąbrowska A., Winiarczyk K., Effect of environment fluctuations on biomass and allicin level in *Allium sativum* (cv. Harnas, Arkus) and *Allium ampeloprasum* var. *ampeloprasum* (GHG-L), Journal of Applied Botany and Food Quality, 2017, 90, s. 106–116.
- [26] Lis I., Bogdański P., Nowak G., Zastosowanie czosnku w profilaktyce chorób układu sercowo-naczyniowego, Forum Zaburzeń Metabolicznych, 2013, 4(4), s. 210–215.
- [27] Lanzotti V., The analysis of onion and Garlic, Journal of Chromatography A, 2006, 1112(1–2), s. 3–22.
- [28] Marciniec K., Włodarczyk-Marciniec B., Przeciwnowotworowe własności czosnku, Postępy Fitoterapii, 2018, 2, s. 90–95.
- [29] Allicyna – właściwości, działanie, przeciwskazania, [https://formeds.pl/pages/allicyny?srsId=AfmBOoqM8OWV0wPNWu\\_oJBtP2tpVmD2I69xiD\\_JpIBYwCWZU\\_hTb-MV\\_K](https://formeds.pl/pages/allicyny?srsId=AfmBOoqM8OWV0wPNWu_oJBtP2tpVmD2I69xiD_JpIBYwCWZU_hTb-MV_K) (dostęp 18.11.2024).
- [30] Aleksandrowicz-Trzcńska M., Hallmann E., Cebula (*Allium cepa* L.) jako biologiczny środek ochrony roślin w szkółkach leśnych, Sylwan, 2013, 157(7), s. 495–505.
- [31] Ankri S., Mirelman D., Antimicrobial properties of allicin from garlic, Microbes and Infection, 1999, 1(2), s. 125–129.
- [32] Bakri I.M., Douglas C.W., Inhibitory effect of garlic extract on oral bacteria, Archives of Oral Biology, 2005, 50(7), s. 645–651.
- [33] Bhatwalkar S.B., Mondal R., Krishna S.B.N., Adam J.K., Govender P., Anupam R., Antibacterial properties of organosulfur compounds of garlic (*Allium sativum*), Frontiers in Microbiology, 2021, 12, s. 613077.
- [34] Adetumbi M., Lau B., *Allium sativum* (garlic) – a natural antibiotic, Medical Hypotheses, 1983, 3, s. 227–237.
- [35] Rutkowska A., Czy czosnek rzeczywiście wyleczy przeziębienie? Poznaj niekwestionowane zalety czosnku w walce z chorobą!, [https://www.doz.pl/czytelnia/a14349-Czy\\_czosnek\\_rzeczywiscie\\_wyleczy\\_przeziebienie\\_Poznaj\\_niekwestionowane\\_zalety\\_czosnku\\_w\\_walce\\_z\\_choroba](https://www.doz.pl/czytelnia/a14349-Czy_czosnek_rzeczywiscie_wyleczy_przeziebienie_Poznaj_niekwestionowane_zalety_czosnku_w_walce_z_choroba) (dostęp 22.11.2024).
- [36] Jones M.G., Collin H.A., Tregova A., Treuman L., Brown L., Cosstick R., Hughes J., Milne J., Wilkinson M.C., Tomsett A.B., Thomas B., The biochemical and physiological genesis of alliin in Garlic, Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology, 2007, 1(1), s. 21–24.
- [37] Lepak W., Czosnek – naturalny antybiotyk, [https://podr.pl/rozwoj\\_obszarow\\_wiej/czosnek-naturalny-antybiotyk/](https://podr.pl/rozwoj_obszarow_wiej/czosnek-naturalny-antybiotyk/) (dostęp 21.11.2024).

- [38] Kovarovič J., Bystrická J., Vollmannová A., Tomáš T., Brindza J., Biologically valuable substances in garlic (*Allium sativum* L.) – a review, *Journal of Cental European Agriculture*, 2019, 20(1), s. 292–304.
- [39] AuraHerbals. Czosnek – właściwości lecznicze i zastosowanie, <https://auraherbals.pl/leksykon/czosnek/?srsltid=AfmBOopKZO2aq6fTRVcq5dIpjIrWDZorPC6OUq0U64nuyRP5FE4AAGJC> (dostęp: 21.11.2024).
- [40] Singh V.K, Singh D.K., Pharmacological effects of garlic (*Allium sativum* L.), *Annal Review of Biomedical Sciences*, 2008, 10, s. 6–26.
- [41] Kwiecień M., Winiarska-Mieczan A., Czosnek jako zioło kształtujące właściwości prozdrowotne, *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 2011, 92(4), s. 810–812.
- [42] Rekowska E., Nurzyńska-Wierdak R., Czosnek, [w:] *Polowa uprawa warzyw*, (red.) M. Orłowski, wyd. Brasika. Szczecin 2000.
- [43] Czosnek niedźwiedzi na siłę niedźwiedzia, <https://www.straganzdrowia.pl/blog/ziola/czosnek-niedzwiedzi-na-sile-niedzwiedzia> (dostęp 22.11.2024).
- [44] Sut A., Czosnek niedźwiedzi – właściwości i zastosowanie, uprawa *Allium ursinum* L., <https://www.aptekaolmed.pl/blog/artykul/czosnek-niedzwiedzi-wlasciwosci-i-zastosowanie-uprawa-allium-ursinum,515.html> (dostęp 22.11.2024).
- [45] Sieradz J., Czosnek niedźwiedzi – właściwości i zastosowanie, [https://naturalniezdrowe.pl/blog/179\\_czosnek-niedzwiedzi-wlasciwosci-i-zastosowani](https://naturalniezdrowe.pl/blog/179_czosnek-niedzwiedzi-wlasciwosci-i-zastosowani) (dostęp 22.11.2024).

# „Pszeniczna rewolucja” a zdrowotne aspekty konsumpcji

## „Wheat revolution” and the health aspects of consuming

Ewa Plażuk<sup>1</sup>, Iwona Mystkowska<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centrum Badań nad Innowacjami, Akademia Białska im. Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, ul. Sidorska 107, 21-500 Biała Podlaska

<sup>2</sup> Wydział Nauk o Zdrowiu, Zakład Dietetyki, Akademia Białska im. Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska

---

**Słowa kluczowe:** pszenica, gluten, celiakia

**Keywords:** wheat, gluten, celiac disease

---

### Streszczenie

Pszenica jest jedną z najczęściej uprawianych roślin na świecie i stanowi główne i odnawialne źródło żywności, paszy i surowców przemysłowych. Na przestrzeni wieków na skutek udomowienia prastarych zbóż oraz stosowanych zabiegów inżynierii genetycznej, mających na celu podniesienie plenności i odporności roślin na niesprzyjające warunki uprawy, został zmieniony zarówno fenotyp, jak i genotyp większości roślin uprawnych. Obecnie uprawa pszenicy prowadzona jest na dużą skalę, bo wielkość uprawy w latach 2022/2023 wyniosła około 800 mln ton, z czego około 95% produkowanej pszenicy to *Triticum aestivum* – gatunek zwykle nazywany zwyczajną „chlebową” lub „miękką” pszenicą. Mimo że współcześnie na polach dominuje około 25 tys. odmian pszenicy, obserwuje się powrót do rolnictwa ekologicznego opartego na prastarych gatunkach, takich jak: płaskurka, samopsza czy orkisz. Wydają się one korzystnie wpływać na poprawę składu odżywczego i jakość spożywanych przez konsumentów produktów z pszenicy. Pszenica zawiera, obok białka, tłuszcz, węglowodany i błonnik pokarmowy w postaci skrobi odpornej oraz witaminy, związki mineralne i fitochemikalia, takie jak polifenole. Sama skrobia pszenna jest uważana za składnik ważny w komercyjnej w uprawie tego zboża, zaś podstawowy pod względem wartości i przydatności w produkcji spożywczej jest gluten pszenny.

Celem pracy jest zebranie literatury naukowej odpowiadającej na często zadawane pytanie: czy musimy ze względów zdrowotnych ograniczyć lub całkowicie wyeliminować produkty zbożowe, czy też wystarczy powrócić do starych zbóż, znanych od kilku tysięcy lat, i rolnictwa ekologicznego?

### Summary

Wheat is one of the most widely grown crops in the world and is a major and renewable source of food, feed and industrial raw materials. Over the centuries, as a result of the domestication of ancient grain varieties and the genetic engineering procedures used to improve the crop's

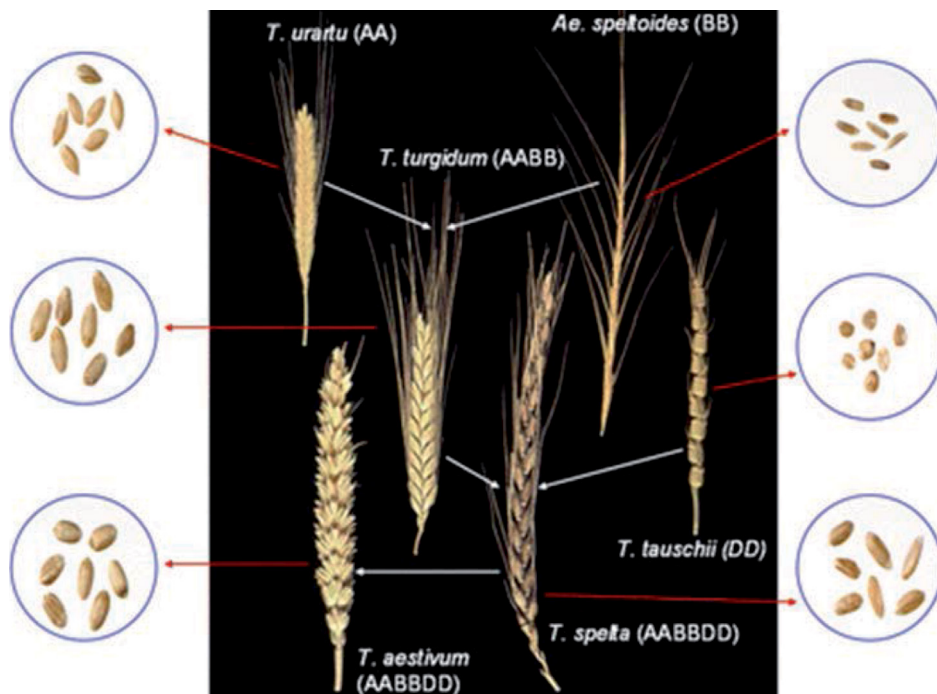
fertility and resistance to unfavorable growing conditions, both the phenotype and genotype of most crops have been altered. Today, wheat cultivation is at a very high level on a large scale, as the volume of the crop in 2022/2023 was about 800 million tons, of which about 95% of the wheat produced is *Triticum aestivum* – the species usually referred to as ordinary “bread” or “soft” wheat. Although some 25,000 varieties of wheat dominate the fields today, there is a return to organic farming based on ancient varieties such as flatbread, semolina and spelt. They seem to be beneficial for improving the nutritional composition and quality of wheat plant products consumed by consumers. In addition to protein, wheat contains fat, carbohydrates and dietary fiber in the form of resistant starch, as well as vitamins, minerals and phytochemicals such as polyphenols. Wheat starch itself is considered an important ingredient in the commercial cultivation of this grain, while the primary one in terms of value and usefulness in food production is wheat gluten.

The purpose of this paper is to collect scientific literature answering the frequently asked question for health reasons: do we need to reduce or completely eliminate grain products, or do we go back to the old varieties of cereals, known for several thousand years and organic farming?

## Historia pszenicy

Uprawy pszenicy datuje się od około 10 000 lat p.n.e., gdy w ramach tzw. rewolucji neolitycznej ludzie przeszli od myślistwa i zbieractwa żywności i koczowniczego trybu życia do osiedlenia się i rolnictwa [1]. Uważa się, że pszenica pierwotnie była uprawiana na tzw. Żywnym Półksiężycu, czyli obszarze na Bliskim Wschodzie rozciągającym się od Jordanii, Palestyny i Libanu po Syrię, Turcję, Irak i Iran [2]. Najwcześniejszymi formami uprawnymi były: *einkorn* – samopsza i *emmer* – płaskurka, która pochodzi ze spontanicznej hybrydyzacji przodka samopszy z pokrewnym gatunkiem dzikiej trawy, tak więc oba gatunki powstały w wyniku udomowienia naturalnych populacji, a spokrewniona z nimi dzika pszenica nadal występuje na Bliskim Wschodzie (Rysunki 1 i 2) [3–5].

Obecnie pszenica jest jedną z najważniejszych roślin zbożowych na świecie. Udomowienie pierwotnych: samopszy, płaskurki i orkiszu było podstawą pojawienia się pszenicy zwyczajnej, tzw. chlebowej, oraz twardej, tzw. durum. Pierwsza stanowi 95% upraw pszenicy i jest używana głównie do produkcji chleba i wyrobów cukierniczych, podczas gdy drugą stosuje się głównie do produkcji makaronu. Powstały one jako dwa rodzaje pszenicy allopoliploidalnej (z chromosomami pochodzącymi z różnych gatunków): heksaploidalna pszenica zwyczajna (*Triticum aestivum* ssp. *aestivum*) i tetraploidalna pszenica durum (*Triticum turgidum* ssp. *durum*). Współczesna pszenica durum pochodzi od tego samego dzikiego przodka co płaskurka. W przeciwieństwie do samopszy i płaskurki, pszenica chlebowa istniała tylko w uprawie, ponieważ powstała około 9000 lat temu w wyniku hybrydyzacji uprawianej płaskurki z dziką „kozią trawą” (*Triticum tauschii*) (Rysunki 1 i 2) [6, 7].



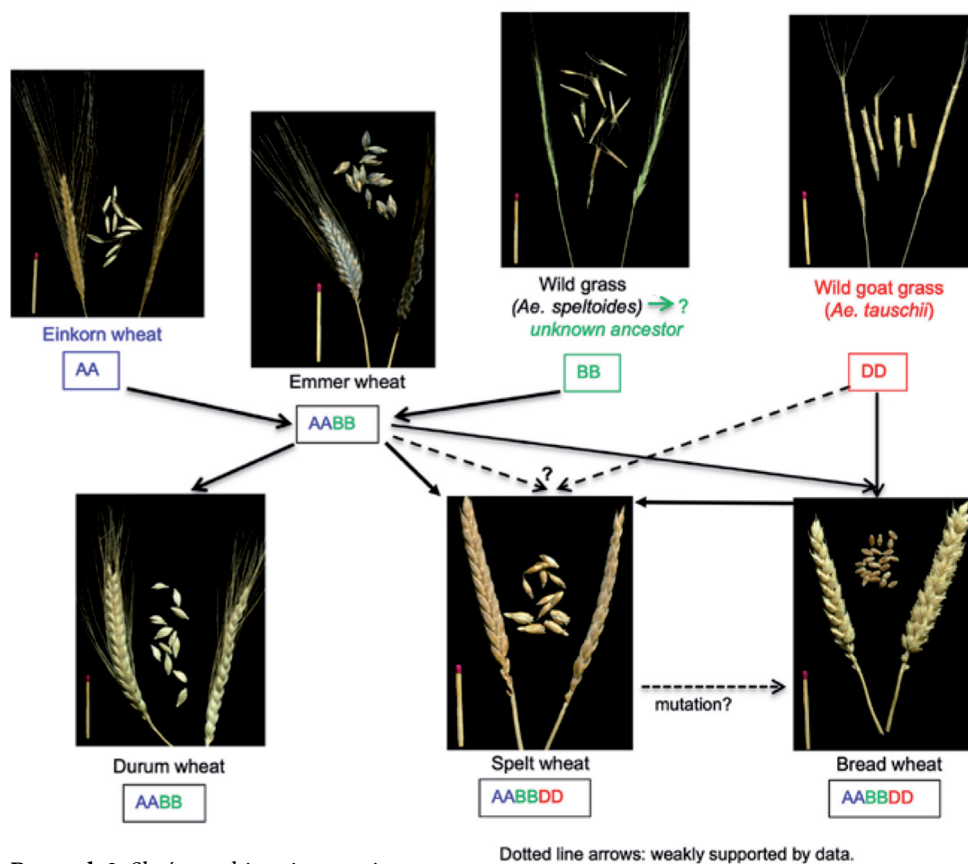
**Rysunek 1.** Kłosa i ziarna ukazujące ewolucyjne i genomiczne powiązania między uprawianą pszenicą chlebową i durum a pokrewnymi dzikimi trawami diploidalnymi.

**Figure 1.** Spikes and grains showing evolutionary and genomic relationships between cultivated bread wheat and durum and related diploid wild grasses.

Źródło: [6].

Source: [6].

Naturalne krzyżowanie wczesnych diploidalnych przodków pszenicy (z genomami AA i BB) doprowadziło do rozwoju tetraploidalnej pszenicy płaskurki (genomy AABB), która następnie została udomowiona i zróżnicowana w pszenicę durum (Rysunek 2). Uprawiana pszenica chlebowa (genomy AABBDD) powstała około 10 000 lat p.n.e., prawdopodobnie w wyniku skrzyżowania tetraploidalnej (AABB) pszenicy płaskurki z diploidalną dziką trawą kozią (DD). Ostatnie badania genetyczne wskazują, że pszenica orkisz powstała prawdopodobnie w wyniku skrzyżowania pszenicy chlebowej (AABBDD) z pszenicą płaskurką (AABB). Ogólnie rzecz biorąc, istnieje ponad tuzin podgatunków pszenicy, a w ramach każdego z nich dostępne są tysiące różnych odmian w uprawie i/lub bankach genów. Co więcej, w ramach każdego podgatunku odmiany te różnią się znacznie pod względem wieku (w tym ras lądowych oraz starych i nowoczesnych odmian), właściwości agronomicznych oraz składu ziarna i jakości żywności, jaką można z nich wytworzyć. Tak więc istnieje wiele „starszych” i „nowszych” odmian pszenicy chlebowej, orkisz, durum i płaskurki (Rysunek 2) [7].



**Rysunek 2.** Skrócona historia pszenicy.

Figure 2. A brief history of wheat.

Źródło: [7].

Source:[7].

Zachodzące na przestrzeni wieków zjawisko udomowienia opisuje się jako: „proces, w którym ludzie przejmują kontrolowanie reprodukcji roślin lub zwierząt i modyfikowanie ich dla własnych celów”. W uprawach pszenicy i innych zbóż pierwszą i najbardziej znaczącą modyfikacją było uzyskanie niełamliwej osadki, co ograniczyło naturalne mechanizmy rozsiewania nasion i umożliwiło rolnikom znacznie większe zbiory, dzięki wyeliminowaniu przedwczesnego opadania kłosków na ziemię. Inne modyfikacje obejmowały: zwiększenie rozmiaru nasion, przekształcanie pszenicy w taką, którą można łatwo młócić (swobodny omłot), zmiany w teksturze i polepszenie jakości składników ziarna [8, 9]. Kluczowe dla ułatwienia przetwórstwa zbóż są: utrata łuski oraz przekształcanie pszenicy w taką, którą można łatwo młócić. Wczesne udomowione formy: samopsza, płaskurka i orkisz są oplewione, podczas gdy nowoczesne formy pszenicy durum i zwyczajnej są to tzw. naked-grains, czyli nieoplewione [10].

## Rewolucja w rozwoju pszenicy

Pszenica zwyczajna i orkisz łatwo się krzyżują, co zaowocowało wieloma nowoczesnymi rodzajami orkiszu zawierającymi materiał genetyczny z pszenicy chlebowej, który został włączony w celu poprawy ich wydajności. Pszenica chlebowa i orkisz są uważane za formy tego samego gatunku (*Triticum aestivum*). Chociaż pszenica chlebowa i pszenica durum łącznie stanowią zdecydowaną większość światowej produkcji pszenicy, samopsza, płaskurka i orkisz (tzw. gatunki starożytnie) są nadal uprawiane, tyle że w niewielkich ilościach, głównie na potrzeby tradycyjnej żywności ekologicznej [11, 12].

Ze względu na tempo przyrostu liczby ludności na świecie popyt na pszenicę do 2030 r. ma wzrosnąć o 40% [13]. Dwa kluczowe zdarzenia na skalę światową zdecydowały o ogromnych zmianach w produkcji żywności pochodzenia zbożowego. Pierwszym było w IX w. wprowadzenie stalowych walców do mielenia mąki, co zwiększyło wydajność produkcji białej mąki. Drugim – w XX w. ulepszenia genetyczne odmian pszenicy, które podniosły jej plenność [14, 15].

Oprócz tzw. syndromów udomowienia pszenicy, zadbano o inne pożądane cechy tej rośliny, które umożliwiły podniesienie produktywności upraw, tak by zbioru tego zboża były większe, a zatem jego uprawa – bardziej opłacalna. Mowa tu o zmianach w architekturze roślin, takich jak: wzrost wielkości kłosów i ziaren oraz obniżenie stężenia białka i związków mineralnych w ziarnie [16]. Z czasem ciągle rosnące zapotrzebowanie na wzmożoną produkcję wartościowych pod kątem użyteczności przemysłowej roślin uruchomiło badania naukowe w dziedzinie inżynierii genetycznej. Te pszenice, które znamy dzisiaj, są wynikiem dopracowanych przez naukowców programów hodowlanych, w ramach których wyselekcjonowano i opracowano przede wszystkim takie formy roślin, które pozwolą efektywnie wykorzystać składniki odżywcze pszenicy czy uzyskać doskonałą jakość wypieków, a także podnieść jej odporność na stropy biotyczne i abiotyczne. Selekcja odbywa się poprzez fenotypowanie i genotypowanie [17–19].

Tak zwana naukowa hodowla roślin odniosła ogromny sukces w zwiększaniu plonów i poprawie wydajności pszenicy. Na przykład ponad 80-procentowe zwiększenie plonów pszenicy ozimej w Wielkiej Brytanii w latach 1981–2007 z około 6 do 8 ton/ha można przypisać poprawie genetycznej roślin [20]. Pomimo że powstała stosunkowo niedawno, pszenica chlebowa wykazuje ogromną różnorodność genetyczną, gdyż stworzono ponad 25 tys. jej odmian, które są przystosowane do szerokiego zakresu środowisk umiarkowanych [12]. Jeśli zapewni się uprawie wystarczającą ilość wody i składników mineralnych oraz kontrolę przed szkodnikami i patogenami, plony mogą przekroczyć nawet 10 ton/ha [21]. Współczesne pszenice, otrzymane na skutek zmian genetycznych, nie są jednak w stanie konkurować z jej dzikimi odmianami – lepiej przystosowanymi do niekorzystnych warunków

hodowli [22]. Wprowadzeniu wysokoplennych odmian pszenicy towarzyszyło masowe stosowanie nawozów sztucznych i pestycydów w rolnictwie. Wpływ tych wszystkich postępów na ilość i jakość produkcji roślinnej był tak ogromny, że nazywano go „zieloną rewolucją” [23]. Rozpoczęła się ona w latach 60., kiedy to Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (ang. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) podjęła się walki z biedą i głodem oraz działań na rzecz podnoszenia dobrobytu poprzez redystrybucję żywności i rozwój obszarów wiejskich. Jej twórca Norman Bourlaug za swoje zasługi w ratowaniu ludzkości przed widmem głodu w 1970 r. otrzymał Nagrodę Nobla. Dopracował on za pomocą zabiegów agrotechnicznych i nowoczesnych środków chemicznych nowe hybrydowe krzyżówki pszenicy – bardziej plenne, o krótszej łodydze i większej liczbie ziarniaków [24–26]. Ponieważ łodygi pszenicy wysokiej nie były wystarczająco silne, aby utrzymać ciężkie ziarno wysokowydajnych odmian, rośliny przewracały się, co powodowało duże straty plonów. Wówczas zostały wprowadzone geny karłowate Norin 10 pszenicy, które są obecne u ponad 70% komercyjnych wysokowydajnych odmian tego zboża [23].

W późniejszych latach XX w. prowadzono szeroko zakrojone prace nad odmianami zbóż genetycznie modyfikowanymi (GM), którym przyświecały cele uzyskania roślin o coraz to większej wydajności i odporności na choroby i niekorzystne warunki uprawy, oraz szeroko stosowano środki ochrony roślin, takie jak herbicyd glifosat (Roundup). Najszerzej stosowane uprawy HT (ang. *high tolerance*) o wysokiej tolerancji na herbicydy są odporne na glifosat i potocznie znane (taka nazwa używana jest komercyjnie w firmie Monsanto) jako uprawy „Roundup ready” [27–29]. Wykorzystanie inżynierii genetycznej w produkcji rolno-spożywczej w celu zwiększenia produkcji i poprawy upraw skutkuje zanikiem bioróżnorodności w środowisku, ponadto produkty GMO przeznaczone do spożycia budzą wiele obaw i kontrowersji oraz powszechny opór społeczny [30].

Strategie hodowlane i produkcyjne zapoczątkowane przez zieloną rewolucję przyczyniły się do rozpowszechnienia wysokowęglowodanowych diet na bazie ziaren zbóż o niskiej jakości. Te diety w Azji i Ameryce Południowej zmniejszyły odsetek rosnących populacji biednych, chociaż nie były tak skuteczne pod kątem odżywczym w Afryce Subsaharyjskiej, gdzie wciąż wzrasta liczba ludzi niedożywionych.

Zwiększone plony zbóż skłoniły rolników do przestawienia się z produkcji roślin strączkowych na uprawę zbóż. Najwyraźniej priorytet, którym jest walka z głodem, nie uwzględniał w wystarczającym stopniu ich jakości odżywczej, być może z powodów technicznych i strategicznych. Z perspektywy czasu wiemy, że nieodpowiednie odżywianie przez długi czas, może przyczynić się do wzrostu ubóstwa i pogorszenia zdrowia ludności [15].

## Znaczenie odżywcze ziaren pszenicy

Pszenica ma kluczowe znaczenie w gospodarce żywnościowej krajów wysokorozwiniętych. W jej składzie znajduje się wiele cennych składników, ważnych w naszej diecie, takich jak: węglowodany, białka, lipidy, błonnik pokarmowy oraz przeciwutleniacze [31, 32]. W wielu rejonach świata pszenica jest najważniejszym pożywieniem i pokrywa w dużym stopniu zapotrzebowanie kaloryczne i zapotrzebowanie na białko. Wartość odżywcza białek zdeterminowana jest ich składem aminokwasowym, tym, jak są trawione i ich przyswajalnością oraz stopniem przetworzenia w procesach produkcji żywności. Na przykład stosowanie zabiegów hydrotermicznych przy pieczeniu chleba podnosi przyswajalność takich aminokwasów jak: metionina, tryptofan i treonina, w stosunku do ich przyswajalności z surowego ziarna [33].

Zróznicowana zawartość białka w pszenicy wynika z różnic genetycznych (gatunki i odmiany), ilości stosowanych nawozów azotowych, środowiskowych warunków uprawy oraz metod analitycznych stosowanych w badaniach [34, 35]. Dlatego też zawartość białka podawana w tabelach składu stosowanych przez dietetyków mieści się zazwyczaj w następujących zakresach: pszenica twarda (do wypieku chleba) 11–16%, pszenica miękka (do ciast, herbatników i ciastek), orkisz 7–11%, orkisz 11–20%, durum 10–17%, płaskurka 10–20%. Według aktualnych badań tzw. starożytne pszenice: samopsza, płaskurka i kamut, inaczej khorasan (*Triticum turgidum* spp. *turanicum*) mogą zawierać jeszcze więcej białka (odpowiednio: 38%, 33% oraz 37%) [34–40].

Przyswajalność białek zbóż zależy od ich strawności, która jest podnoszona poprzez obróbkę termiczną i procesy hydratacji. Podczas gotowania czy pieczenia dochodzi do inaktywacji inhibitorów enzymów trawiennych, dzięki czemu wzrasta efektywność trawienia białek i wchłaniania aminokwasów. Dlatego też białka z chleba są lepiej przyswajalne niż te z surowych ziaren [42]. Jakość odżywcza białka zależy głównie od proporcji zawartych w nich niezbędnych aminokwasów, które – ponieważ nie mogą być syntetyzowane przez zwierzęta – muszą być dostarczane w diecie. Jeśli ilość choćby jednego niezbędnego aminokwasu jest ograniczona, pozostałe zostaną rozbite i wydalone, powodując ograniczony wzrost u ludzi i utratę azotu obecnego w diecie [42]. Prolaminy białka glutenu, które tworzą główną frakcję białka magazynującego zbóż, mają niedobór niezbędnych aminokwasów: lizyny oraz treoniny i tryptofanu [43]. Gliadyna ziarna pszenicy zawiera około 45% glutaminy i kwasu glutaminowego, 25% proliny, 7% fenyloalaniny, 2,3% cystyny, 1% metioniny i tylko 0,1–0,7% lizyny [44]. Procentowo zawartość lizyny najniższa jest w bielmie (1,9–2,6%), wyższa w otrębach (3,9%), a najwyższa w zarodku (5,4%), dlatego istotne znaczenie ma sposób przemiału i udział poszczególnych części ziarniaka w diecie. Stąd niższa zawartość niezbędnych aminokwasów w białej mące w porównaniu z produktami pełnoziarnistymi [45]. Większość produktów zbożowych, które są obecnie dostępne na rynku, jest rafinowana. W procesie rafinacji pszenicy otręby i zarodki są

oddzielane od skrobiowego bielma. Skrobiowe bielmo jest następnie dalej mielone do uzyskania drobnej białej mąki. Większość produktów z pszenicy spożywanych przez ludzi jest wytwarzana z białej mąki, uzyskiwanej poprzez mielenie w celu usunięcia zarodka i otrębów. Odpowiada zatem skrobiowym komórkom bielma i zawiera duże ilości skrobi i glutenu. Usuwanie zewnętrznych warstw ziarna podczas mielenia czy polerowania obniża zawartość składników antyodżywczych znajdujących się w otrębach [43, 46]. Na przykład rafinacja pszenicy pełnoziarnistej może prowadzić do utraty około 58% błonnika, 83% magnezu (Mg), 79% cynku (Zn), 92% selenu (Se), 70% kwasu nikotynowego, 61% folianów i 79% witaminy E [47]. Rzeczywiście całe ziarna są bardziej bogate pod względem odżywczym niż rafinowane i stanowią ważne źródło witamin, składników mineralnych, kwasów tłuszczowych, przeciwutleniaczy, błonnika pokarmowego i fitochemikaliów (głównie polifenoli), dlatego ważne jest spożywanie produktów pełnoziarnistych [48]. Całe ziarna są bardzo bogate w błonnik pokarmowy, który odgrywa istotną rolę w zapewnianiu odpowiedniego środowiska dla mikroflory jelitowej, działając jako prebiotyk. Prebiotyki są odporne na kwasowość żołądka i hydrolizę przez enzymy. Mogą być fermentowane w okrężnicy, zmieniając w ten sposób skład mikroflory jelitowej [49].

Gluten definiuje się jako spoisty, lepkosprężysty materiał, który powstaje po przemyciu ciasta w celu usunięcia granulek skrobi i składników rozpuszczalnych w wodzie [52, 53]. Jest to bardzo złożona mieszanina, czyli heterogenna pod względem chemicznym. Składa się ona w większości z białek, ale też z cukrowców, tłuszczów i soli mineralnych. W zależności od dokładności mycia sucha substancja stała zawiera 75–85% białka i 5–10% lipidów. Większość pozostałej części to węglowodany skrobiowe i nieskrobiowe [53]. Białka glutenowe są grupą białek, które są przechowywane w ziarnie w celu wsparcia kiełkowania i rozwoju siewek. Ich dystrybucja jest ograniczona do skrobiowych komórek bielma ziarna i nie została wykryta w żadnych innych tkankach ziarna lub rośliny [31].

Pod względem roli fizjologicznej dla rośliny białka spichrzowe pszenicy mogą nie różnić się zbyt wiele od białek innych zbóż, jednakże charakterystyczną cechą frakcji glutenowej pszenicy jest jej wysoka lepkosprężystość. To sprawia, że mąka z pszenicy najlepiej nadaje się do przygotowywania różnorodnych produktów spożywczych, takich jak: pieczywo, makarony czy ciastka [52, 53]. Wszystkie rodzaje pszenicy – zarówno stare, jak i nowe gatunki – zawierają gluten, który stanowi około 70–80% wszystkich białek w pszenicy chlebowej (*Triticum aestivum* var. *aestivum*), około 78% w orkisz, około 77% w pszenicy durum i około 70% w płaskurce [49, 50]. Bez wątplenia sieć glutenu nie może powstać bez obecności dwóch białek: gliadyny i gluteniny, a stosunek GLIA/GLUT jest istotnym wyznacznikiem jakości glutenu i decyduje o jego zastosowaniu w produkcji chleba [33]. Gliadyny i gluteniny stanowią odpowiednio 58,17–65,27% i 56,25–64,48% białek ogółem i jako takie odpowiadają

za ilość i jakość ziarna pszenicy. Stosunek gliadyny do gluteniny ogółem wahał się od 0,49 do 1,01 i od 0,57 do 1,06 odpowiednio wśród genotypów pszenicy zwyczajnej i pszenicy durum [54].

Ogólnie rzecz biorąc, zawartość glutenu i gliadyny w gatunkach starożytnych, takich jak: pszenica samopsza, płaskurka i orkisz, była porównywalna lub wyższa niż w pszenicy współczesnej [48]. Podobnie nasiona starożytnej pszenicy kamut khora-san zawierają wyższe stężenia gliadyny w porównaniu do pszenicy zwyczajnej. Stosunek gliadyny do gluteniny był wyższy w pszenicach starożytnych w porównaniu do współczesnych gatunków, ponieważ pszenica zwyczajna ma wyższą zawartość gluteniny. Natomiast pszenica durum zawiera wyższy poziom zarówno gluteniny, jak i gliadyny (gamma-gliadyny). Glutenina jest odpowiedzialna przede wszystkim za elastyczność ciasta. Stosunek gliadyny do gluteniny wpływa na właściwości reologiczne ciasta, przy czym wyższa zawartość gluteniny zapewnia lepsze parametry technologiczne współczesnych odmian [7, 37, 39, 49, 58–60].

Starsze pszenice również mogą być wykorzystywane do wytwarzania szerokiej gamy produktów – mogą być stosowane jako pełne ziarna w sałatkach lub jako składniki makaronów i produktów piekarniczych [57]. Przydatność kulinarna pszenicy zależy od zawartości poszczególnych białek glutenu, które determinują jej zastosowanie do konkretnego dania [50].

Warto zauważyć, że przemysł spożywczy wykorzystuje zalety glutenu również w takiej żywności, która jest go naturalnie pozbawiona, toteż ze względu na jego właściwości gluten dodawany jest np. do: wędlin, sosów, frytek i wielu innych produktów spożywczych. Ponadto gluten pszeniczny jest coraz częściej stosowany jako dodatek do rosnącej gamy przetworzonej żywności oraz innych produktów, m.in. kosmetyków, suplementów i leków [61–63]. Tak zwane hydrolizowane białka pszenicy są również często wykorzystywane jako dodatki do żywności (np. zup, lodów) oraz kosmetyków (np. mydeł, szamponów) [64, 65].

## **Nawyki żywieniowe a choroby**

Wyraźny wzrost przewlekłych chorób niezakaźnych ma związek przyczynowo-skutkowy z globalnymi wzorcami żywieniowymi, które stają się coraz bardziej zachodnie (tzw. westernizacja diety). Charakteryzują się one wysokim poziomem spożywania tłustego i przetworzonego mięsa, tłuszczów nasyconych, rafinowanych ziaren, soli i cukrów, przy niskim spożyciu świeżych owoców i warzyw [66]. Aby zmniejszyć obciążenie chorobami, przede wszystkim otyłością i chorobami przewlekłymi, organy do spraw żywności na całym świecie zalecają regularne spożywanie produktów pełnoziarnistych. Wykazano, że błonnik pokarmowy, mikroelementy i składniki fenolowe o właściwościach przeciwutleniających mają właściwości

przeciwzapalne i korzystny wpływ na zdrowie przewodu pokarmowego [67, 68]. Wydaje się, że oprócz błonnika to właśnie inne składniki pełnego ziarna, takie jak: Mg, Zn, żelazo (Fe), witaminy z grupy B i E czy inne związki bioaktywne, takie jak fitoestrogeny, mogą razem działać kardioprotekcyjnie, a także synergistycznie z substancjami odżywczymi, takimi jak białka, dlatego ważne jest spożywanie całych ziaren, zawierających doskonały komplet niezbędnych dla ludzkiego zdrowia składników [69]. Dostępne dane pokazują, że długotrwałe spożywanie zbóż w postaci pełnego ziarna wiąże się albo z niższym ryzykiem przyrostu masy ciała, albo z brakiem przyrostu masy ciała oraz z niższym ryzykiem zachorowania na cukrzycę typu 2, choroby układu krążenia i nowotwory jelit [70, 71].

Współcześnie żywność zbożowa w wielu kategoriach produktów jest spożywana w dużych ilościach, co pozwala na zwiększenie spożycia białka w diecie. Niektóre produkty zbożowe, takie jak: chleb, pizza czy makaron, są naszą codziennością. Pszenica jest często uważana przede wszystkim za źródło energii (węglowodany) i z pewnością jest pod tym względem ważna. Jednak zawiera również znaczne ilości innych ważnych składników odżywczych, w tym białka, błonnika i składników występujących w niewielkich ilościach, np. lipidów, witamin, związków mineralnych i fitochemikaliów, które mogą przyczynić się do zdrowej diety [72]. Niektóre białka ziarna pszenicy mogą być silnie antygenowe. Od 0,5% do 1,0% populacji zachodniej, arabskiej i indyjskiej jest genetycznie predysponowany do autoimmunologicznej choroby zapalnej jelita cienkiego wywołanej spożyciem glutenu pszenicznego, nazywanej celiakią (ang. *coeliac disease*, CD) [73]. Celiakia dotyka około 1,4% światowej populacji, ale tylko 0,7% mieszkańców globu jest diagnozowanych, co wskazuje, że około połowa osób z celiakią na całym świecie jest niezdiagnozowana. Szacuje się, że 2 mln (lub 1 na 133) osób w Stanach Zjednoczonych cierpi na celiakię [74].

Bezpośrednią konsekwencją tej choroby jest niszczenie błony śluzowej jelita cienkiego i zanik kosmków odpowiedzialnych za wchłanianie substancji pokarmowych (białek, tłuszczów, witamin A, D, E, K, witamin z grupy B), jednak celiakia, szczególnie niekontrolowana, powoduje spustoszenie w organizmie chorego i wywołuje wiele schorzeń wtórnych, łącznie z zaburzeniami psychicznymi [75]. Reakcja zapalna tocząca się w organizmie powoduje zniszczenie jelit, złe wchłanianie składników odżywczych, a u wielu pacjentów z CD liczne objawy wtórne: w tym biegunkę, wyniszczenie organizmu i niedokrwistość [76].

Niektóre osoby przejawiają też alergię na składniki pszenicy (alergeny pszenicy), które powodują natychmiastową reakcję immunologiczną po ekspozycji przez spożycie, wdychanie lub kontakt ze skórą. Reakcje alergiczne na pszenicę, inaczej niż w przypadku CD, obejmują wytwarzanie przeciwciał IgE (immunoglobuliny) [77]. W ostatnich latach grupa objawów jelitowych i pozajelitowych (np. ból głowy, zły sen, lęk, depresja) związanych ze spożyciem pszenicy została przypisana obecności glute-

nu i opisana jako wrażliwość na gluten bez celiakii (ang. *non-coeliac gluten sensitivity*, NCGS). Wykazano, że unikanie pokarmów zawierających gluten wywołuje złagodzenie objawów, co uznano za potwierdzenie, że to gluten był czynnikiem sprawczym [78]. Popularne stało się twierdzenie, że spożywanie białego chleba i makaronu powoduje negatywne skutki w postaci otyłości i przyczynia się do chorób przewlekłych, których następstwem są stany neurodegeneracyjne (ataksja glutenowa) [79]. Ponadto zasugerowano, że gluten jest związany z zaostrzeniem przewlekłych zaburzeń mózgu, takich jak schizofrenia, depresja, choroba Alzheimerera i autyzm [80].

### **Renesans starych gatunków pszenicy**

Od początku lat 90. XX w. rośnie zainteresowanie uprawą pszenic pierwotnych, tj. diploidalnej samopszy (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*), tetraploidalnej płaskurki (*T. turgidum* ssp. *dicoccum* (Schrank ex Schubler) Thell.) i heksaploidalnego orkisz (*T. aestivum* ssp. *spelta* (L.) Thell.) – upraw tzw. starożytnych – cennych dla utrzymania bioróżnorodności środowiskowej [81]. Duży zbiór badań nad składem pszenicy współczesnej i dawnej dostarczyli naukowcy pracujący w latach 2005–2010 w ramach projektu HEALTHGRAIN [82]. Udomowienie pszenicy, a następnie wysiłki hodowlane, głównie w ciągu ostatnich dwóch stuleci, spowodowały wzrost plonów, czemu towarzyszy jednak pogorszenie jakości ziarna z powodu redukcji białka, witamin i składników mineralnych w ziarnach pszenicy współczesnej.. Stare gatunki pszenicy: samopsza, płaskurka i orkisz należą do niegdyś uprawianych zbóż, ale w dobie chorób cywilizacyjnych wracają do łask w gospodarstwach rolniczych jako zdrowa alternatywa dla wysoce przetworzonych produktów z pszenicy zwyczajnej i durum. Stosowane są w uprawach ekologicznych, aby zmaksymalizować zrównoważoną podaż białka zbożowego, błonnika, składników mineralnych i fitochemikaliów [11]. Porównanie starożytnych i współczesnych gatunków pszenicy wykazało, że płaskurka, samopsza i orkisz różniły się od innych gatunków głównie wyższymi stężeniami składników mineralnych: magnezu, fosforu, selenu i cynku [83]. Mikroelementy, chociaż w porównaniu z makroskładnikami wymagane w śladowych ilościach, są niezbędne do prawidłowego wzrostu, metabolizmu, funkcjonowania fizjologicznego i integralności komórkowej [84]. Przejście od zbóż z pełnego przemiału do żywności przetworzonej, rafinowanej obniżyło zawartość mikroelementów współczesnej zachodniej diety. Niedobory witamin i związków mineralnych są związane ze starzeniem się komórek i rozwojem choroby, ponieważ niedobór napędza chroniczne zaburzenia metaboliczne. Na podstawie tych obserwacji w celu zmniejszenia ryzyka i postępu chorób zasugerowano odpowiednie spożycie lub suplementację mikroskładnikami odżywczymi, które mają właściwości przeciwutleniające (np. witaminą A, C i E, miedzią i selenem) [67, 84].

Porównania starszych i nowoczesnych genotypów pszenicy chlebowej uprawianej i badanej w identycznych warunkach wykazały, że starsze gatunki zawierają więcej białka, w tym glutenu całkowitego i gliadyny. W szczególności stwierdzono, że starożytna pszenica zawiera wyższe poziomy związków przeciwutleniających, takich jak:  $\alpha$ - i  $\beta$ -karoteny, luteina, zeaksantyna, tokole, sprzężone polifenole, alkilowe rezorcynole i fitosterole, retinol, fosfor, potas, ryboflawina i pirydoksyna [85].

Chociaż współczesny rynek bezglutenowy promuje starożytne gatunki zbóż jako żywność funkcjonalną, należy zachować ostrożność w spożywaniu wszystkich produktów zbożowych. Dlatego najskuteczniejszą strategią zapobiegania objawom CD w populacjach podatnych na tę chorobę jest eliminacja produktów pszenicznych z diety [46].

Przed podjęciem decyzji o wykluczeniu zbóż zawierających gluten z niezbędna jest dokładna diagnoza medyczna, zwłaszcza że ścisłe przestrzeganie diety bezglutenowej (ang. *gluten-free*, GF) jest trudne, kosztowne i może prowadzić do izolacji społecznej. Ponadto żywność GF może mieć skład mniej korzystny pod kątem odżywczym i wiąże się z niewielkim spożyciem mikroelementów i błonnika, co, jak wykazano, zmniejsza bogactwo bakterii i skład mikrobioty u zdrowych osób [86]. Dobrą alternatywą dla tradycyjnych zbóż są tzw. pseudozboża, np. szarłat, komosa i gryka, które mają długą historię występowania jako składniki żywności i są bardzo interesujące pod względem właściwości odżywczych. Pseudozboża w ostatniej dekadzie zyskują na popularności jako składnik produktów bezglutenowych. Ich stosowanie znacznie zwiększa zawartość błonnika pokarmowego w żywności GF [87].

## Podsumowanie

Pszenica jest ważnym podstawowym pożywieniem ze względu na właściwości odżywcze, technologiczne i długi okres przydatności do spożycia (ziarna można przechowywać przed długi czas). Ogromny sukces pszenicy na rynku i jej rozpowszechnienie we wszystkich strefach klimatycznych są nierozzerwalnie związane ze zdolnością białek ziarna – glutenu do tworzenia lepkosprężystego ciasta, co umożliwia przekształcanie mąki pszennej w szeroką gamę podstawowych form żywności w diecie człowieka. Zmiany w morfologii pszenicy, jakie zaszły na przestrzeni lat, wprowadzone, by podnieść jej plenność oraz możliwości manipulowania zarówno składem jej ziaren, jak i strukturą i właściwościami samego glutenu, mogą budzić kontrowersje, zwłaszcza że pszenica i wytworzone z niej produkty pospolicie goszczą od wieków na naszych stołach. Wobec rosnącej liczby zachorowań na celiakię i inne schorzenia związane ze spożywaniem bardzo dużej liczby produktów zawierających białą mąkę pszenną prowadzi się wiele badań nad terapiami dla pacjentów wrażliwych na gluten

i inne składniki zbóż, by poprawić stan ich mikrobiomu jelitowego oraz uniemożliwić rozprzestrzenianie się tej choroby i ograniczyć jej konsekwencje, jakimi są dysfunkcje neurologiczne. Coraz częściej konsumenci sięgają po żywność ekologiczną, a rolnicy, mając na względzie potrzeby tego rynku, skłaniają się do uprawy pradawnych gatunków roślin zbożowych, które mogą być lepiej tolerowane przez chorych na nieprzyswajalność białek glutenu.

## Literatura

- [1] Hensel W., Tabaczyński S., Rewolucja neolityczna i jej znaczenie dla rozwoju kultury europejskiej, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław 1978.
- [2] Salamini F., Özkan H., Brandolini A., Genetics and geography of wild cereal domestication in the near east, *Nature Reviews Genetics*, 2002, 3, s. 429–41.
- [3] Venske E., Dos Santos R.S., Busanello C., Gustafson P., Costa de Oliveira A., Bread wheat: A role model for plant domestication and breeding, *Hereditas*, 2019, 16, s. 156.
- [4] Nesbitt M., Where was einkorn wheat domesticated?, *Trends in Plant Science*, 1998, 3, s. 1360–1385.
- [5] Dubcovsky J., Dvorak J., Genome plasticity a key factor in the success of polyploidy wheat under domestication, *Science*, 2007, 316, s. 1862–1866.
- [6] Shewry P.R., Wheat, *Journal of Experimental Botany*, 2009, 60, s. 1537–1553.
- [7] Brouns F., Geisslitz S., Guzman C., Ikeda T.M., Arzani A., Latella G., Simsek S., Colomba M., Gregorini A., Zevallos V., Lullien-Pellerin V., Jonkers D., Shewry P.R., Do ancient wheats contain less gluten than modern bread wheat, in favour of better health?, *Nutrition Bulletin*, 2022, 47(2), s. 157–167.
- [8] Nesbitt M., Wheat evolution: integrating archaeological and biological evidence, [w:] P.D.S. Caligari, P.E. Brandham, *Wheat taxonomy: the legacy of John Percival*, Linnean Society, London, 2001, s. 37–59 (Linnean Special Issue 3).
- [9] Harlan J.R., Wet M.J., Price E.G., Comparative evolution of cereals, *Evolution*, 1973, 27, s. 3110–325.
- [10] Simons K.J., Fellers J.P., Trick H.N., Zhang Z., Tai Y.S., Gill B.S., Faris J.D., Molecular characterization of the major wheat domestication gene Q, *Genetics*, 2006, 172(1), s. 547–55.
- [11] Arzani A., Ashraf M., Cultivated ancient wheats (*Triticum* spp.): A potential source of health-beneficial food products, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2017, 16, s. 477–488.
- [12] Shewry P.R., Do ancient types of wheat have health benefits compared with modern bread wheat?, *Journal of Cereal Science*, 2018, 79, s. 469–476.
- [13] Dixon J., Braun H.J., Kosina P.P., Crouch J., Wheat facts and futures, CIMMYT, Mexico 2009.
- [14] Vergauwen D., De Smet I., From early farmers to Norman Borlaug – the making of modern wheat, *Current Biology*, 2017, 27(17), s. 858–862.

- [15] Sands D.C., Morris C.E., Dratz E.A., Pilgeram A.L., Elevating optimal human nutrition to a central goal of plant breeding and production of plant-based foods, *Plant Science*, 2009, 177, s. 377–389.
- [16] Peng Sun D., Nevo E., Domestication evolution, genetics and genomics in wheat, *Molecular Breeding*, 2011, 28, s. 281.
- [17] Siddique K., Belford R., Perry M., Tennant D., Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment, *Australian Journal of Agricultural Research*, 1989, 40, s. 473–487.
- [18] Poland J., Endelman J., Dawson J., Rutkoski J., Wu S., Manes Y., Dreisigacker S., Crossa J., Sánchez-Villeda H., Sorrells M., Genomic selection in wheat breeding using genotyping-by-sequencing, *Plant Genome*, 2012, 5, s. 103–113.
- [19] Shewry P.R., Hey S., Do “ancient” wheat species differ from modern bread wheat in their contents of bioactive components?, *Journal of Cereal Science*, 2015, 65, 236–243.
- [20] Mackay I., Reanalyses of the historical series of UK variety trials to quantify the contributions of genetic and environmental factors to trends and variability in yield over time, *Theoretical and Applied Genetics*, 2011, 122, s. 225–238.
- [21] Feldman M., *Wheats*, [w:] (red.) J. Smartt, N.W. Simmonds, *Evolution of crop plants*, Longman Scientific and Technical, Harlow 1995, s. 185–192.
- [22] Dyke G.V., *John Lawes of Rothamsted. Pioneer of science farming and industry*, Hoos Press, Harpenden 1993.
- [23] Hedden P., The genes of the Green Revolution, *Trends in Genetics*, 2003, 19, s. 5–9.
- [24] Borlaug N., Feeding a hungry world, *Science*, 2007, 19, 318(5849), s. 359.
- [25] Wharton C.R. Jr., The Green Revolution: Cornucopia or Pandora’s Box, *Foreign Affairs*, 1969, 47, s. 464–476.
- [26] Ali C.H., Khan D.A., Choudhari Income Impact of the Green Revolution, *Pakistan Economic and Social Review*, 1973, 11, s. 67–82.
- [27] Dill G.M., CaJacob C.A., Padgett S.R., Glyphosate-resistant crops: Adoption, use and future considerations, *Pest Management Science*, 2008, 64, s. 326–331.
- [28] Barfoot P., Brookes G., Key global environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996–2012, *GM Crops & Food*, 2014, 5, 2, s. 149–160.
- [29] Karami F., Shotorbani P.M., Genetically modified foods: Pros and cons for human health, *Food & Health*, 2018, 1, s. 18–23.
- [30] Adamczyk A., Banaszak E., Rozynek M., Rybacka K., Rośliny modyfikowane genetycznie – zmierzch cywilizacji czy zbawienie ludzkości?, *Tutoring Gedanensis*, 2018, 3, s. 24–28.
- [31] Shewry P., What Is Gluten – Why Is It Special?, *Frontiers in Nutrition*, 2019, 5(6), s. 101.
- [32] Biel W., Maciorowski R., Ocena wartości odżywczej ziarna wybranych odmian pszenicy, *Żywność – Nauka – Technologia – Jakość*, 2012, 2(81), s. 45–55.
- [33] Wrigley C., Békés F., Bushuk W., Gluten, A balance of gliadin and glutenin, [w:] *Gliadin and Glutenin: The Unique Balance of Wheat Quality*, American Association of Cereal Chemists, St. Paul 2006, s. 3–32.

- [34] Godfrey D., Hawkesford M.J., Powers S.J., Millar S., Shewry, P.R., Effects of crop nutrition on wheat grain composition and end use quality, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58, s. 3012–3021.
- [35] Kasarda D.D., Can an increase in celiac disease be attributed to an increase in the gluten content of wheat as a consequence of wheat breeding?, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61, s. 1155–1159.
- [36] Shewry P.R., Hassall K.L., Grausgruber H., Andersson A.A.M., Lampi A.M., Piironen V., Do modern types of wheat have lower quality for human health?, *Nutrition Bulletin*, 2020.
- [37] Frakolaki G., Giannou V., Topakas E., Tzia C., Chemical characterization and breadmaking potential of spelt versus wheat flour, *Journal of Cereal Science*, 2018, 79, s. 50–56.
- [38] Van Boxtael F., Aerts H., Linssen S., Latré, J., Christiaens A., Haesaert G., Dierickx I., Brusselle J., De Keyzer W., A comparison of the nutritional value of Einkorn, Emmer, Khorasan and modern wheat: Whole grains, processed in bread, and population-level intake implications, *Journal of Science Food and Agriculture*, 2020, 100, s. 4108–4118.
- [39] Podolska G., Aleksandrowicz E., Szafrńska A., Bread making potential of *Triticum aestivum* and *Triticum spelta* species, *Open Life Sciences*, 15(1), 2020, s. 30–40.
- [40] Kohajdová Z., Karovicova J., Fermentation of cereals for specific purpose, *Journal of Food and Nutrition Research*, 2007, 46, s. 51–57.
- [41] Brankovic G., Dodig D., Pajić V., Kandic R., V., Knezevic D., Djuric N., Zivanovic T., Genetic parameters of *Triticum aestivum* and *Triticum durum* for technological quality properties in Serbia, *Zemdirbyste-Agriculture*, 2018, 105, s. 39–48.
- [42] Gawęcki J., *Białka w żywności i żywieniu*, Poznań, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, 2016, s. 102–103.
- [43] Osborne T.B., The vegetable proteins, *Journal of the Society of Chemical Industry*, 1924, 43, s. 440.
- [44] Belitz H.D., Grosch W., Scheberl P., *Cereals and cereal products*, Springer Verlag, 2009.
- [45] Gąsiorowski H., *Pszenica – chemia i technologia*, PWRiL, Poznań, 2004.
- [46] Cooper R., Re-discovering ancient wheat varieties as functional foods, *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 2015, 29, 5(3), s. 138–143.
- [47] Truswell A.S., Cereal grains and coronary heart disease, *European Journal of Clinical Nutrition*, 2002, 56, s. 1–14.
- [48] Jones J.M., García C.G., Braun H.J., Perspective: Whole and Refined Grains and Health—Evidence Supporting Make Half Your Grains Whole, *Advances in Nutrition*, 2020, 1, 11(3), s. 492–506.
- [49] Geisslitz S., Longin C.F.H., Scherf K.A., Koehler P., Comparative Study on Gluten Protein Composition of Ancient (Einkorn, Emmer and Spelt) and Modern Wheat Species (Durum and Common Wheat), *Foods*, 2019, 8, s. 409.
- [50] Schalk K., Lexhaller B., Koehler P., Scherf K.A., Isolation and characterization of gluten protein types from wheat, rye, barley and oats for use as reference materials, *PLoS One*, 2017, 12.

- [51] Davani-Davari D., Negahdaripour M., Karimzadeh I., Seifan M., Mohkam M., Masoumi S.J., Berenjian A., Ghasemi Y., Prebiotics: Definition, Types, Sources, Mechanisms, and Clinical Applications, *Foods*, 2019, 8, s. 92.
- [52] Wieser H., Chemistry of gluten proteins., *Food Microbiology*, 2007, 24, s. 115–119.
- [53] Shewry P.R., Halford N.G., Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization, *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53, s. 947–958.
- [54] Zilić S., Barać M., Pešić M., Dodig D., Ignjatović-Micić D., Characterization of proteins from grain of different bread and durum wheat genotypes, *International Journal of Molecular Sciences*, 2011, 12(9), s. 5878–94.
- [55] Wieser H., Antes S., Seilmeier W., Quantitative determination of gluten protein types in wheat flour by reversed-phase high-performance liquid chromatography, *Cereal Chemistry*, 1998, 75, s. 644–650.
- [56] Thanhaeuser S.M., Wieser H., Koehler P., Spectrophotometric and fluorimetric quantitation of quality-related protein fractions of wheat flour, *Journal of Cereal Science*, 2015, 62, s. 58–65.
- [57] Boukid F., Folloni S., Sforza S., Vittadini E., Prandi B. Current Trends in Ancient Grains-Based Foodstuffs: Insights into Nutritional Aspects and Technological Applications, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2018, 17, s. 123–136.
- [58] Zamaratskaia G., Gerhardt K., Wendin K., Biochemical characteristics and potential applications of ancient cereals – An underexploited opportunity for sustainable production and consumption, *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 107, s. 14–123.
- [59] Colomba M.S., Gregorini A., Are ancient durum wheats less toxic to celiac patients? A study of  $\alpha$ -gliadin from Graziella Ra and kamut, *Science World Journal*, 2012, 1, s. 837416.
- [60] De Santis M.A., Kosik O., Passmore D., Flagella Z., Shewry P.R., Lovegrove A., Comparison of the dietary fibre composition of old and modern durum wheat (*Triticum turgidum* spp. *durum*) genotypes, *Food Chemistry*, 2018, 244, s. 304–310.
- [61] Day L., Augustin M.A., Batey I.L., Wrigley C.W., Wheat-gluten uses and industry needs, *Trends in Food Sciences Technology*, 2006, 17, s. 82–90.
- [62] Hlywiak K.H., Hidden sources of gluten, *Practical Gastroenterology*, 2008, 32, s. 27–39.
- [63] Maltin V., Charabaty A., Mangione R., Medications: a hidden source of gluten, *Practical Gastroenterology*, 2009, 33, s. 32–38.
- [64] Gabler A.M., Scherf K.A., Comparative Characterization of Gluten and Hydrolyzed Wheat Proteins, *Biomolecules*, 2020, 24, 10, 9, s. 1227.
- [65] Laurière M., Pecquet C., Bouchez-Mahiout I., Snégaroff J., Bayrou O., Raison-Peyron N., Vigan M., Hydrolysed wheat proteins present in cosmetics can induce immediate hypersensitivities, *Contact Dermatology*, 2006, 54, s. 283–289.
- [66] Cordain L., Eaton S.B., Sebastian A., Mann N., Lindeberg S., Watkins B.A., O’Keefe J.H., Brand-Miller J., Origins and evolution of the Western diet: Health implications for the 21st century, *American Journal of Clinical Nutrition*, 2005, 81, s. 341–354.

- [67] Kopf J.C., Suhr M.J., Clarke J., Eyun S.I., Riethoven J.J.M., Ramer-Tait A.E., Role of whole grains versus fruits and vegetables in reducing subclinical inflammation and promoting gastrointestinal health in individuals affected by overweight and obesity: a randomized controlled trial, *Nutrition Journal*, 2018, 17, s. 72.
- [68] Seal C.J., Brownlee I.A., Whole-grain foods and chronic disease: evidence from epidemiological and intervention studies, *The Proceedings of the Nutrition Society*, 2015, 74, s. 313–319.
- [69] Fardet A., New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre?, *Nutrition Research Review*, 2010, 23, s. 65–134.
- [70] Tullio V., Gasperi V., Catani M.V., Savini, I., The impact of whole grain intake on gastrointestinal tumors: a focus on colorectal, gastric, and esophageal cancers, *Nutrients*, 2020, 13(1), s. 81.
- [71] Wang W., Li J., Chen X., Yu M., Pan, Q., Guo L., Whole grain food diet slightly reduces cardiovascular risks in obese/overweight adults: a systematic review and meta-analysis, *BMC Cardiovascular Disorders*, 2020, 20, s. 82.
- [72] Davies R.W., Nutrients separating the wheat from the chaff: nutritional value of plant proteins and their potential contribution to human health, *Nutrients*, 2020, 12, s. 10–14.
- [73] Shamir R., Advances in celiac disease, *Gastroenterology Clinics of North America*, 2003, 32, s. 931–947.
- [74] Singh P., Arora A., Strand T.A., Leffler D.A., Catassi C., Green P.H., Global prevalence of celiac disease: systematic review and meta-analysis., *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 2018, 16, s. 823–36.
- [75] Al-Toma A., Volta U., Auricchio R., Castillejo G., Sanders D.S., Cellier C., Mulder C.J., Lundin K.E.A., European Society for the Study of Coeliac Disease (ESsCD) guideline for coeliac disease and other gluten-related disorders, *United European Gastroenterology Journal*, 2019, 7(5), s. 583–613.
- [76] Halfdanarson T.R., Litzow M.R., Murray J.A., Hematologic manifestations of celiac disease, *Blood*, 2007, 109, s. 412–421.
- [77] Pasha I., Saeed F., Sultan M.T., Batool R., Aziz M., Ahmed W., Wheat allergy and intolerance; recent updates and perspectives, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2016, 56, s. 13–24.
- [78] Biesiekierski J.R., Newnham E.D., Irving P.M., Barrett J.S., Haines M., Doecke, J.D., Gluten causes gastrointestinal symptoms in subjects without celiac disease: a double-blind randomized placebo-controlled trial, *American Journal of Gastroenterology*, 2011, 106, s. 508–514.
- [79] Christensen M.J., Eller E., Mortz C.G., Brockow K., Bindslev-Jensen C., Wheat-Dependent Cofactor-Augmented Anaphylaxis: A Prospective Study of Exercise, Aspirin, and Alcohol Efficacy as Cofactors, *Journal of Allergy and Clinical Immunology in Practice*, 2019, 7, s. 114–121.
- [80] Perlmutter D., Grain brain: the surprising truth about wheat, carbs, and sugar – your brain’s silent killers, Hachette Book Group, 2014.
- [81] Tyburski J., Babalski M., Uprawa i przetwórstwo pszenicy orkisz, CDR, Radom 2006.

- [82] Li L., Shewry P.R., Ward J.L., Phenolic acids in wheat varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen, *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 2008, 21, 56, s. 9732–9739.
- [83] Sucheta S., Rahul G., Singh D., Variation in Selenium Tolerance, Accumulation, and Growth Parameters of Different Wheat Cultivars. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2016, 47, 2, s. 203–212.
- [84] Stipanuk M.H., Caudill M.A., *The Minerals and Water*, [w:] *Biochemistry, Physiology and Molecular Aspects of Human Nutrition*, (red.) M.H. Stipanuk, M.A. Caudill, 3rd ed. Elsevier Saunders, St. Louis 2013, s. 719–72.
- [85] Brandolini A., Hidalgo A., Gabriele S., Heun M., Chemical composition of wild and fer-  
al diploid wheats and their bearing on domesticated wheats, *Journal of Cereal Science*,  
2015, 63, s. 122–127.
- [86] Caio G., Lungaro L., Segata N., Guarino M., Zoli G., Volta U., De Giorgio R., Effect of  
Gluten-Free Diet on Gut Microbiota Composition in Patients with Celiac Disease and  
Non-Celiac Gluten/Wheat Sensitivity, *Nutrients*, 2020, 19, 126, s. 1832.
- [87] Alvarez-Jubete L., Arendt E.K., Gallagher E., Nutritive value of pseudocereals and their  
increasing use as functional gluten-free ingredients, *Trends in Food Science and Tech-  
nology*, 2010, 21, s. 106–113.

## **Rola wybranych surowców roślinnych w zmniejszeniu stężenia cholesterolu we krwi**

### **The role of selected plant materials in reducing blood cholesterol levels**

Krzysztof Błęcha

Centrum Ziołolecznictwa Ojca Grzegorza Sroki, ul. Stawowa 23, 34-300 Żywiec,  
e-mail: blechakrzysztof@gmail.com

---

**Słowa kluczowe:** cholesterol, fitoterapia, badania kliniczne

**Keywords:** cholesterol, phytotherapy, clinical trials

---

### **Streszczenie**

Wysokie stężenie cholesterolu we krwi jest uważane za czynnik ryzyka rozwoju miażdżycy, która zwiększa prawdopodobieństwo zdarzeń sercowo-naczyniowych. Leczenie hipercholesterolemii często opiera się na farmakoterapii, powszechnie wdrażane są leki z grupy statyn. W redukcji poziomu cholesterolu przydatne są także surowce pochodzenia naturalnego. W niniejszym artykule dokonano przeglądu aktualnych publikacji naukowych (PubMed, Google Scholar) związanych z wpływem wybranych substancji pochodzenia naturalnego na profil lipidowy. Monakolina K, berberyna, owoc pomarańczy bergamotki i liść karczocha stanowią bezpieczną i skuteczną alternatywę dla leków z grupy statyn bądź innych, których zadaniem jest redukcja poziomu cholesterolu. Stanowiąc mogą również element wspomagający farmakoterapię hipercholesterolemii. Przegląd dostępnych danych potwierdza, że sprzyjają redukcji poziomu cholesterolu i nie wykazują istotnych działań niepożądanych.

### **Summary**

High blood cholesterol levels are generally considered as a risk factor for the development of atherosclerosis, which increases the likelihood of cardiovascular events. Treatment of hypercholesterolemia is often based on pharmacotherapy, with statin drugs commonly used. Natural raw materials are also useful in reducing cholesterol levels. A review of current scientific publications (PubMed, Google Scholar) related to the effect of selected natural substances on the lipid profile was conducted. Monacolin K, berberine, bergamot orange fruit and artichoke leaf are safe and effective alternatives to statin drugs or other drugs that reduce cholesterol levels. They can also be a supporting element in pharmacotherapy of hypercholesterolemia. A review of available data confirms that they help reduce cholesterol levels and do not show significant adverse effects.

Korzystny profil lipidowy pozwala na zmniejszenie ryzyka wystąpienia zdarzeń sercowo-naczyniowych. W normalizacji stężenia cholesterolu we krwi rekomenduje się zmianę stylu życia, w tym diety. Często konieczne okazuje się wdrożenie farmakoterapii. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie surowców pochodzenia naturalnego, których działanie może być pomocne w profilaktyce i terapii hipercholesterolemii. Dokonując przeglądu aktualnie dostępnych publikacji naukowych, skupiono się na wnioskach z badań prowadzonych na ludziach.

Cholesterol to substancja niezbędna do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Wchodzi w skład błon lipidowych, otoczek mielinowych komórek nerwowych czy żółci, jest prekursorem witaminy D i hormonów steroidowych. To tylko niektóre jego funkcje. Cholesterol jest produkowany w organizmie w wielu tkankach. Wytwarzają go głównie komórki wątrobowe, jelitowe i komórki skóry. Największa jego ilość powstaje w wątrobie. Jest to tzw. cholesterol endogenny. Cholesterol egzogenny dostarczany jest z pożywieniem. Substancja ta nie jest rozpuszczalna w surowicy krwi. Jej transport w organizmie jest możliwy dzięki łączeniu się z białkami. W postaci związków kompleksowych z białkami, tzw. lipoprotein, cholesterol jest dystrybuowany drogą krwi w organizmie [1].

W zależności od składu chemicznego lipoproteiny charakteryzuje go różna gęstość i wielkość. Najmniejszymi cząsteczkami cholesterolu są te o największej gęstości, tworzą one frakcję HDL. HDL-cholesterol zawiera od 5 do 20% cholesterolu. Frakcja lipoprotein LDL o niskiej gęstości zawiera od 45 do 55% cholesterolu. Cząsteczki LDL transportują cholesterol do tkanek organizmu, z kolei lipoproteiny HDL dostarczają tę substancję do wątroby. W zdecydowanej większości badań klinicznych i epidemiologicznych dowiedziono, że wysoki poziom cholesterolu HDL wiąże się z mniejszym ryzykiem rozwoju miażdżycy, natomiast wysoki poziom frakcji LDL jest czynnikiem sprzyjającym tej chorobie. Normy cholesterolu LDL uzależnione są od poziomu ryzyka sercowo-naczyniowego. U osób zdrowych z niskim ryzykiem za aktualną normę uważa się stężenie we krwi:

- cholesterolu całkowitego – nieprzekraczające 190 mg/dl,
- cholesterolu HDL – wyższe niż 50 mg/dl i 40 mg/dl odpowiednio u mężczyzn i kobiet,
- cholesterolu LDL – niższe niż 115 mg/dl,
- trójglicerydów – poniżej 150 mg/dl na czczo lub poniżej 175 mg/dl nie na czczo [2]. Wartości te odpowiadają rekomendacjom Europejskiego Towarzystwa Kardiologicznego opublikowanym w 2021 r. (*2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice*).

Nie tylko stężenie cholesterolu w surowicy krwi ma znaczenie w rozwoju miażdżycy, istotnym czynnikiem jest także stres oksydacyjny. Wolne rodniki odpowiadają za utlenianie LDL-cholesterolu, co jeszcze bardziej nasila proces tworzenia się

blaszki miażdżycowej. Na postępujące zwężenie światła tętnic wpływ mają zaburzenia funkcji śródbłonna naczyniowego, ogólnoustrojowy proces zapalny, wzmożona aktywacja trombocytów i nieprawidłowy przebieg procesu rozpuszczania skrzepu w naczyniach [3].

W celu zmniejszenia poziomu cholesterolu zaleca się modyfikację diety. Szczególnym ograniczeniem powinny podlegać izomery trans nienasyconych kwasów tłuszczowych, obecne w wyrobach cukierniczych i pokarmach typu fast food. Zmiana stylu życia powinna obejmować także redukcję masy ciała, wprowadzenie aktywności fizycznej, ograniczenie spożycia alkoholu.

Leczenie hipercholesterolemii często opiera się na farmakoterapii, w ramach której powszechnie wdrażane są leki z grupy statyn. Ich stosowanie podlega ograniczeniom z uwagi na przeciwwskazania i możliwe działania niepożądane, a także negatywny stosunek pacjentów do nich. Chorzy często odmawiają zażywania leków z grupy statyn ze względu na pojawiające się u 10–15% osób bóle mięśniowe [4]. Co istotne, według aktualnych doniesień nawet 21,9% pacjentów odmawia przyjmowania leków z grupy statyn [5]. Do innych leków stosowanych w hipercholesterolemii należą: ezetymib, sekwestany kwasów żółciowych, pochodne kwasu nikotynowego, pochodne kwasu fibrynowego i inhibitory proproteinowej konwertazy subtylizyny/ keksyny typu 9 [6].

W redukcji poziomu cholesterolu przydatne są także surowce pochodzenia naturalnego. Na czoło tej grupy wysuwa się monakolina K, której źródłem jest sfermentowany czerwony ryż. Substancja ta, strukturalnie tożsama z lowastatyną, tak jak inne leki z grupy statyn hamuje aktywność reduktazy 3-hydroksy-3-metylo-glutarylo-koenzymu A (HMG-CoA), a tym samym ogranicza biosyntezę cholesterolu w wątrobie. Chociaż monakolina K i lowastatyna mają taką samą strukturę, ich profile farmakokinetyczne i biodostępność są różne. Lowastatyna podawana jest jako pojedynczy składnik aktywny o 31% biodostępności u ludzi, podczas gdy monakolina K jest tylko jednym z kilku składników ekstraktu z czerwonego ryżu, które wzajemnie mogą zmieniać swój profil farmakokinetyczny [7]. Monakolina K stosowana jest w terapii już od lat 90. ubiegłego wieku. W 2011 r. Europejski Urząd do spraw Bezpieczeństwa Żywności (European Food Safety Authority, EFSA) na podstawie dowodów naukowych zatwierdził zalecenie zdrowotne dotyczące przyjmowania 10 mg monakoliny K w celu kontrolowania poziomu cholesterolu w surowicy krwi. W 2022 r. Komisja Europejska ograniczyła stosowanie monakolin w suplementach diety do 3 mg na dobę [8].

Według wniosków sformułowanych na podstawie badań klinicznych codzienne stosowanie 10 mg monakoliny K przez 6–8 tygodni może obniżyć poziom cholesterolu całkowitego w osoczu o 15–25%. Ponadto redukcji ulega HS-CRP. U pacjentów odnotowywano poprawę funkcji śródbłonna naczynio-

wego, a także redukcję poziomów apolipoproteiny B oraz metaloproteinaz macierzy pozakomórkowej 2 i 9. Monakolinę charakteryzuje dobry profil bezpieczeństwa. Podczas prób zgłaszano jedynie łagodne bóle mięśniowe. Do takich działań niepożądanych dochodziło u osób, które nie tolerowały nawet minimalnych dawek statyn [9].

W przeglądzie systematycznym obejmującym dane z lat 2012–2023 dokonano analizy 12 randomizowanych badań, w których łącznie uczestniczyło 769 osób w wieku powyżej 18 lat. Jedenaście z nich oceniono jako badania wysokiej jakości pod względem metodologicznym. Monakolinę K stosowano w ilości od 2 do 10 mg dziennie nie dłużej niż przez 12 tygodni. We wszystkich badaniach wykazano korzystny wpływ tej substancji na redukcję cholesterolu całkowitego i cholesterolu LDL niezależnie od dawki i okresu suplementacji. Tylko w trzech badaniach uczestnicy zgłosili działania niepożądane. W podsumowaniu stwierdzono, że stosowanie preparatów zawierających monakolinę K wiąże się nie tylko z redukcją cholesterolu całkowitego i trójglicerydów, ale i z obniżeniem poziomu glukozy w surowicy krwi na czczo. U pacjentów odnotowywano niższe ciśnienie tętnicze. Wszystko to wpływało na zmniejszenie śmiertelności pacjentów z zespołem metabolicznym [10].

Należy podkreślić, że nawet małe dawki monakoliny K mogą skutecznie zmniejszyć poziom cholesterolu. Podawanie badanym (18 osób) 2 mg monakoliny K dziennie przez 8 tygodni pozwoliło na obniżenie stężenia cholesterolu LDL o 0,96 mmol/l. Obserwowano także spadek cholesterolu całkowitego i apolipoproteiny B oraz zmniejszenie ciśnienia tętniczego krwi. Nie odnotowano żadnych działań niepożądanych [11].

Ekstrakt z czerwonego ryżu jako odwracalny inhibitor reduktazy HMG-CoA może być korzystnie łączony z innymi nutraceutykami w celu zwiększenia wydalania lipidów w jelitach (sterole roślinne, błonnik rozpuszczalny, probiotyki, glukomannan), zwiększenia wychwytu cholesterolu przez wątrobę (białka sojowe, berberyna) lub indukowania wydalania cholesterolu LDL (kwas chlorogenowy, białka sojowe, berberyna) [12].

Metaanaliza 14 randomizowanych badań klinicznych obejmujących dane uzyskane od 3159 osób wykazała, że połączenie ekstraktu z czerwonego ryżu i berberyny (3 mg monakoliny K i 500 mg berberyny dziennie) jest w stanie znacząco poprawić stężenie cholesterolu LDL w surowicy (obniżyć je o 23,6 mg/dl), cholesterolu HDL (podwyższyć je o 2,7 mg/dl), trójglicerydów (obniżyć je o 14,2 mg/dl) oraz glukozy (obniżyć je o 2,52 mg/dl). Z kolei włączenie do terapii ezetymibem ekstraktu z czerwonego ryżu i berberyny u pacjentów z nietolerancją statyn pozwoliło na zmniejszenie frakcji LDL o około 35% i trójglicerydów o około 25% w porównaniu z wartościami wyjściowymi [13].

Kolejna metaanaliza pięciu randomizowanych badań klinicznych z udziałem 339 uczestników wykazała, że podawanie wyłącznie owocu berberysu (*Berberis vulgaris*) również znacząco obniża poziom całkowitego cholesterolu (o 23,58 mg/dl), trójglicerydów (o 29,16 mg/dl) i cholesterolu LDL (średnio o 13,75 mg/dl), podczas gdy zmiany w poziomie cholesterolu HDL nie były istotne statystycznie [14]. Picie 200 ml soku z berberysu przez 8 tygodni pozwoliło na znaczące zmniejszenie ciśnienia krwi, stężenia glukozy we krwi na czczo oraz stężenia całkowitego cholesterolu i trójglicerydów. Wzrost aktywności peroksydazy I w grupie interwencyjnej potwierdził zdolność nutraceutyku do hamowania stresu oksydacyjnego [15].

Randomizowane, podwójnie zaślepienie badanie z udziałem 143 osób z hipercholesterolemią miało na celu ocenę skuteczności i bezpieczeństwa preparatu zawierającego monakolinę K i KA (10 mg) oraz ekstrakt z berberysu (500 mg, *Berberis aristata*) i ostropestu plamistego (105 mg, *Silybum marianum*). W grupie interwencyjnej odnotowano znaczący spadek poziomu cholesterolu całkowitego o 20,5%, trójglicerydów o 17,7% i cholesterolu LDL o 27,8%. Zaobserwowano również redukcję glukozy w surowicy krwi o 12% [16].

Próba, w której stosowano wyłącznie połączenie berberyny z ostropestem plamistym, obejmowała 102 pacjentów z dyslipidemią. Badani przyjmowali 588 mg ekstraktu z *Berberis aristata* i 105 mg ekstraktu z *Silybum marianum* 2 razy dziennie przez 3 miesiące. Następnie przerwano podawanie nutraceutyku i placebo na 2 miesiące i wznowiono terapię, którą kontynuowano przez kolejne 3 miesiące. Odnotowano zmniejszenie poziomów całkowitego cholesterolu, trójglicerydów i cholesterolu LDL oraz zwiększenie poziomu cholesterolu HDL po 3 miesiącach w porównaniu z grupą placebo. Po przerwaniu podawania nutraceutyku profil lipidowy pogorszył się i ponownie uległ poprawie w kolejnych 3 miesiącach przyjmowania go przez pacjentów [17].

Preparat o identycznym składzie stosowany był u 175 pacjentów z nietolerancją dużych dawek statyn, u których występowała dyslipidemia. Randomizowane badanie rozpoczęto od zaprzestania podawania statyn na 1 miesiąc, następnie wprowadzono połowę dawki statyn i dołączono do nich nutraceutyk, który podawano w ilości 2 tabletek dziennie przez 6 miesięcy. Zaobserwowano, że poziom całkowitego cholesterolu, cholesterolu LDL oraz trójglicerydów nie zmienił się pomimo zastąpienia połowy dawki statyn kombinacją roślinną. W grupie kontrolnej, w której stosowano tylko połowę dawki statyn, parametry lipidowe uległy pogorszeniu [18]. U pacjentów z cukrzycą typu 1 nutraceutyk pozwalał nie tylko na poprawę profilu lipidowego, ale i na zmniejszenie dawek insuliny niezbędnych do kontroli glikemii [19]. Inne badania potwierdzają korzystny wpływ berberyny u otyłych pacjentów z cukrzycą typu 1 i zespołem metabolicznym. Połączenie

berberyny z sylimaryną miało na celu zwiększenie jej biodostępności. Znacząca poprawa w badaniu obejmującym 136 osób dotyczyła stężenia glukozy we krwi na czczo i insuliny, wskaźnika oporności na insulinę, całkowitego cholesterolu, cholesterolu HDL i LDL, trójglicerydów, kwasu moczowego, BMI, obwodu talii, stosunku obwodu talii do obwodu bioder [20]. Korzystne działanie na profil lipidowy stwierdzono również dla połączenia berberyny z ekstraktem z karczocha. Po dwóch miesiącach stosowania nutraceutyku redukcja poziomu cholesterolu całkowitego w surowicy krwi osiągnęła 19%, cholesterolu LDL – 16%, a trójglicerydów – 15% [21].

W badaniach przeprowadzonych na 131 osobach, które spożywały 1280 mg standaryzowanego ekstraktu z liści karczocha przez 12 tygodni, wykazano, że cholesterol całkowity uległ redukcji o 4,2%, natomiast w grupie kontrolnej wzrósł o 1,9%. Nie zaobserwowano istotnych różnic w poziomach cholesterolu LDL i HDL oraz trójglicerydów [22]. W innym badaniu randomizowanym, podwójnie zaślepionym, przeprowadzonym na 92 osobach z nadwagą i hipercholesterolemią, pacjenci przez 8 tygodni przyjmowali 250 mg ekstraktu z liści karczocha 2 razy dziennie. Zaobserwowano znaczny wzrost poziomu cholesterolu HDL oraz zmniejszenie poziomu cholesterolu LDL i cholesterolu całkowitego [23]. W 2018 r. dokonano metaanalizy mającej na celu określenie, w jakim stopniu podawanie liści karczocha redukuje poziom cholesterolu. Po przeszukaniu kilku baz danych wybrano 9 randomizowanych badań, w których łącznie udział wzięły 702 osoby. Wykazano spadek poziomu cholesterolu całkowitego w surowicy krwi o 17,6 mg/dl, cholesterolu LDL o 14,9 mg/dl, trójglicerydów o 9,2 mg/dl. Nie zaobserwowano wpływu na stężenie cholesterolu HDL [24].

Próby kliniczne dotyczyły także zestawienia w terapii ziela karczocha z pomarańczą bergamotką. Ekstrakty z surowców były standaryzowane pod kątem zawartości polifenoli. W randomizowanym, podwójnie zaślepionym badaniu z udziałem 90 osób po 12 tygodniach podawania 700 mg ekstraktu z karczocha i 375 mg ekstraktu z bergamotki zaobserwowano zmniejszenie poziomu trójglicerydów, cholesterolu całkowitego oraz frakcji cholesterolu LDL w porównaniu do grupy kontrolnej. Obniżyły się także poziomy apolipoproteiny B 100, apolipoproteiny AL oraz HS-CRP. Zaobserwowano poprawę reaktywności śródbłonna naczyniowego. W konkluzji autorzy uznali, iż ekstrakty z pomarańczy bergamotki i karczocha są bezpieczną i skuteczną metodą leczenia szerokiego spektrum zaburzeń kardiometabolicznych [25]. Korzystne wyniki dla analogicznego połączenia surowców odnotowano w 2-miesięcznej próbie z udziałem 60 osób z nadwagą. W grupie przyjmującej 600 mg ekstraktu z pomarańczy bergamotki i 100 mg ekstraktu z karczocha obniżył się cholesterol całkowity i frakcja LDL. Zaobserwowano również zmniejszenie obwodu brzucha i tkanki tłuszczowej trzewnej [26].

Sam ekstrakt z owocu pomarańczy bergamotki w ilości 1000 mg (2 razy dziennie po 500 mg) w grupie 64 badanych powodował istotne zmniejszenie poziomu cholesterolu całkowitego i cholesterolu LDL. Odnotowano również zmniejszenie ilości tkanki tłuszczowej trzewnej w grupie interwencyjnej [27]. Warto podkreślić, że pomarańcza bergamotki nie tylko wpływa korzystnie na profil lipidowy, ale i działa antyoksydacyjnie, co sprzyja profilaktyce miażdżycy. Dwanaście artykułów zaklasyfikowanych do metaanalizy w wyniku przeglądu baz PubMed, Embase, Cochrane Library i Google Scholar potwierdza korzystne działanie bergamotki: zmniejszenie całkowitego poziomu cholesterolu o 12,3–31,3% oraz obniżenie stężenia cholesterolu LDL o 7,6–40,8 % i stężenia trójglicerydów o 11,5–39,5%. W 8 badaniach odnotowano również wzrost poziomu cholesterolu HDL [28].

Wysoki poziom cholesterolu jest powszechnie uważany za czynnik ryzyka rozwoju miażdżycy, która zwiększa prawdopodobieństwo zdarzeń sercowo-naczyniowych. Monakolina K, berberyna, owoc pomarańczy bergamotki i liść karczocha stanowią bezpieczną i skuteczną alternatywę dla leków z grupy statyn bądź innych, których zadaniem jest zmniejszenie poziomu cholesterolu. Surowce roślinne wykazują działanie plejotropowe, poza tym, że optymalizują poziom lipidów, posiadają właściwości antyoksydacyjne i przeciwzapalne, ponadto pozwalają na zmniejszenie masy ciała i poprawę procesu trawienia. Najlepiej udokumentowanym w badaniach na ludziach surowcem pochodzenia naturalnego, redukującym poziom cholesterolu, jest monakolina K. Jej efekty obserwowano nie tylko dla typowej, dotychczas zalecanej dziennej dawki równej 10 mg, ale i dla dawki mniejszej, nieprzekraczającej 3 mg. Istotą fitoterapii jest komponowanie ziół, których składniki mogą wzajemnie wzmacniać swoje działanie. Dlatego przedmiotem prób klinicznych stało się łączne stosowanie kilku hipolipemicznych surowców naturalnych. Wyniki potwierdzały skuteczność takich połączeń. Należy badać również inne surowce roślinne, których skład chemiczny sugeruje potencjalne działanie polegające na obniżaniu poziomu cholesterolu.

Surowce roślinne przedstawione w opracowaniu sprzyjają zmniejszaniu poziomu cholesterolu i nie wykazują istotnych działań niepożądanych, dlatego należy promować ich stosowanie. Jest to zgodne z rekomendacją Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) dotyczącą implementowania naturalnych metod leczenia do aktualnie przyjętych procedur medycznych [29].

*Autor pragnie podziękować za pomoc w redakcji artykułu Pani Katarzynie Zyzak – Specjaliście z Działu Rozwoju z Laboratorium Medycyny Naturalnej Bonimed oraz Pani Małgorzacie Kulig-Skrybeńce.*

## Literatura

- [1] Wnęk D., Cholesterol – funkcje, źródła, frakcje, stężenie, *Medycyna Praktyczna*, 2023, <https://www.mp.pl/pacjent/dieta/zasady/117035,cholesterol-funkcje-zrodla-frakcje-stezenie> (dostęp 1.08.2024).
- [2] Heman P., Frakcje cholesterolu i trójglicerydy – panel lipidowy, *Medycyna Praktyczna*, 2023, <https://www.mp.pl/pacjent/cholesterol/hipercholesterolemia/103924,cholesterol-i-triglicerydy-panel-lipidowy> (dostęp 1.08.2024).
- [3] Undas A., Guzik T., Szczeklik A., Miazdzyca i ryzyko sercowo-naczyniowe, [w:] *Interna Szczeklika*, (red.) P. Gajewski, *Medycyna Praktyczna*, 2015, s. 148-153.
- [4] Tyrka A., Kopeć G., Statyny, *Medycyna Praktyczna*, 2023, <https://www.mp.pl/pacjent/chorobawienkowa/leczenie/62423,statyny> (dostęp 1.08.2024).
- [5] Brown C.J., Chang L.S., Hosomura N., Malmasi S., Morrison F., Shubina M., Lan Z., Turchin A., Assessment of Sex Disparities in Nonacceptance of Statin Therapy and Low-Density Lipoprotein Cholesterol Levels Among Patients at High Cardiovascular Risk, *JAMA Network Open*, 2023, 6(2), e231047.
- [6] Leki o działaniu hipolipemicznym, [w:] *Kompendium farmakologii*, (red.) W. Janiec, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa, 2021.
- [7] Li Y.G., Zhang F., Wang Z.T., Hu Z.B., Identification and chemical profiling of monacolins in red yeast rice using high-performance liquid chromatography with photodiode array detector and mass spectrometry, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2004, 35(5), s. 1101–1112.
- [8] Rozporządzenie Komisji (UE) 2022/860 z dnia 1 czerwca 2022 r. zmieniające załącznik III do rozporządzenia (WE) nr 1925/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do monakolin ze sfermentowanego czerwonego ryżu.
- [9] Cicero A.F.G., Fogacci F., Banach M., Red Yeast Rice for Hypercholesterolemia, *Methodist DeBakey Cardiovascular Journal*, 2019, 15(3), s. 192–199.
- [10] Liasi E., Kantilafti M., Hadjimbei E., Chrysostomou S., Monacolin K supplementation in patients with hypercholesterolemia: A systematic review of clinical trials, *Semergen*, 2024, 50(4), s. 102156.
- [11] Minamizuka T., Koshizaka M., Shoji M., Yamaga M., Hayashi A., Ide K., Ide S., Kitamoto T., Sakamoto K., Hattori A., Ishikawa T., Kobayashi J., Maezawa Y., Kobayashi K., Takemoto M., Inagaki M., Endo A., Yokote K., Low dose red yeast rice with monacolin K lowers LDL cholesterol and blood pressure in Japanese with mild dyslipidemia: A multicenter, randomized trial, *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 2021, 30(3), s. 424–435.
- [12] Cicero A., Parini A., Rosticci M., Nutraceuticals and cholesterol-lowering action, *International Journal of Cardiology, Metabolic & Endocrine*, 2015, 6, s. 1–4.
- [13] Cicero A.F.G., Fogacci F., Zambon A., Red Yeast Rice for Hypercholesterolemia: JACC Focus Seminar, *Journal of the American College of Cardiology*, 2021, 77(5), s. 620–628.
- [14] Hadi A., Arab A., Ghaedi E., Rafie N., Miraghajani M., Kafeshani M., Barberry (*Berberis vulgaris* L.) is a safe approach for management of lipid parameters: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials, *Complementary Therapies in Medicine*, 2019, 43, s. 117–124.

- [15] Lazavi F, Mirmiran P, Sohrab G., Nikpayam O., Angoorani P, Hedayati M., The barberry juice effects on metabolic factors and oxidative stress in patients with type 2 diabetes: A randomized clinical trial, *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 2018, 31, s. 170–174.
- [16] Derosa G., D'Angelo A., Romano D., Maffioli P., Effects of a Combination of *Berberis aristata*, *Silybum marianum* and Monacolin on Lipid Profile in Subjects at Low Cardiovascular Risk; A Double-Blind, Randomized, Placebo-Controlled Trial, *International Journal of Molecular Science*, 2017, 18(2), s. 343.
- [17] Derosa G., Bonaventura A., Bianchi L., Romano D., D'Angelo A., Fogari E., Maffioli P., *Berberis aristata*/*Silybum marianum* fixed combination on lipid profile and insulin secretion in dyslipidemic patients, *Expert Opinion on Biological Therapy*, 2013, 13(11), s. 1495–1506.
- [18] Derosa G., Romano D., D'Angelo A., Maffioli P., *Berberis aristata*/*Silybum marianum* fixed combination (*Berberol*®) effects on lipid profile in dyslipidemic patients intolerant to statins at high dosages: A randomized, placebo-controlled, clinical trial, *Phytomedicine*, 2015, 22(2), s. 231–237.
- [19] Derosa G., D'Angelo A., Maffioli P., The role of a fixed *Berberis aristata*/*Silybum marianum* combination in the treatment of type 1 diabetes mellitus, *Clinical Nutrition*, 2016, 35(5), s. 1091–1095.
- [20] Guarino G., Strollo F., Carbone L., Della Corte T., Letizia M., Marino G., Gentile S., Bioimpedance analysis, metabolic effects and safety of the association *Berberis aristata*/*Silybum marianum*: a 52-week double-blind, placebo-controlled study in obese patients with type 2 diabetes, *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents*, 2017, 31(2), s. 495–502.
- [21] Cicero A.F.G., Fogacci F., Bove M., Giovannini M., Veronesi M., Borghi C., Short-Term Effects of Dry Extracts of *Artichoke* and *Berberis* in Hypercholesterolemic Patients Without Cardiovascular Disease, *The American Journal of Cardiology*, 2019, 123(4), s. 588–591.
- [22] Bundy R., Walker A.F., Middleton R.W., Wallis C., Simpson H.C., *Artichoke* leaf extract (*Cynara scolymus*) reduces plasma cholesterol in otherwise healthy hypercholesterolemic adults: A randomized, double blind placebo controlled trial, *Phytomedicine*, 2008, 15(9), s. 668–675.
- [23] Rondanelli M., Giacosa A., Opizzi A., Faliva M.A., Sala P., Perna S., Bombardelli E., Beneficial effects of *artichoke* leaf extract supplementation on increasing HDL-cholesterol in subjects with primary mild hypercholesterolaemia: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2013, 64(1), s. 7–15.
- [24] Sahebkar A., Pirro M., Banach M., Mikhailidis D.P., Atkin S.L., Cicero A.F.G., Lipid-lowering activity of *artichoke* extracts: A systematic review and meta-analysis, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018, 58(15), s. 2549–2556.
- [25] Fogacci F., Giovannini M., Di Micoli A., Fiorini G., Grandi E., Borghi C., Cicero A.F.G., A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Trial on the Effect

- of a Dietary Supplement Containing Dry Artichoke and Bergamot Extracts on Metabolic and Vascular Risk Factors in Individuals with Suboptimal Cholesterol Levels, *Nutrients*, 2024, 16(11), s. 1587.
- [26] Riva A., Petrangolini G., Allegrini P., Perna S., Giacosa A., Peroni G., Faliva M.A., Naso M., Rondanelli M., Artichoke and Bergamot Phytosome Alliance: A Randomized Double Blind Clinical Trial in Mild Hypercholesterolemia, *Nutrients*, 2021, 14(1), s. 108.
- [27] Rondanelli M., Peroni G., Riva A., Petrangolini G., Allegrini P., Fazio T., Bernardinelli L., Naso M., Faliva M.A., Tartara A., Gasparri C., Infantino V., Perna S., Bergamot phytosome improved visceral fat and plasma lipid profiles in overweight and obese class I subject with mild hypercholesterolemia: A randomized placebo controlled trial, *Phytotherapy Research*, 2021, 35(4), s. 2045–2056.
- [28] Lamiquiz-Moneo I., Giné-González J., Alisente S., Bea A.M., Pérez-Calahorra S., Marco-Benedí V., Baila-Rueda L., Jarauta E., Cenarro A., Civeira F., Mateo-Gallego R., Effect of bergamot on lipid profile in humans: A systematic review; *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 60(18), s. 3133–3143.
- [29] WHO Traditional Medicine Strategy 2014–2023, World Health Organization 2013, <https://www.who.int/publications/i/item/9789241506096> (dostęp 1.08.2024).

## Kofeina jako kluczowy składnik suplementów diety dla sportowców

### Caffeine as a key ingredient in dietary supplements for athletes

Klaudia Bernat<sup>1</sup>, Iwona Mystkowska<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Akademia Bialska im. Jana Pawła II, Regionalne Centrum Badań EKO-AGRO-TECH, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska

<sup>2</sup> Akademia Bialska im. Jana Pawła II, Wydział Nauk o Zdrowiu, Zakład Dietetyki, ul. Sidorska 95/97, 21-500 Biała Podlaska

---

**Słowa kluczowe:** suplementy diety, kofeina, suplementy dla sportowców

**Keywords:** dietary supplements, caffeine, supplements for athletes

---

### Streszczenie

W ostatnich latach rośnie zainteresowanie zdrowym stylem życia i atrakcyjną sylwetką, co wiąże się z większym wykorzystywaniem suplementów diety, które mają wspierać osiągnięcie tych celów. Suplementy diety są stosowane w celu uzupełniania codziennej diety i dostarczania organizmowi niezbędnych składników odżywczych, co jest szczególnie istotne w przypadku intensywnego trybu życia sportowców. Według klasyfikacji Australijskiego Instytutu Sportu (AIS) suplementy diety dzielą się na cztery grupy: zalecane, do rozważenia, niekorzystne oraz zabronione. Przemysł suplementów diety dynamicznie rośnie, oferując szeroki wybór produktów, w tym te z kofeiną, które wykazują różne właściwości i w różny sposób wpływają na ich konsumentów – w zależności od intensywności ćwiczeń oraz indywidualnych reakcji organizmu. Kofeina jest jednym z najczęściej stosowanych składników, wspomagającym wydolność fizyczną, poprawiającym koncentrację i opóźniającym moment, w którym odczuwalne jest zmęczenie. Jest ona również wykorzystywana w procesie odchudzania, gdyż wspomaga metabolizm i spalanie tłuszczu. Jednak nadmierne jej spożycie może prowadzić do problemów zdrowotnych, takich jak zaburzenia snu czy niepokój. Badania nad zawartością kofeiny w suplementach wskazują, że między produktami mogą występować różnice w jej ilości, nawet jeśli nie są one podane na etykiecie. Wartości te są różne w zależności od składników produktów, co podkreśla potrzebę dokładniejszego oznaczania zawartości kofeiny na opakowaniach, aby konsument mógł świadomie kontrolować jej spożycie.

### Summary

In recent years, there has been a growing interest in a healthy lifestyle and an attractive physique, which is associated with an increased use of dietary supplements that support the achievement of these goals. Dietary supplements are used to complement the daily diet

and provide the body with essential nutrients, particularly in the context of the intense lifestyle of athletes. According to the classification of the Australian Institute of Sport (AIS), dietary supplements are divided into four groups: recommended, to be considered, harmful, and prohibited. The dietary supplement industry is rapidly growing, offering a wide range of products, including those containing caffeine, which have various properties depending on the intensity of exercise and individual responses of the body. Caffeine is one of the most commonly used ingredients that enhances physical performance, improves concentration, and delays fatigue. Caffeine is also used in the weight loss process, supporting metabolism and fat burning. However, excessive caffeine intake can lead to health problems such as sleep disorders or anxiety. Studies on the caffeine content in supplements indicate that there may be differences in its amount between products, even if it is not stated on the label. These values vary depending on the ingredients, highlighting the need for more accurate labeling of caffeine content on packaging so that consumers can consciously control their intake

## **Suplementy diety**

W ostatnich latach zauważalny jest wzrost zainteresowania zdrowym stylem życia oraz dbałością o atrakcyjną sylwetkę. Aby osiągnąć te cele, kluczowe są nie tylko regularne ćwiczenia, ale także odpowiednio zbilansowana dieta. Współczesny tryb życia, często związany z intensywną pracą zawodową, może nie sprzyjać przygotowywaniu zdrowych posiłków, co skłania sportowców do korzystania z suplementów diety. Produkty te mają na celu dostarczenie organizmowi skoncentrowanej energii oraz niezbędnych składników odżywczych, a także innych substancji bioaktywnych.

Według definicji suplement diety jest to produkt, który spożywany jest celowo i w ustalony sposób jako uzupełnienie codziennej diety, a służyć ma uzyskaniu określonych korzyści dla zdrowia i stanu funkcjonalnego organizmu [1, 2]. Suplementy diety to preparaty zawierające substancje, które mogą uzupełniać codzienną dietę, szczególnie w zakresie witamin, związków mineralnych i innych składników odżywczych, których podaż z pożywienia może być niewystarczająca. Zazwyczaj mają formę skoncentrowanych tabletek, kapsułek, proszków lub płynów, co umożliwia precyzyjne dawkowanie. Suplementy diety często dostępne są w aptekach, co może budzić skojarzenia z lekami. Warto jednak podkreślić, że w Unii Europejskiej nie są one klasyfikowane jako produkty lecznicze. W Polsce za dopuszczenie suplementów diety do obrotu odpowiada Główny Inspektorat Sanitarny, podczas gdy Główny Inspektorat Farmaceutyczny oraz Urząd Rejestracji Leków zajmują się wyłącznie lekami [3–5]. Suplementy diety mogą dostarczać wysokie stężenia składników odżywczych lub innych substancji bioaktywnych, mających na celu uzupełnienie codziennej diety lub wpływanie na procesy fizjologiczne organizmu. Należy

jednak pamiętać, że nie mogą być one traktowane jako leki i nie mogą zawierać twierdzeń dotyczących zapobiegania, diagnozowania czy leczenia chorób u ludzi. Ponieważ suplementy diety nie podlegają szczegółowym procedurom oceny przed wprowadzeniem na rynek, nie wymagają wcześniejszej akceptacji ani weryfikacji w zakresie bezpieczeństwa. Z tego względu producenci powinni przestrzegać wysokich standardów jakości podczas całego procesu produkcji, pakowania, etykietowania i przechowywania tych produktów [6].

W środowisku specjalistów zajmujących się żywieniem sportowców uznana jest klasyfikacja Australijskiego Instytutu Sportu (Australian Institute of Sport – AIS), który na podstawie analizy badań naukowych podzielił suplementy na cztery grupy [7]:

- A. Suplementy zalecane sportowcom w określonych sytuacjach ze względu na udowodnione działanie wspomagające. Do grupy tej należy:
- Żywność sportowa, czyli specjalistyczne produkty stosowane w celu zapewnienia wygodnego źródła składników odżywczych, gdy spożycie zwykłych produktów spożywczych jest niewygodne.  
Przykłady to: napoje izotoniczne, żele sportowe, słodczyce sportowe, batony energetyczne, suplementy elektrolitowe, izolowane suplementy białkowe oraz suplementy z mieszanymi makroskładnikami (batony, proszki, napoje posiłkowe).
  - Suplementy medyczne, czyli suplementy stosowane w celu zapobiegania lub leczenia problemów zdrowotnych, w tym rozpoznanych niedoborów składników odżywczych.  
Przykłady to: żelazo, wapń, multiwitamina, probiotyki, witamina D oraz cynk.
  - Suplementy wspomagające wydolność, czyli suplementy lub ich składniki składniki, które mogą wspierać lub poprawiać wyniki sportowe.  
Przykłady to: kofeina, β-alanina, azotany pokarmowe/ sok z buraka, wodorowęglan sodu, kreatyna oraz glicerol.
- B. Suplementy, których podawanie sportowcom należy rozważyć w aspekcie wyników badań naukowych. Do tej grupy należą:
- Polifenole w żywności, czyli obecne w niej związki, które mogą wykazywać aktywność biologiczną, w tym właściwości antyoksydacyjne i przeciwzapalne. Przykładem są polifenole pochodzenia roślinnego.
  - Antyoksydanty – związki występujące często w żywności, które chronią organizm przed uszkodzeniami oksydacyjnymi spowodowanymi przez wolne rodniki.  
Przykładem jest witamina C.
  - Substancje smakowe, czyli związki pochodzenia spożywczego, które oddziałują z receptorami w jamie ustnej/jelicie, aktywując centralny układ nerwowy.

Przykłady to: mentol, sok z kiszonych ogórków, chinina.

- Inne związki, które wzbudzają zainteresowanie ze względu na potencjalne korzyści dla funkcjonowania ciała, jego integralności i/lub metabolizmu.

Przykłady to: wsparcie dla kolagenu, karnityna, suplementy ketonowe, oleje rybne, kurkumina oraz N-acetylocysteina.

- C. Suplementy, co do których istnieją poważne przesłanki naukowe, że ich przyjmowanie nie przynosi sportowcom korzyści i raczej nie powinny być przez nich stosowane.

Przykłady to: magnez, kwas alfa-liponowy, HMB, BCAA/leucyna, fosforany, prebiotyki, witamina E oraz tyrozyna.

- D. Suplementy, których sportowcy nie powinni przyjmować ze względu na to, że albo zawierają substancje zabronione, albo istnieje duże ryzyko, iż są zanieczyszczone środkami dopingującymi. Do tej grupy należą: stymulanty, prohormony i suplementy wspomagające hormony, środki stymulujące wydzielanie hormonu wzrostu, selektywne modulatory receptora androgenowego (SARMs), modulatory metabolizmu i inne, niezalecane przez Światową Agencję Antydopingową [7].

Lista substancji w poszczególnych grupach może się zmieniać w miarę postępu badań naukowych dotyczących tych suplementów.

Przemysł suplementów diety to dynamicznie rozwijający się rynek, oferujący szeroką gamę produktów [8]. Rosnące ich spożycie jest ściśle związane z marketingowymi zapewnieniami, które obiecują poprawę ogólnego stanu zdrowia, zwiększenie poziomu energii oraz wspomaganie procesu odchudzania. Do tego trendu również przyczynia się rosnąca troska o kondycję fizyczną i wyniki sportowe.

Tscholl i wsp. [9] przeprowadzili szczegółową analizę stosowania leków oraz suplementów diety przez sportowców podczas kontroli antydopingowych, które miały miejsce w ramach mistrzostw świata w lekkoatletyce. W badaniu oceniono 3887 kwestionariuszy, które zostały zebrane podczas tych zawodów. Wyniki analizy wykazały, że średnio każdy sportowiec przyjmował 1,7 suplementu diety dziennie [9].

Goston i Correia [10] wykonali badanie ankietowe, które miało na celu ocenę rozpowszechnienia stosowania suplementów diety wśród osób ćwiczących na 50 siłowniach w Brazyli oraz analizę czynników wpływających na ich używanie. Wyniki pokazały, że suplementy przyjmowało 36,8% uczestników, przy czym stosowanie ich związane było z płcią, wiekiem i okresem uprawiania sportu. Mężczyźni zazywali więcej suplementów niż kobiety, a osoby młodsze i ćwiczące dłużej niż rok częściej sięgały po suplementy niż pozostali. Najczęściej stosowane były suplementy białkowe i aminokwasy (58% uczestników), a także multiwitaminy, związki mineralne i środki fitoterapeutyczne. Ponadto 43,5% osób przyjmowało jednocześnie dwa lub więcej produktów [10].

## Suplementy diety z kofeiną

Wśród sportowców jednymi z najczęściej wybieranych produktów stały się suplementy przedtreningowe. Suplementy przedtreningowe to takie, które stosuje się przed treningiem w celu poprawy wydolności fizycznej. Zawierają one zwykle mieszankę składników, takich jak aminokwasy rozgałęzione, cytrulina, tauryna, kreatyna oraz przede wszystkim kofeina [11]. Suplementy zawierające kofeinę są szczególnie ważne z uwagi na swoje właściwości poprawiające wydolność fizyczną, które mogą być różne w zależności od rodzaju i intensywności ćwiczeń oraz indywidualnej reakcji organizmu na kofeinę. Kofeina, uważana powszechnie za substancję bezpieczną, ma udowodnioną zdolność do poprawy wydolności, czasu reakcji, wytrzymałości mięśniowej, siły izometrycznej, mocy anaerobowej, opóźnienia zmęczenia oraz wspomaganie wzrostu masy mięśniowej [8, 11, 12].

Zgodnie z wytycznymi Australijskiego Instytutu Sportu (Australian Institute of Sport – AIS), kofeina zalicza się do grupy A, co oznacza, że jest to suplement, który w określonych sytuacjach może być szczególnie korzystny dla sportowców, dzięki udowodnionemu pozytywnemu wpływowi na wydolność organizmu [7].

Kofeina to naturalna substancja psychoaktywna, która należy do grupy alkaloidów purynowych. Jest organicznym związkiem chemicznym o wzorze sumarycznym  $C_8H_{10}N_4O_2$  [13]. Występuje w różnych roślinach, takich jak kawa, herbata, kakao, guarana czy yerba mate. Jest obecna w wielu napojach, w tym w kawie, herbacie, napojach energetycznych oraz napojach gazowanych [14]. Kofeina to naturalny stymulant ośrodkowego układu nerwowego, który jest szybko wchłaniany przez organizm. Dzięki temu, że rozpuszcza się w tłuszczach, łatwo przekracza barierę krew–mózg. Działając jako antagonist receptoru adenozyiny, kofeina zwiększa uwalnianie neuroprzekazników, takich jak acetylocholina i noradrenalina, co prowadzi do wzrostu pobudzenia i zmniejszenia uczucia zmęczenia. Ponadto pełni ona rolę środka erogogenicznego, wspomagając mobilizację kwasów tłuszczowych i zmieniając sposób wykorzystania energii na taki, podczas którego następuje spalanie tłuszczów zamiast glikogenu. Dzięki rozprzestrzenianiu się w układzie centralnym i obwodowym kofeina może wpływać na różne mechanizmy poprawiające wydajność organizmu. W przeciwieństwie do innych substancji, takich jak  $\beta$ -alanina, kofeina cieszy się szerokim uznaniem jako skuteczny środek wspomagający osiągnięcie lepszych wyników, szczególnie w sportach wymagających wysiłku aerobowego [15–17].

Suplementy diety i napoje zawierające kofeinę mają na celu poprawę energii, wydajności fizycznej oraz koncentracji. Po spożyciu kofeina szybko wchłania się do organizmu i trafia do różnych tkanek. Po około 30–60 min od spożycia jej stężenie we krwi osiąga najwyższy poziom. Czas utrzymywania się kofeiny w organizmie jest różny, a zależy od dawki i indywidualnych cech metabolizmu. Zazwyczaj jej

okres półtrwania wynosi od 2 do 10 godzin, a niewielka część kofeiny wydalana jest z moczem w postaci niezmienionej. Kofeina jest metabolizowana przede wszystkim w wątrobie, a jej główne produkty przemiany to paraksantyna, teobromina i teofilina. W jej metabolizmie mogą brać udział także mózg i nerki. Na tempo metabolizmu kofeiny wpływają różne czynniki, takie jak płeć, genetyka, dieta, aktywność fizyczna, częstotliwość jej spożywania i stosowanie leków. Na przykład ćwiczenia mogą przyspieszyć metabolizm kofeiny, podczas gdy alkohol czy choroby wątroby mogą go spowolnić. Istnieją różne opinie na temat bezpieczeństwa łączenia napojów z kofeiną z alkoholem. Po 3–6 godzinach od spożycia stężenie kofeiny we krwi zazwyczaj spada o 50–75% [6].

### **Historia suplementów diety z kofeiną**

Problemy związane z zawartością kofeiny w suplementach diety zaczęły być zauważane w latach 70. XX w., kiedy to syntetyczne kombinacje kofeiny, efedryny i fenylopropanolaminy stały się popularne jako środki wspomagające odchudzanie i zwiększające energię. Zyskały one złą sławę „sobowtórów amfetaminy”, gdyż wiązały się z licznymi przypadkami poważnych problemów zdrowotnych, takich jak zawały serca i udary, szczególnie wśród młodych dorosłych. W odpowiedzi na te zagrożenia w 1982 r. Agencja Żywności i Leków (ang. Food and Drug Administration – FDA) zakazała sprzedaży tych substancji bez recepty. W 1994 r. ustawa określająca ramy regulacyjne dotyczące bezpieczeństwa, etykietowania i reklamowania suplementów diety (DSHEA Dietary Supplement Health and Education Act) wprowadziła nową kategorię produktów – suplementy diety zawierające kofeinę. W tym czasie pojawiły się preparaty z efedryną, kofeiną i innymi roślinnymi ekstraktami, które działały jak naturalne „sobowtóry amfetaminy”. Dzięki lukom prawnym, które pozwalały na wykorzystywanie roślinnych źródeł kofeiny i efedryny, suplementy te były dostępne na rynku, mimo wcześniejszych zakazów FDA dotyczących syntetycznych kombinacji tych substancji.

Z czasem pojawiły się produkty wolne od efedryny, ale nadal zawierające wysokie dawki kofeiny, oraz inne substancje aktywne, co prowadziło do nowych obaw o bezpieczeństwo. Produkty te były reklamowane jako środki wspomagające odchudzanie i zwiększające energię, ale brak precyzyjnych informacji o zawartości kofeiny na etykietach stwarzał ryzyko nieoczekiwanych efektów ubocznych. Równocześnie z rozwojem suplementów diety wolnych od efedryny na rynku zaczęły pojawiać się napoje energetyczne, które szybko zyskały popularność, zwłaszcza wśród młodych ludzi. Zawierały one wysokie dawki kofeiny oraz inne składniki aktywne, co zwiększyło liczbę zgłoszeń o negatywnych skutkach zdrowotnych. Choć napoje energetyczne różnią się od tradycyjnych gazowanych napojów kofeinowych, ich nadmier-

ne spożycie, szczególnie w połączeniu z alkoholem, budzi obawy wśród specjalistów w zakresie zdrowia. Wzrost spożycia kofeiny, związany z popularnością suplementów diety i napojów energetycznych, doprowadził do powstania tzw. kultury kofeiny. Pomimo szerokich badań nad kofeiną wciąż niewiele wiadomo o tolerancji i skuteczności produktów zawierających ten organiczny związek chemiczny w połączeniu z innymi składnikami roślinnymi [12, 18].

### **Korzystne działanie kofeiny w suplementach diety**

Kofeina jest substancją, która działa na organizm pobudzająco, poprawiając czujność, koncentrację oraz redukując uczucie zmęczenia i senności. Dzięki tym właściwościom jest szeroko stosowana w celu poprawy wydajności umysłowej i fizycznej, co czyni ją przedmiotem zainteresowania osób trenujących, chcących zwiększyć swoje wyniki sportowe. Kofeina jest również obecna w wielu suplementach diety, gdyż wspomaga metabolizm i może przyczynić się do procesu odchudzania. Ponadto może zmniejszać apetyt i wspierać termogenezę, co prowadzi do większego wydatku energetycznego w organizmie za sprawą zwiększonej produkcji ciepła. Te efekty mogą wspomagać spalanie tłuszczu i redukcję wagi. Należy jednak pamiętać, że nadmierne spożycie kofeiny może wywołać skutki negatywne, takie jak problemy ze snem, niepokój, rozdrażnienie czy zaburzenia pracy serca [11, 15, 19].

Umiarkowane spożycie kofeiny może w wielu przypadkach przejściowo podnieść ciśnienie krwi i odruchowo obniżyć częstotliwość rytmu serca. Jednakże długotrwałe jej spożywanie może prowadzić do rozwoju tolerancji farmakologicznej na niektóre efekty jej działania na ośrodkowy układ nerwowy. Organizm może przyzwyczaić się do jej skutków, zwłaszcza tych związanych z ośrodkowym układem nerwowym, takich jak pobudzenie, zwiększona czujność czy poprawa nastroju. Tolerancja oznacza, że po jakimś czasie organizm przestaje reagować na nie w tak silny sposób jak na początku – w rezultacie dana osoba musi spożywać większe ilości kofeiny, aby uzyskać podobny efekt. Jednakże w odniesieniu do wpływu kofeiny na układ sercowo-naczyniowy (np. przyspieszenie akcji serca, podwyższenie ciśnienia krwi) tolerancja nie rozwija się w taki sam sposób. Oznacza to, że mimo długotrwałego spożywania kofeiny jej wpływ na serce i naczynia krwionośne może pozostać taki sam, efekt ten nie słabnie w miarę upływu czasu [18, 20].

### **Zbyt wysokie dawki kofeiny w suplementach diety**

Badania wskazują, że niskie dawki kofeiny (około 3 mg/kg masy ciała, do 200 mg) są bezpieczne i mogą pozytywnie wpłynąć na wyniki sportowe, jeśli zostaną przyjęte 10–40 min przed wysiłkiem fizycznym [21, 22]. Taką ilość kofeiny można

łatwo uzyskać poprzez wypicie jednej lub dwóch filiżanek kawy bądź skorzystanie z suplementów zawierających kofeinę. Warto jednak pamiętać, że zgodnie z wytycznymi Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (European Food Safety Authority – EFSA) [23] bezpieczna maksymalna dzienna dawka kofeiny dla dorosłych osób w populacji ogólnej wynosi 400 mg. Warto również zaznaczyć, że większe ilości kofeiny mogą prowadzić do niekorzystnych skutków zdrowotnych, takich jak tachykardia, podwyższone ciśnienie krwi, drażliwość, nerwowość oraz stany lękowe. Przy spożyciu bardzo wysokich dawek (ponad 2000 mg) mogą wystąpić poważne reakcje, takie jak wymioty, groźne nadciśnienie, arytmie, drgawki, a w skrajnych przypadkach nawet śmierć [18, 23, 24]. Niemniej jednak osoby wrażliwe na kofeinę mogą doświadczać niepożądanych reakcji po przyjęciu mniejszych ilości [18].

W artykule autorstwa Eichnera [25] przedstawione zostały przypadki śmiertelnego przedawkowania kofeiny. Opisano sekcję zwłok 18-letniego ucznia, która wykazała wysoki poziom kofeiny we krwi (powyżej 70 mg/l), co doprowadziło do arytmii serca i drgawek. Znaleziono także torebkę z proszkiem kofeiny, który mógł być stosowany jako suplement przedtreningowy. Podobnie było w przypadku 39-letniego mężczyzny, który zmarł po zażyciu dużej ilości kofeiny, co zostało potwierdzone przez poziom 350 mg/l we krwi. Przykłady te pokazują, jak niebezpieczne może być nadmierne spożycie tej substancji, szczególnie w postaci skoncentrowanych suplementów, takich jak proszki kofeinowe. Eichner zwraca uwagę na rosnące zagrożenie związane z tymi produktami, których niewłaściwe dawkowanie może prowadzić do tragicznych konsekwencji zdrowotnych [25].

Przypadki śmiertelnego przedawkowania kofeiny opisują również Kerrigan i Lindsey [26]. Na przykład taki: kobieta z historią nadużywania narkotyków miała we krwi 192 mg/l kofeiny. Kofeina może być stosowana do rozdrabniania lub rozcieńczania narkotyków. Autopsja nie ujawniła innych nieprawidłowości i jej zgon mógł być związany z zatruciem kofeiną. Z kolei mężczyzna z chorobą cukrzycową i otyłością zmarł po przedawkowaniu kofeiny (567 mg/l). Wysokie stężenie kofeiny wskazuje na niewłaściwe użycie suplementu diety. Zgon nastąpił po zatruciu kofeiną, w wyniku drgawek i zapaści sercowo-naczyniowej. W obu przypadkach głównym czynnikiem prowadzącym do śmierci była kofeina [26].

## **Sposoby oznaczania kofeiny w suplementach diety**

Suplementy diety zawierające kofeinę mogą przynieść korzyści, takie jak poprawa wydolności fizycznej i umysłowej. Jednak ich stosowanie wiąże się również z ryzykiem, zwłaszcza przy nadmiernym spożyciu, które może prowadzić do negatywnych skutków zdrowotnych. Dlatego kluczowe jest spożywanie kofeiny z umiarem i zgod-

nie z zaleceniami producentów. Warto także pamiętać, że reakcja organizmu na kofeinę może być różna w zależności od indywidualnej wrażliwości. Z tego względu różnie zapotrzebowanie na odpowiednie metody analityczne, które pozwalają ocenić jakość, skuteczność i bezpieczeństwo suplementów diety, szczególnie pod kątem zawartości kofeiny.

Andrews i wsp. [27] w ramach badań przeprowadzili analizę próbek suplementów diety, które zawierały kofeinę. Produkty zostały wybrane z różnych kanałów sprzedaży, takich jak sklepy ze zdrową żywnością, supermarkety, sprzedaż internetowa oraz sprzedaż prowadzona przez kluby fitness. Do analizy wybrano 75 próbek suplementów w różnych formach (tabletki, kapsułki), które były następnie poddane badaniu laboratoryjnemu pod kątem zawartości kofeiny. Analizowano je przy pomocy wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC), a także przy użyciu standardowych materiałów referencyjnych z NIST (Narodowy Instytut Standaryzacji i Technologii). Zastosowano metodyczne podejście, by uzyskać dokładne i powtarzalne wyniki. Głównym celem było uzyskanie rzetelnych danych na temat zawartości kofeiny w suplementach, które mogą wpływać na zdrowie konsumentów.

W badaniu przeanalizowano zawartość kofeiny w suplementach diety, które zostały podzielone na dwie grupy: produkty z podaną ilością kofeiny na etykiecie oraz produkty, w których poziom kofeiny nie został określony. Wyniki pokazały, że średni poziom kofeiny w suplementach, które zawierały informację na etykiecie, wynosił 351 mg na dzień, a dla produktów, które nie miały tej informacji, średni poziom kofeiny wynosił 142 mg na dzień. Ponadto przeprowadzono porównanie rzeczywistego poziomu kofeiny z tym podanym na etykiecie. Okazało się, że 89% analizowanych produktów miało poziom kofeiny, który mieścił się w granicach  $\pm 16\%$  wartości podanej na etykiecie. W trzech przypadkach różnice były znaczne, gdyż wynosiły od  $-56\%$  do  $+73\%$ . Analiza składników na etykietach, takich jak guarana, yerba mate czy kofeina, wskazała, że produkty, które zawierały te informacje, miały wyższy poziom kofeiny niż te, na opakowaniu których nie podano tych składników. Szczególnie produkty z guaraną, choć nie zawsze zawierające kofeinę, miały wyższy poziom kofeiny niż produkty, które nie miały żadnych wskazówek dotyczących składników roślinnych. Wnioski z badania sugerują, że wiele suplementów diety zawiera kofeinę, ale nie zawsze producent informuje o tym na etykiecie, nawet jeśli jej ilość jest znaczna. Dodatkowo produkty zawierające roślinne źródła kofeiny, takie jak guarana, mogą zawierać jej znaczne ilości, co nie zawsze jest uwzględnione w oznaczeniu na opakowaniu. Większość produktów miała poziom kofeiny zbliżony do podanego na etykiecie, ale były również wyjątki, które wykazywały większe różnice. Badanie podkreśla potrzebę bardziej precyzyjnego oznaczania zawartości kofeiny na etykietach suplementów diety, aby konsument mógł świadomie kontrolować jej spożycie [27].

W ostatnich latach pojawiły się także przenośne systemy chromatografii cieczowej LC, które zyskują na popularności, zwłaszcza w laboratoriach, ponieważ pozwalają na szybszą analizę i zapewniają mobilność. Soto i wsp. [28] opracowali metodę analizy kofeiny w suplementach diety za pomocą miniaturowego, przenośnego systemu chromatografii cieczowej. W swoim badaniu skupili się na optymalizacji warunków analizy oraz testowaniu tej technologii w kontekście produktów pochodzenia roślinnego, co stanowi innowacyjne podejście w tej dziedzinie. Okazało się, że w zoptymalizowanych warunkach metody laboratoryjne miały wyższą czułość, z granicami wykrywalności (LOD) wynoszącymi 0,01 i 0,003 µg/mL, podczas gdy przenośne urządzenie LC miało LOD na poziomie 1 µg/mL. Mimo to metoda przenośnego LC miała zalety – była szybsza (czas analizy poniżej 15 min) i prostsza w użyciu. Proponowana metoda zapewniała dobrą liniowość w zakresie 1–20 µg/mL i umożliwiała dokładne oznaczanie kofeiny, nawet w produktach wytworzonych z pozbawionego kofeiny ekstraktu zielonej kawy. Wyniki uzyskane za pomocą przenośnego LC były porównywalne z tymi otrzymanymi przy użyciu metod laboratoryjnych, a ich precyzja wynosiła 2–14%. Metoda ta mogłaby stanowić szybszą i prostszą alternatywę dla oceny jakości suplementów diety pod kątem zawartości kofeiny [28].

Podsumowując, suplementy diety stały się popularnym środkiem wspomagającym zdrowie i wyniki sportowe, co było efektem rosnącego zainteresowania aktywnym stylem życia. Choć stanowią one pomocne uzupełnienie diety, ich stosowanie powinno być przemyślane, zwłaszcza w przypadku suplementów zawierających kofeinę, której nadmiar może prowadzić do niekorzystnych skutków zdrowotnych. Warto również pamiętać, że suplementy nie zastępują zbilansowanej diety i regularnych ćwiczeń, a ich używanie powinno być dostosowane do indywidualnych potrzeb organizmu oraz zaleceń specjalistów. Konieczne jest przestrzeganie norm bezpieczeństwa, aby suplementacja nie stała się zagrożeniem dla zdrowia.

## Literatura

- [1] Frączek B., Krzywański J., Krysztofiak H., *Dietetyka sportowa*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2019.
- [2] Ustawa o bezpieczeństwie żywności i żywienia z 25 sierpnia 2006 r. (Dz.U. ze zm.).
- [3] Powiatowa Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Piotrkowie Trybunalskim (bdw), Wymagania przy wprowadzaniu suplementów diety do obrotu, <https://www.gov.pl/web/psse-piotrkow-trybunalski/wymagania-przy-wprowadzaniu-suplementow-diety-do-obrotu> (dostęp: 10.02.2025).
- [4] Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Biobójczych (bdw), Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Biobójczych, <https://www.gov.pl/web/urpl> (dostęp: 30.01.2025).

- [5] Główny Inspektorat Farmaceutyczny (bdw), Główny Inspektorat Farmaceutyczny, <https://www.gov.pl/web/gif/glowny-inspektorat-farmaceutyczny> (dostęp: 25.01.2025).
- [6] Bessada S.M.F., Alves R.C., Oliveira M.B.P.P., Caffeine-based food supplements and beverages: Trends of consumption for performance purposes and safety concerns, *Food Research International*, 2018, 109, s. 310–319.
- [7] Australian Institute Of Sport (AIS) position statement: Supplements and sports foods in high performance sport, 2022.
- [8] Stanišić S., Dragičević N., Kilibarda N., Živković J., Caffeine content in dietary supplements: Hidden risks and implications for public health, *Journal of Food and Nutrition Research*, 2024, 63(3), s. 283–288.
- [9] Tscholl P., Alonso J. M., Dollé G., Junge A., Dvorak J., The use of drugs and nutritional supplements in top-level track and field athletes, *Drug and Nutritional Supplement Use in Athletics*, 2010, 38(1), s. 133–140.
- [10] Goston J.L., Correia M.I.T.D., Intake of nutritional supplements among people exercising in gyms and influencing factors, *Nutrition*, 2010, 26(6), s. 604–611.
- [11] Brandao da Costa B.R., El Haddad L.P., Freitas B.T., Marinho P.A., De Martinis B.S., Pre-workout supplements marketed in Brazil: Caffeine quantification and caffeine daily intake assessment, *Drug Testing and Analysis*, 2022, 14(3), s. 567–577.
- [12] Neves D.B. da J., Caldas E.D., Determination of caffeine and identification of undeclared substances in dietary supplements and caffeine dietary exposure assessment, *Food and Chemical Toxicology*, 2017, 105, s. 194–202.
- [13] Patil P.N., Caffeine in various samples and their analysis with HPLC – a review, *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 2012, 16(2), s. 76–83.
- [14] Kalisz O., Studzińska S., Bocian S.A., Determination of the caffeine content in dietary supplements according to green chemistry principles, *Foods*, 2023, 12(13), s. 2474.
- [15] Murphy M.J., Rushing B.R., Sumner S.J., Hackney A.C., Dietary supplements for athletic performance in women: Beta-alanine, caffeine, and nitrate, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2022, 32(4), s. 311–323.
- [16] Temple J.L., Bernard C., Lipshultz S.E., Czachor J.D., Westphal J.A., Mestre M.A., The Safety of Ingested Caffeine: A Comprehensive Review, *Frontiers in Psychiatry*, 2017, 8, s. 80.
- [17] de Paula J., Farah A., Caffeine consumption through coffee: Content in the beverage, metabolism, health benefits and risks, *Beverages*, 2019, 5(2), 37.
- [18] Gurley B.J., Steelman S.C., Thomas S.L., Multi-ingredient, caffeine-containing dietary supplements: History, safety, and efficacy, *Clinical Therapeutics*, 2015, 37(2), s. 275–301.
- [19] Tsvetkova D.D., Klisurov R.C., Pankova S.A., Zlatkov B.A., Investigation of some pharmacological effects of caffeine and taurine in food supplements, *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2014, 4(1–1), s. 18–23.
- [20] Riksen N.P., Smith P., Rongen G.A., The cardiovascular effects of methylxanthines, *Handbook of Experimental Pharmacology*, 2011, 200, s. 413–437.

- [21] Spriet L.L., Exercise and sport performance with low doses of caffeine, *Sports Medicine*, 2014, 44, s. 175–184.
- [22] Campbell B., Wilborn C., La Bounty P., Taylor L., Nelson M.T., Greenwood M., Ziegenfuss T.N., Lopez H.L., Hoffman J.R., Stout J.R., Schmitz S., Collins R., Kalman D.S., Antonio J., Kreider R.B., International Society of Sports Nutrition position stand: Energy drinks, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2013, 10(1), 1.
- [23] EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the safety of caffeine, *EFSA Journal*, 2015, 13(5), s. 4102.
- [24] Bishop D., Dietary supplements and team-sport performance, *Sports Medicine*, 2010, 40(12), s. 995–1017.
- [25] Eichner E.R., Fatal caffeine overdose and other risks from dietary supplements, *Current Sports Medicine Reports*, 2014, 13(6), s. 353–354.
- [26] Kerrigan S., Lindsey T., Fatal caffeine overdose: Two case reports, *Forensic Science International*, 2005, 153(1), s. 67–69.
- [27] Andrews K.W., Schweitzer A., Zhao C., Holden J.M., Roseland J.M., Brandt M., Dwyer J.T., Picciano M.F., Saldanha L.G., Fisher K.D., Yetley E., Betz J.M., Douglass L., The caffeine contents of dietary supplements commonly purchased in the US: Analysis of 53 products with caffeine-containing ingredients, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2007, 389(1), s. 231–239.
- [28] Soto C., Ponce-Rodriguez H.D., Verdu-Andres J., Herraes-Hernandez R., Campíns-Falco P., Determination of caffeine in dietary supplements by miniaturized portable liquid chromatography, *Journal of Chromatography A*, 2022, 1664, s. 462770.

## **Analiza preparatów zawierających kofeinę przeznaczonych dla sportowców**

### **Analysis of preparations containing caffeine for use by athletes**

Alicja Chrzanowska, Julia Makulec, Katarzyna Paradowska

Zakład Chemii Organicznej i Fizycznej, Wydział Farmaceutyczny Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, ul. Banacha 1, 02-097 Warszawa, e-mail: katarzyna.paradowska@wum.edu.pl

---

**Słowa kluczowe:** kofeina, suplementy dla sportowców, właściwości antyoksydacyjne  
**Keywords:** caffeine, supplements for athletes, antioxidant properties

---

### **Streszczenie**

Kofeina to popularny i powszechny składnik diety. Codziennie spożywana jest przez 90% populacji osób dorosłych na świecie. Jej dzienne spożycie w europejskich krajach kształtuje się na poziomie od 280 do 490 mg. Najważniejszym źródłem kofeiny jest kawa. Jednakże w ostatnich czasach asortyment produktów zawierających kofeinę został bardzo poszerzony – przede wszystkim o leki i suplementy diety, co powoduje powszechne i niekontrolowane jej spożycie. Ważną kwestią jest również kontrola zawartości substancji czynnej w suplementach diety, będąca kluczem do bezpiecznego ich stosowania. Celem badań było oznaczenie zawartości kofeiny i całkowitej zawartości polifenoli (TP) w popularnych produktach przeznaczonych dla sportowców oraz wykazanie zgodności ich składu z tym deklarowanym przez producenta. Do analizy wybrano pięć produktów o różnej formulacji: napój, shoty i żele. Analiza tych preparatów wykazała, że formulacja produktów jest zróżnicowana, co miało istotny wpływ na dobór metody badawczej ich składu. Zgodność rzeczywistej zawartości substancji aktywnej – kofeiny z deklarowaną przez producenta stwierdzono w przypadku trzech z pięciu analizowanych preparatów. Preparaty różniły się także całkowitą zawartością polifenoli, co korelowało z obecnością w nich dodatkowych składników, takich jak ekstrakt z nasion guarany.

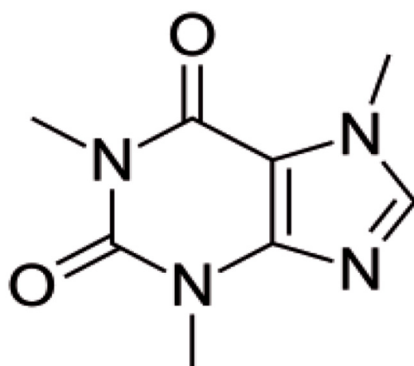
### **Summary**

Caffeine is a popular and common ingredient in the human diet. A recent study has revealed that 90% of the global adult population consumes caffeine on a daily basis. In European countries, the daily intake of caffeine ranges from 280 to 490 milligrams. The predominant source of caffeine in the global diet is coffee. However, there has been a significant expansion in the range of products containing caffeine, including medicines and dietary supplements,

which has led to widespread and uncontrolled consumption. A salient issue pertains to the regulation of active ingredient content in dietary supplements, a pivotal aspect in ensuring their safe usage. The objective of this study was to ascertain the caffeine and total polyphenol (TP) content in widely consumed products aimed at athletes, with a view to demonstrating adherence to the composition declared by the manufacturer. A selection of five products with different formulations was analysed: a drink, shots and gels. The analysis of these preparations demonstrated that the choice of method of composition testing is significantly impacted by the different formulations of the products. Compliance with the content of the active substance (caffeine) as stated by the manufacturer was obtained in three out of the five preparations analysed. The preparations also differed in their total polyphenol content, which correlated with the composition of preparations with additional ingredients such as guarana seed extract.

## Wstęp

Wielu sportowców by zmaksymalizować efektywność treningu, sięga po suplementy diety oraz przeznaczone specjalnie dla nich produkty, np. żywność wzbogaconą o konkretne składniki odżywcze. Główną intencją stosujących je osób jest wysycenie organizmu mikro- i makroelementami, co pozwala uzyskać lepsze wyniki w sporcie oraz minimalizuje ryzyko niedoborów wynikających z intensywnego wysiłku fizycznego. Niektóre z tego typu substancji mają za zadanie wywołać ściśle określony efekt, inne cieszą się dobrą sławą ze względu na szerokie spektrum działań wpływających korzystnie na organizm sportowca. Do tej drugiej grupy substancji należy kofeina, czyli 1,3,7-trimetylo-3,7-dihydro-1H-puryno-2,6-dion (Rysunek 1).



**Rysunek 1.** Wzór chemiczny kofeiny – 1,3,7-trimetylo-3,7-dihydro-1H-puryno-2,6-dionu.  
**Figure 1.** Chemical formula of caffeine – 1,3,7-trimethyl-3,7-dihydro-1H-purine-2,6-dione.

Źródło: opracowanie własne.

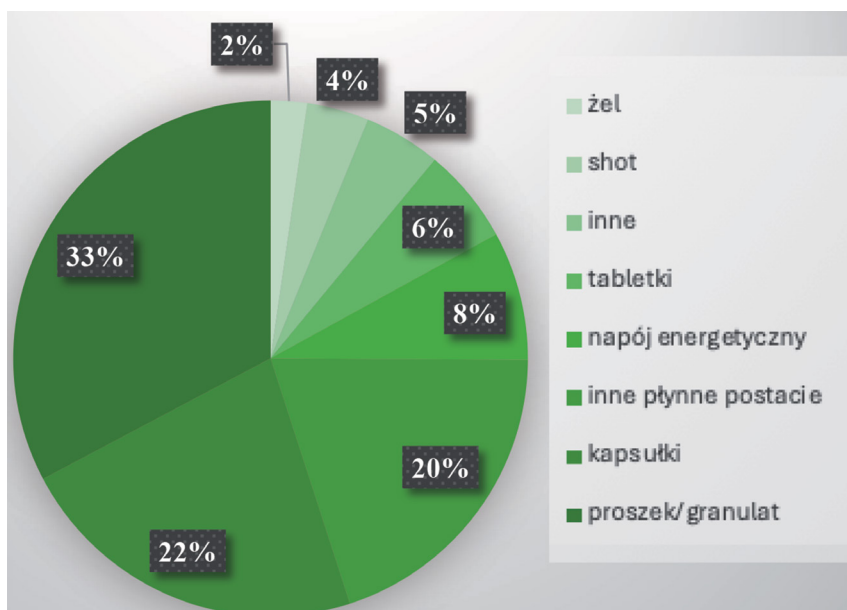
Jest ona naturalnym alkaloidem z grupy purynopochodnych. Jak wszystkie substancje z tej rodziny, posiada dwa człony strukturalne: pirymidynowy i imidazolowy. Jest to związek biheterocykliczny, posiadający łącznie cztery atomy azotu. Jest on słabą zasadą i w chemicznie czystej postaci występuje jako biały, bezwonny proszek o miłąkiej lub delikatnie krystalicznej strukturze. Dobrze rozpuszcza się w wodzie, szczególnie cieplej, lecz trudno – w etanolu 96% i innych rozpuszczalnikach organicznych [1].

W stanie naturalnym kofeina znajduje się w surowcach roślinnych takich jak: liść herbaty (łac. *folium theae*) (zawartość do 4,5% kofeiny), zarodek kola (łac. *embryo colae*) (do 2,5%), nasiona kawy (łac. *semen coffeae*) (do 2,5%), ekstrakt z nasion guarany (łac. *extractum guaranae*) (do 5%), liście mate (łac. *folium mate*) (do 1,8%) [2]. Ten popularny alkaloid purynowy jest regularnie przyjmowany przez większość dorosłej populacji świata podczas picia kawy. Aż 75% Amerykanów powyżej 20. roku życia deklaruje regularne picie tego napoju [3], podczas gdy Europejczycy odpowiadają za jedną trzecią światowego spożycia kawy [4]. Konsumenci kawy cenią kofeinę za jej działanie pobudzające. Sportowcy, którzy również doceniają kofeinę za jej stymulujący wpływ na organizm i z powodzeniem stosują ją w tym celu przed treningiem, dobrze wiedzą, że potencjał drzemiający w tej naturalnej metyloksantynie jest znacznie większy.

Na dzień 11 lutego 2025 r. do Głównego Inspektora Sanitarnego zgłoszono 3415 suplementów diety, w składzie których występuje kofeina. Wybrane przez nas do badań formy produktów stanowią nieznaczny procent tych występujących na polskim rynku (żele – 2%, shoty – 4%, napoje energetyczne – 8%). Największy odsetek suplementów z kofeiną stanowią granulaty lub proszki, łącznie z takimi do sporządzenia roztworów pitnych. Jeszcze mniej na rynku można znaleźć produktów typu: lizak, guma do żucia, susz, żelki, które na wykresie przedstawiającym procentowy udział w rynku poszczególnych form preparatów (Rysunek 2) zostały ujęte pod nazwą „inne”. Te preparaty, w przeciwieństwie do wybranych do analizy, stanowią pojedyncze pozycje. Taki stan znacząco utrudnia przeprowadzenie badań reprezentatywnych lub takich, które nie cieszą się zbyt dużym zainteresowaniem konsumentów [5].

Analizie poddane zostały innowacyjne formy suplementów szczególnie popularne wśród sportowców – ze względu na wygodę ich stosowania i brak potrzeby specjalnego przygotowywania ich do spożycia.

Należy zauważyć, iż coraz większe uznanie zyskują shoty, czyli napoje zawierające funkcjonalne składniki w małej objętości, a co za tym idzie w skoncentrowanej dawce, dzięki czemu są jeszcze wygodniejsze w stosowaniu od tradycyjnych napojów energetycznych.



**Rysunek 2.** Udział procentowy wybranych postaci suplementów dostępnych na polskim rynku.  
**Figure 2.** Percentage share of selected supplement forms available on the Polish market.

Źródło: własne na podstawie [5].

Kofeina jest antagonistą receptorów adenozynowych umiejscowionych w tkance mięśniowej, nerwowej i tłuszczowej, blokującym działanie adenozyny. W miocytach mięśni szkieletowych oraz mięśnia sercowego powoduje uwrażliwienie receptorów dopaminergicznych [6] i wapniowych indukowanych wapniem oraz hamuje aktywność fosfodiesterazy [7]. Skutkuje to zwiększonym uwalnianiem do cytoplazmy komórkowej jonów wapniowych zmagazynowanych wcześniej w strukturach siateczki śródplazmatycznej. Mechanizm ten zwiększa siłę mięśniową oraz tolerancję miocytów na wysiłek, umożliwiając wydłużenie czasu aktywności fizycznej. Ponadto kofeina powoduje rozszerzenie oskrzeli i naczyń krwionośnych [6], co usprawnia transport tlenu do mięśni i tym samym wydłuża ich pracę w trybie tlnowym [8], wzmagając działanie ergogeniczne (poprawiające wydolność fizyczną). Dodatkowo kofeina pobudza zwoje autonomiczne serca.

Wpływ kofeiny na neurony również wiąże się z uwalnianiem wapnia wewnątrzkomórkowego. Łączy się ona z receptorami rianodynowymi, powodując uwolnienie z retikulum endoplazmatycznego jonów  $Ca^{2+}$ , które odpowiadają za wydłużenie hiperpolaryzacji w neuronach piramidowych znajdujących się w korze ruchowej mózgu [7]. Ponadto uwrażliwienie receptorów dopaminergicznych skutkuje wyrzutem dopaminy, podlegającym zarówno mechanizmowi zależnemu, jak i niezależnemu od glutaminianu [9]. Nie tylko kofeina, ale również jej metabolity o budowie

metyloksantyn oddziałują na neurony kory mózgowej poprzez zwiększenie stężenia wybranych neurotransmiterów, np. serotoniny, adrenaliny czy noradrenaliny [9]. Efektami synergicznego działania wszystkich mechanizmów oddziaływania kofeiny na układ nerwowy jest ogólne pobudzenie psychoruchowe, podniesienie koncentracji, polepszenie nastroju i większa tolerancja na zmęczenie.

Blokując receptory dla adenozyliny w komórkach tkanki tłuszczowej, kofeina powoduje nasilenie lipolizy, a tym samym doprowadza do pojawiania się we krwi większej ilości wolnych kwasów tłuszczowych [10]. Z badań przeprowadzonych na mysich adipocytach (komórkach magazynujących tłuszcz) 3T3-L1 wynika, że kofeina nie ma wpływu na proces dojrzewania preadipocytów (komórek prekursorskich mogących różnicować się w adipocyty) 3T3-L1. Jednakże ten sam eksperyment dowiódł, że alkaloidy purynowe przeciwdziałają gromadzeniu się w dojrzałych adipocytach lipidów oraz zapobiegają wychytowi glukozy propagowanemu przez insulinę [11]. Obserwacje te pozwalają na konkluzję, że kofeina ma właściwości wspomagające zmniejszenie tkanki tłuszczowej oraz redukcję wagi, a nawet może przeciwdziałać rozwojowi cukrzycy typu 2 [10].

Biorąc pod uwagę wyżej wymienione korzystne działanie kofeiny i jej metabolitów na ludzki organizm, nie dziwi, iż jest tak chętnie stosowana przez sportowców. Tym bardziej że kofeina uważana jest przez amerykańską Agencję do spraw Żywności i Leków (FDA) oraz Europejski Urząd do spraw Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) za bezpieczną i przy rozsądnym stosowaniu nawet za prozdrowotną [10, 12]. Obydwie te organizacje kładą nacisk na rozgraniczenie pomiędzy kofeiną pochodzenia naturalnego a tą, którą wzbogaca się żywność i stosuje w suplementach diety. Jednocześnie uważają za kwestię alarmującą fakt, że zawartość kofeiny w tabletkach, kapsułkach, żelach i napojach energetyzujących nie jest prawnie uregulowana i wynosi średnio 40–100 mg [13]. Długotrwałe stosowanie takich produktów może wpłynąć na rozwinięcie się uzależnienia i gwałtowne zaprzestanie podawania kofeiny, nawet we wczesnej fazie nałogu, spowoduje objawy odstawienia, takie jak zmęczenie, zawroty i bóle głowy oraz nudności [14]. Ponadto nawet u osób nieuzależnionych, przyjmujących regularnie ten alkaloid, nagłe odstawienie spowoduje uczucie znużenia i zmniejszą tolerancję na wysiłek. Dodatkowo jego zbyt duże spożycie może powodować nerwowość i drżenie kończyn [10]. Dawka kofeiny, po przekroczeniu której mogą pojawić się działania niepożądane, zależy od wielu czynników, w tym predyspozycji genetycznych do jej metabolizowania, jak również masy ciała, jednak za górną granicę bezpiecznej ilości przyjmuje się 300–500 mg/dobę [15].

Wykorzystywana do produkcji suplementów kofeina pochodzenia naturalnego różni się od jej syntetycznego odpowiednika tym, że mogą dodatkowo być w niej obecne polifenole. Związki te szeroko występują w wielu produktach ro-

ślinnych, a ze względu na swoją specyficzną budowę posiadają silne właściwości antyoksydacyjne. Zawarte w nich liczne grupy hydroksylowe bardzo łatwo ulegają utlenieniu wolnymi rodnikami tlenu, co chroni organizm przed rozwojem wielu stanów patologicznych, takich jak zmiany nowotworowe czy choroby układu krążenia [16].

## Część eksperymentalna

Analizie poddano pięć produktów kupionych w polskich sklepach spożywczych. W Tabeli 1 przedstawiono formę produktu wraz z opisem podanym przez producenta. Preparaty stanowiły: dwa żele energetyczne, dwa shoty energetyczne i jeden napój energetyczny. Wszystkie wyżej wymienione pozycje należą do grupy produktów specjalnego przeznaczenia dla sportowców.

**Tabela 1.** Forma preparatu oraz opis składu deklarowanego przez producenta.

**Table. 1.** Formulation of the preparation and description of the composition declared by the manufacturer.

| Nr próbki | Forma preparatu | Opis   |
|-----------|-----------------|--|
| I         | Napój           | Gazowany napój zawierający ekstrakt z zielonej herbaty (ang. Matcha), taurynę, N-acetyl-L-tyrozynę, naturalną kofeinę (100 mg) oraz witaminę B6 i magnez. Zawiera substancje słodzące: sukralozę oraz acesulfam K. Nie zawiera cukrów oraz ma niską wartość energetyczną – 3 kcal w 330 ml |
| II        | Żel             | Zawiera 21 g węglowodanów (maltodekstryna), 75 mg kofeiny i substancje słodzące (acesulfam-K, sukraloza)   |
| III       | Żel             | Zawiera 50 mg kofeiny pochodzącej z ekstraktu z guarany, węglowodany: maltodekstryny, fruktozę, elektrolity: magnez, sód, potas. Ponadto ekstrakt z nasion guarany (łac. <i>Paullinia cupana Kunth.</i> ), wit. B1   |
| IV        | Shot            | Zawiera 200 mg kofeiny pochodzącej z guarany i yerba mate, sok z białych winogron, sok pomarańczowy, substancje słodzące: cyklaminiany, acesulfam K, sukralozę, sacharyny  |
| V         | Shot            | Zawiera 200 mg kofeiny, syrop cukru inwertowanego, ekstrakt z nasion guarany (łac. <i>Paullinia cupana Kunth.</i> ), taurynę, L-tyrozynę, glukuronolakton, witaminy: wit. C, niacynę, wit. B6, kwas pantotenowy, wit. B12  |

Źródło: opracowanie własne.

### Oznaczenie zawartości kofeiny

W celu określenia zawartości kofeiny w produktach najpierw sporządzono krzywą wzorcową dla kofeiny. W tym celu z roztworu wzorcowego o stężeniu 0,2 mg/ml wykonano następujące rozcieńczenia: 5-krotne (0,04 mg/ml), 10-krot-

ne (0,02 mg/ml), 15-krotne (0,0133 mg/ml), 20-krotne (0,01 mg/ml) i 25-krotne (0,008 mg/ml). Do pomiarów zastosowano metodę spektrofotometryczną. Absorbancje mierzono przy długości fali  $\lambda = 273$  nm, charakterystycznej dla tej substancji. Równanie wyznaczonej krzywej wynosi:  $y = 45,913x + 0,0412$ . Analogiczne pomiary przeprowadzono dla pięciu analizowanych preparatów, a wyniki zostały umieszczone w Tabeli 2.

### **Oznaczenie całkowitej zawartości polifenoli (TP)**

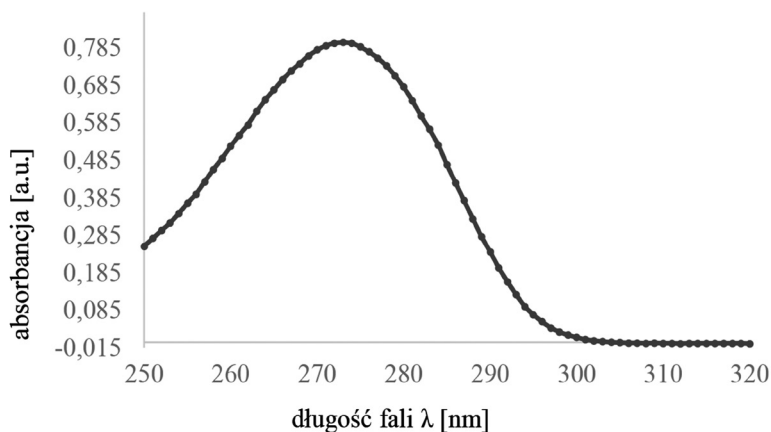
Oznaczenie wykonano metodą Folina-Ciocalteu (F-C) wraz z modyfikacjami oraz metodą spektrofotometryczną (spektrofotometr UV-Vis Evolution 60). Technika ta bazuje na reakcji barwnej pomiędzy odczynnikiem F-C a związkami fenolowymi. Odczynnik F-C zawiera: dwuwodny molibdenian sodowy, dwuwodny wolframian sodowy, siarczan litu, wodę bromową i stężone kwasy: solny i fosforowy. W efekcie połączenia tych składników powstaje heteropolifosfwolframian molibdenu, który zredukowany jest przez tworzący się w środowisku alkalicznym anion fenolowy do związku odpowiedzialnego za niebieskie zabarwienie roztworu. Maksimum absorpcji dla związku powstałego na skutek reakcji redoks obserwujemy przy długości fali  $\lambda = 765$  nm. Jako standardu użyto wodnego roztworu kwasu galusowego o stężeniu 0,5 g/100 ml (roztwór wyjściowy). Obliczenia zostały wykonane na podstawie równania otrzymanego dla krzywej wzorcowej wykonanej dla kwasu galusowego (równanie:  $y = 0,011x - 0,0032$ , gdzie  $y$  oznacza absorbancję próbki, zaś  $x$  – stężenie kwasu galusowego [mg/l]). Współczynnik determinacji wyniósł 0,99. Dla każdej próbki wykonano pomiar trzykrotnie.

Wyniki całkowitej zawartości polifenoli przedstawiono w mg ekwiwalentu kwasu galusowego na 100 ml próbki z uwzględnieniem odchylenia standardowego (Tabela 3).

## **Wyniki i dyskusja**

Jedną z najpowszechniej stosowanych klasycznych, instrumentalnych metod analitycznych jest spektroskopia UV-Vis (ang. *ultraviolet and visual light spectroscopy*). Jest to metoda absorpcyjna wykorzystująca promieniowanie w zakresie fal od 100 do 800 nm (zakres nadfioletu – UV oraz promieniowania widzialnego – Vis). Metoda ta pozwala zidentyfikować substancję oraz przeprowadzić oznaczanie zawartości substancji absorbujących w rutynowej analizie laboratoryjnej, a także określić strukturę cząsteczek [17]. Porównanie widm analizowanych próbek 1–5 wskazuje, że badane preparaty zawierają te same lub bardzo podobne pod względem zakresu absorpcji cząsteczki, jednakże w różnym stężeniu. Znaczący wpływ na lokalizację maksimum pasma absorpcji ma rozpuszczalnik oraz pH badanego roztworu [18].

Kofeina (biały, drobnokrystaliczny proszek  $C_8H_{10}N_4O_2$ ) w wodzie wykazuje jedno charakterystyczne pasmo absorpcyjne w zakresie 243–302 nm (Rysunek 3).



**Rysunek 3.** Widmo UV-Vis kofeiny z maksimum dla  $\lambda = 273$  nm, absorbancja = 0,8.

**Figure 3.** The ultraviolet-visible (UV-Vis) spectrum of caffeine exhibits a maximum at a wavelength of 273 nm, with an optical density of 0.8.

Źródło: opracowanie własne.

Analizowane suplementy diety różniły się liczbą składników. Według wskazań producenta wszystkie próbki zawierały kofeinę (maksimum absorpcji przy 273 nm), co potwierdziły oznaczenia, niemniej jednak w poszczególnych próbkach różna była jej zawartość. Preparatem o najmniejszej liczbie składników aktywnych jest próbka nr 2. Wszystkie pozostałe próbki zawierały – oprócz kofeiny i substancji słodzących – dodatkowe składniki, tj. ekstrakty roślinne, witaminy, składniki mineralne czy aminokwasy.

Wyniki analizy zawartości kofeiny przeliczone na 1 g preparatu zostały przedstawione w Tabeli 2 wraz z deklarowaną przez producenta ilością kofeiny w preparacie.

**Tabela 2.** Zawartość kofeiny oznaczona w 1 g preparatu w porównaniu do zawartości deklarowanej przez producenta.

**Table 2.** Caffeine content per 1 g of the preparation compared to the content declared by the manufacturer.

| Nr próbki | Zawartość kofeiny [mg] w 1 g preparatu | Deklarowana zawartość kofeiny [mg] w 1 g preparatu |
|-----------|--|--|
| I         | 0,32                                   | 0,31   |
| II        | 1,07                                   | 1,05   |
| III       | 2,63                                   | 1,40   |
| IV        | 9,14                                   | 6,90   |
| V         | 11,26                                  | 7,93   |

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na obecność ekstraktów roślinnych w analizowanych produktach interesujące było oznaczenie całkowitej zawartości związków o charakterze polifenolowym (TP). Wyniki tej analizy przeliczone na ekwiwalent kwasu galusowego przedstawiono w Tabeli 3.

**Tabela 3.** Całkowita zawartość polifenoli [mg GAE/100 ml] w badanych preparatach.  
**Table 3.** Total polyphenol content [mg GAE/100 ml] in the tested preparations.

| Preparat | TP<br>[mg GAE*100 ml <sup>-1</sup> ] |
|----------|--------------------------------------|
| I        | 7,91 ± 0,02                          |
| II       | 3,34 ± 0,01                          |
| III      | 41,25 ± 0,04                         |
| IV       | 4368,73 ± 3,64                       |
| V        | 75,25 ± 0,04                         |

Źródło: opracowanie własne.

Najmniejszą zawartość polifenoli otrzymano dla próbki II (3,34 ± 0,01 mg GAE/100 ml), która oprócz substancji słodzących i 75 mg kofeiny (według deklaracji producenta) nie zawierała żadnych dodatkowych składników. Największa zawartość związków polifenolowych została oznaczona dla próbki IV (4368,73 ± 3,64 mg GAE/100 ml). Preparat ten obok 200 mg kofeiny, a więc zawartości 2.5-krotnie większej niż zawartość kofeiny w próbce II, zawierał również sok z białych winogron i sok pomarańczowy, co zdecydowanie odzwierciedla się w całkowitej zawartości polifenoli. Porównując skład preparatów oraz TP, można wnioskować, iż wartość TP nie zależy od dawki kofeiny, ale głównie od obecności mieszanin pochodzenia roślinnego.

Wyniki analizy próbek pod kątem występowania w nich polifenoli wykazały największą zawartość tej grupy związków w shotach. Pod tym względem zdecydowanie dominuje próbka IV (shot), w której za taki stan odpowiadają szczególnie bogate w polifenole: sok z białych winogron (z koncentratu) i sok pomarańczowy (z koncentratu), a także ekstrakt z herbaty mate (*Ilex paraguariensis*) oraz ekstrakt z nasion guarany (*Paullinia cupana*). W próbce III (żel) oraz próbce V (shot) źródłem polifenoli jest ekstrakt z nasion guarany. Natomiast próbka I (napój) zawiera tylko ekstrakt z zielonej herbaty – Matcha, który może stanowić źródło związków polifenolowych. Zgodnie z przewidywaniami najmniej polifenoli było w produkcie II, który według producenta nie zawierał żadnych naturalnych ekstraktów. Analiza ta pozwala oszacować dodatkowo właściwości antyoksydacyjne preparatów i plasują się one w kolejności wzrostowej następująco: II, I, III, V i IV.

Wymienione we wstępie zalety produktów zawierających kofeinę, przeznaczonych dla sportowców, są powodem ich częstego stosowania właśnie przez tę grupę. Preferowane są przede wszystkim napoje energetyczne, które zapewniają działanie energetyzujące, związane z obecnością nie tylko alkaloidów purynowych, ale i polifenoli. Powszechnie sądzi się również, że pomagają one nawodnić organizm, co jest bardzo istotne podczas długotrwałego, intensywnego wysiłku. O ile wynikający z obecności substancji pobudzających efekt energetyzujący jest działaniem rzeczywiście występującym, to jednak rzadko spotyka się napoje energetyczne, które mogą faktycznie nawadniać. Częściej wykazują one działanie odwadniające, dlatego zaleca się stosowanie dodatkowych napojów izotonicznych, których głównym zadaniem jest uzupełnienie wody oraz mikro- i makroelementów.

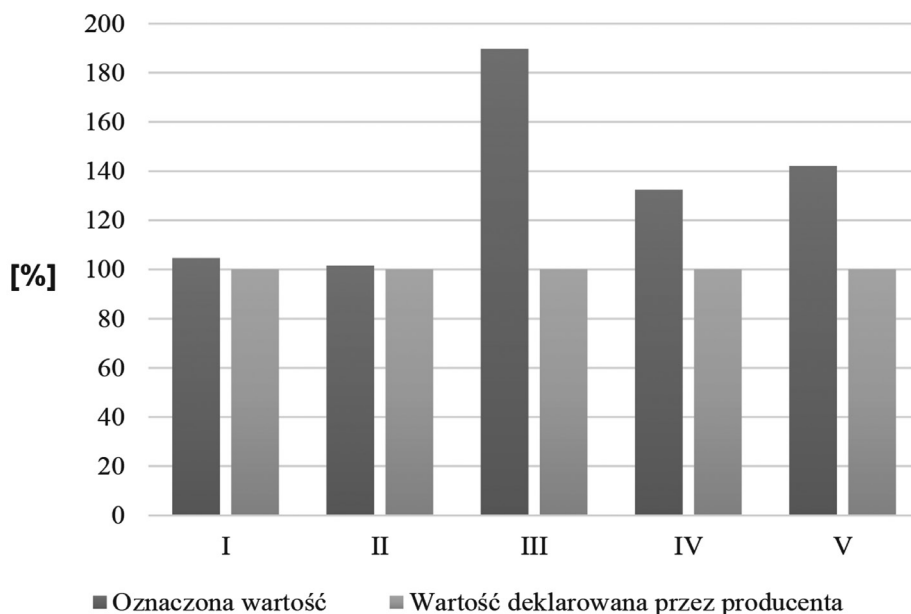
Na przykład w próbce **I** zawartość kofeiny to około 0,32 mg na 1 g produktu, co daje łączną ilość 104,54 mg kofeiny w opakowaniu. Aby nie przekroczyć bezpiecznej dawki, zalecane jest wypicie dziennie nie więcej niż 3 puszek tego napoju, gdy jest to jedyne źródło kofeiny danego dnia. W każdym innym przypadku należy dokonać korekty ilości, jaką można wypić, biorąc pod uwagę przyjętą już kofeinę. Przykładowo jedna filiżanka espresso (25–35 ml) zawiera około 65 mg kofeiny. Należy również uważać na ilość spożytych tego samego dnia kawowych słodczy. Na przykład jeden popularny cukierek kawowy może zawierać aż 25 mg kofeiny. Dla preparatu **I** niewielka różnica pomiędzy oznaczoną przez nas zawartością kofeiny a zawartością deklarowaną przez producenta może wynikać z nieuwzględnienia przez niego kofeiny obecnej w ekstrakcie z zielonej herbaty.

Stosowanie żeli (próbki **II** i **III**) wskazane jest przede wszystkim podczas długotrwałego i wzmożonego wysiłku fizycznego. Są one zalecane w takich dyscyplinach sportowych jak: bieg w maratonie, intensywna jazda na rowerze, triathlon, wioślarstwo, kajakarstwo, pływanie, narciarstwo biegowe czy sporty drużynowe. Producenci zalecają przyjęcie porcji żelu przed rozpoczęciem aktywności a następnie spożywanie kolejnych porcji w jej trakcie co około 40 min. Biorąc pod uwagę zawartość kofeiny w jednym opakowaniu (na ogół 40–70 mg), należy stwierdzić, iż zgodnie z tą wytyczną maksymalna długość wysiłku wspomaganego tego typu preparatami (żelami) nie powinna przekraczać 4 godzin, wykluczwszy inne źródła kofeiny. Opakowanie preparatu **II** według naszych badań zawiera ilość kofeiny (76,15 mg) zbliżoną do deklarowanej przez producenta (75 mg), więc zgodnie z podaną wyżej zasadą wysiłek z użyciem tego suplementu mógłby trwać 2 h 40 min.

Shoty energetyczne, które stanowią trzeci rodzaj analizowanych preparatów, są wskazane do spożycia tuż przed treningiem w celu zwiększenia jego efektywności poprzez poprawę koncentracji, wydolności czy też przez pobudzenie organizmu. Są to opakowania jednodawkowe – całą ich zawartość należy spożyć podczas jednego

podania, co oznacza, że jednorazowo przyjmuje się np. w preparacie **IV** 264,8 mg kofeiny (ilość deklarowana przez producenta – 200 mg) oraz w przypadku preparatu **V** – 283,9 mg (ilość deklarowana przez producenta – 200 mg). Objętość obydwu preparatów wynosi 25 ml. Tak skoncentrowana dawka niewątpliwie stanowi zastrzyk energii po około godzinie treningu (zapewniając osiągnięcie maksymalnego stężenia kofeiny we krwi). Efekt pobudzenia powinien utrzymywać się przez około 2 h (czas półtrwania). Jest to oczywiście uzależnione od typu metabolicznego osoby zażywającej shot (od tego, czy jest ona wolnym, czy szybkim metabolizerym) [14]. Ze względu na wysoką zawartość kofeiny nie zalecamy przyjmowania więcej niż jednego opakowania shota dziennie. Dodatkowo przy spożywaniu teiny z innych źródeł należy zachować się szczególną ostrożność, gdyż istnieje możliwość nieświadomego przekroczenia bezpiecznej dawki.

W przypadku preparatu nr **III** (żelu) wyznaczona zawartość kofeiny jest prawie dwukrotnie większa niż ta deklarowana przez producenta. Zawyżenie tej wartości jest wynikiem formulacji suplementu, która sprawiła, iż próbka charakteryzowała się dużą lepkością, jak również brakiem klarowności. W tym przypadku zastosowanie metody spektrofotometrycznej do oznaczenia zawartości substancji nie jest odpowiednie, gdyż brak klarowności zaburza pomiar (Rysunek 4).



**Rysunek 4.** Porównanie deklarowanej oraz oznaczonej w badaniu zawartości kofeiny [%] w analizowanych produktach.

**Figure 4.** Comparison of caffeine content [%] in the analysed products.

Źródło: opracowanie własne.

W 2007 r. w czasopiśmie „Analytical and Bioanalytical Chemistry” opublikowano wyniki analizy 53 suplementów diety dostępnych w USA. Produkty wybierano według kryterium obecności ekstraktów pochodzących z roślin, w których naturalnie występuje kofeina. By zapewnić wysoki poziom reprezentatywności próby, badania przeprowadzono na dwóch lub trzech partiach (pomijając przypadki, gdy zakup większej ilości partii nie był możliwy z przyczyn niezależnych od badaczy). Wyniki pomiarów z zastosowaniem wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) wykazały, że poziom kofeiny w 25 z 28 produktów (liczba produktów z etykietką umożliwiającą porównanie zawartości deklarowanej z badaną) średnio różnił się od opublikowanego przez producenta o około 16%, wskazując zarówno na wartość wyższą, jak i niższą w stosunku do wartości deklarowanej. W większości przypadków (72%) wyniki oznaczeń między partiami tego samego wytworu różniły się o mniej niż 10% [19].

### Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, iż formułacja preparatów ma znaczący wpływ na dobór metody badawczej. Preparaty różniły się także zawartością kofeiny oraz całkowitą zawartością polifenoli, co wskazuje na różny potencjał antyoksydacyjny produktów. We wszystkich próbkach obecna była kofeina zgodnie z deklarowaną dawką (z wyjątkiem próbki **III**). Przy wyborze środków energetyzujących należy pamiętać o tym, że podana zawartość kofeiny może być zaniżona ze względu na dodatkowe użycie mniej oczywistych źródeł kofeiny. Jeśli sięgamy po takie preparaty, warto jest wybrać te, w których składzie występują ekstrakty roślinne. Takie produkty zawierają również polifenole o korzystnym działaniu antyoksydacyjnym.

Biorąc pod uwagę mnogość preparatów zawierających kofeinę na rynku, jak i bardzo popularny zwyczaj picia kawy oraz różnych odmian herbaty, należałoby wprowadzić oznaczenia na preparatach energetyzujących, informujące o zawartości tego alkaloidu purynowego – przeliczonej na filiżanki kawy lub określającej, jaką część maksymalnej bezpiecznej dziennej dawki stanowi.

### Literatura

- [1] Frankowski M., Kowalski A., Ociepa A., Siepak J., Niedzielski P., Kofeina w kawach i ekstraktach kofeinowych i odkofeinowanych dostępnych na polskim rynku, *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 2008, 1(41), s. 21–27.
- [2] Bojarowicz H., Przygoda M., Caffeine. Part I. Common use of caffeine and its effect on human organism, *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 2017, 98(3), s. 285–289.

- [3] Loftfield E., Freedman N.D., Dodd K.W., Vogtmann E., Xiao Q., Sinha R., Graybeard B., Coffee Drinking Is Widespread in the United States, but Usual Intake Varies by Key Demographic and Lifestyle Factors, *The Journal of Nutrition*, 2016, 146(9), s. 1762–1768.
- [4] Fanarioti V., Europe vs the US: Breaking down differences in coffee consumption, 2023, <https://perfectdailygrind.com/2023/06/europe-vs-us-coffee-consumption-trends/>
- [5] Rejestr produktów objętych powiadomieniem o pierwszym wprowadzeniu do obrotu. Państwowa Inspekcja Sanitarna, <https://www.gov.pl/web/gis/elektroniczny-system-powiadomien-powiadomienie-o-wprowadzeniu-po-raz-pierwszy-do-obrotu-suplementy-diety-zywnosc-wzbogacana-zywnosc-dla-okreslonych-grup>.
- [6] Dworzański W., Burdan F., Szumiło M., Jaskółka A., Anielska E., Kawa i kofeina – wrogowie czy sprzymierzeńcy kardiologa?, *Kardiologia Polska*, 2011, 69(2), s. 173–176.
- [7] Bilondi H.T., Valipour H., Khoshro S., Jamilian P., Ostadrahimi. A., Zarezadeh M., The effect of caffeine supplementation on muscular strength and endurance: A meta-analysis of meta-analyses, *Heliyon* 2024, 10(15), s. 35025.
- [8] Ruiz-Moreno C., Gutiérrez-Hellin J., Lara B., Del Cost J., Effect of caffeine on muscle oxygen saturation during short-term all-out exercise: a double-blind randomized crossover study, *European Journal of Nutrition*, 2022, 61, s. 3109–3117.
- [9] Ferré S., Role of the Central Ascending Neurotransmitter Systems in the Psychostimulant Effects of Caffeine, *Journal of Alzheimer's Disease*, 2010, 20, s. 35–49.
- [10] Tarnopolsky M.A., Caffeine and Creatine Use in Sport, *Annals of Nutrition & Metabolism*, 2011, 57 (Suppl. 2), s. 1–8.
- [11] Nakabayashi H., Hashimoto T., Ashida H., Nishiumi S., Kanazawa K., Inhibitory effects of caffeine and its metabolites on intracellular lipid accumulation in murine 3T3-L1 adipocytes, *BioFactors*, 2009, 34(4), s. 293–302.
- [12] EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) (2011) Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to caffeine and increased fat oxidation leading to a reduction in body fat mass (ID 735, 1484), increased energy expenditure leading to a reduction in body weight (ID 1487), increased alertness (ID 736, 1101, 1187, 1485, 1491, 2063, 2103) and increased attention (ID 736, 1485, 1491, 2375) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006, *EFSA Journal*, 2011, 9(4), s. 2054.
- [13] Wierzejska R., Kofeina – powszechny składnik diety i jej wpływ na zdrowie, *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 2012, 63(2), s. 141–147.
- [14] Addicott M.A., Laurienti P.J., A comparison of the effects of caffeine following abstinence and normal caffeine use, *Psychopharmacology*, 2009, 207(3), s. 423–431.
- [15] Antonio J., Newmire D.E., Stout J.R., Antonio B., Gibbons M., Lowery L.M., Harper J., Willoughby D., Evans C., Anderson D., Goldstein E., Rojas J., Monsalves-Álvarez M., Forbes S.C., Lopez J.G., Ziegenfuss T., Moulding B.D., Candow D., Sagner M., Arent S.M., Common questions and misconceptions about caffeine supplementation: what does the scientific evidence really show?, *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 2024, 21(1), s. 2323919.

- [16] Anikiel S., Zastosowanie spektrofotometrii UV-Vis oraz chromatografii cienkowarstwowej w analizie wybranych związków fenolowych i alkaloidów purynowych o właściwościach redukujących, 2007, praca doktorska.
- [17] Takayanagi T., Nishiuchi M., Ousaka M., Oshima M., Motomizu S., Monitoring of vitamin C species in aqueous solution by flow injection analysis coupled with an on-line separation with reversed-phase column, *Talanta*, 2009, 79(4), s. 1055–1060.
- [18] Macrae R., Nitrogenous Components, [w:] *Coffee*, vol 1, Chemistry, (red.) R.J. Clarke, R. Macrae, wyd. Elsevier Applied Science, London, New York 1985, s. 115–152.
- [19] Andrews K.W., Schweitzer A., Zhao C., Holden J.M., Roseland J.M., Brandt M., Dwyer J.T., Picciano F., Saldanha L.G., Fisher K.D., Yetley E., Betz J.M., Douglass L., The caffeine contents of dietary supplements commonly purchased in the US: analysis of 53 products with caffeine-containing ingredients, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2007, 389, s. 231–239.

# **Wpływ preparatów roślinnych na ograniczenie stresu u roślin**

## **The influence of plant preparations on reducing stress in plants**

Anna Sikorska<sup>1</sup>, Ewelina Pietrzak, Marek Gugła<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zakład Rolnictwa, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych im. Ignacego Mościckiego w Ciechanowie, ul. Narutowicza 9, 06-400 Ciechanów, Polska, e-mail: [anna.sikorska@pansim.edu.pl](mailto:anna.sikorska@pansim.edu.pl)

<sup>2</sup> Wydział Nauk Rolniczych, Uniwersytet w Siedlcach, ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce, Polska

---

**Słowa kluczowe:** biostymulatory, stres biotyczny, stres abiotyczny

**Keywords:** biostimulants, biotic stress, abiotic stress

---

### **Streszczenie**

W ostatnich latach obserwuje się wzrost światowej populacji, co determinuje większe zapotrzebowanie na żywność. Organizacja Narodów Zjednoczonych szacuje, że w 2050 r. będzie około 9,7 mld ludzi, zaś w 2080 r. – 10,4 mld. Głównym problemem na świecie jest susza, będąca skutkiem zmian klimatu. Obecnie prowadzone są badania nad mechanizmami obronnymi u roślin podczas wystąpienia czynnika stresowego oraz ich analiza na poziomie morfologicznym, fizjologicznym i biochemicznym. Obserwuje się, że coraz powszechniej stosowane są środki pochodzenia roślinnego określane jako regulatory wzrostu i rozwoju roślin lub biostymulatory. Regulatory wzrostu zastosowane w niekorzystnych dla wzrostu i rozwoju roślin warunkach środowiska wpływają na uzyskanie szybszych i równomiernych wschodów roślin, stymulację wzrostu i rozwoju, lepsze ich przetrwanie. Celem artykułu był przegląd wyników badań dotyczących wpływu naturalnych preparatów roślinnych na ograniczenie stresu wodnego u roślin. W artykule, opierając się na danych naukowych, scharakteryzowano rodzaje stresów występujących u roślin i ich reakcje na deficyt wody oraz wykazano, w jaki sposób naturalne i syntetyczne preparaty roślinne mogą redukować skutki deficytu wodnego. Wyniki dotychczasowych badań wskazują, że biostymulatory łagodzą objawy stresu również w uprawach ogrodniczych. Pozytywne skutki zastosowania hydrolizatów białkowych dowodzą, że mogą być one zastosowane jako środki chroniące rośliny uprawne przed stresorami środowiskowymi, a to ma ogromne znaczenie w obecnym globalnym scenariuszu zmian klimatycznych.

### **Abstract**

In recent years, there has been an increase in the world's population, which determines a greater demand for food. The United Nations estimates that in 2050 there will be approximately 9.7 billion people on Earth, and in 2080 – 10.4 billion. The main problem in the world is

drought, which is the result of climate change. Currently, research is being carried out on the defense mechanisms of plants during the occurrence of a stress factor and their analysis at the morphological, physiological and biochemical level. It is observed that substances of plant origin known as plant growth and development regulators or biostimulants are increasingly used. Growth regulators used when plants are still healthy, participating in the regulation of life processes at the level of a cell, organ or the entire organism, change their metabolism, which makes them stronger and more resistant to attack by a pathogen or other stress factor, and in unfavorable plant growth and development environmental conditions influence faster and more uniform emergence of plants, stimulation of growth and development, and better wintering. Obtaining high and good quality yields in plant production is primarily the ability to prevent or limit the occurrence of biotic and abiotic stresses and regenerate the damage caused by them. The aim of the article was to review research results on the impact of natural plant preparations on reducing water stress in plants. The article, based on scientific data, characterizes the types of stresses occurring in plants, their reactions to water deficit and shows how natural and synthetic plant preparations can reduce the effects of water deficit in plants. The results of current scientific research indicate that biostimulants also alleviate the symptoms of stress in horticultural crops. The positive effects of the use of protein hydrolysates prove that they can be used as agents to protect crop plants against environmental stressors, and this is of great importance in the current global climate change scenario.

## **Wstęp**

W ostatnich latach obserwuje się wzrost światowej populacji, co determinuje większe zapotrzebowanie na żywność [1]. Organizacja Narodów Zjednoczonych (ONZ) szacuje, że w 2050 r. na Ziemi będzie żyło około 9,7 mld ludzi, zaś w 2080 r. – 10,4 mld.

Niestety produkcja rolnicza często wpływa negatywnie na środowisko przyrodnicze, przyczyniając się do erozji gleby, nadmiernego wylesienia, zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych, gleby, powietrza czy zmniejszenia bioróżnorodności. Obecnie coraz powszechniej stosowane są środki pochodzenia roślinnego określane jako regulatory wzrostu i rozwoju roślin lub biostymulatory [2]. Regulatory wzrostu zastosowane w czasie, gdy rośliny są jeszcze zdrowe, uczestnicząc w regulacji procesów życiowych na poziomie komórki, organu lub całego organizmu, zmieniają ich metabolizm, co powoduje, że są one silniejsze i odporniejsze na atak patogenu czy innego czynnika stresowego, zaś w niekorzystnych dla wzrostu i rozwoju roślin warunkach środowiska wpływają na uzyskanie szybszych i bardziej równomiernych wschodów roślin, stymulację wzrostu i rozwoju, a także lepsze ich przetrwanie. Uzyskanie wysokich i dobrej jakości plonów w produkcji roślinnej to przede wszystkim umiejętność zapobiegania lub ograniczenia występowania stresów biotycznych i abiotycznych oraz regeneracja uszkodzeń przez nie powodowanych.

Głównym problemem na świecie jest susza, będąca skutkiem zmian klimatu. Obecnie prowadzone są badania nad mechanizmami obronnymi u roślin podczas wystąpienia czynnika stresowego oraz ich analiza na poziomie morfologicznym, fizjologicznym i biochemicznym [3–4]. Według prognoz w najbliższych latach zapotrzebowanie na wodę do celów rolniczych zwiększy się średnio o 50% w regionach rozwijających się i o 16% w regionach rozwiniętych [5].

Celem artykułu był przegląd wyników badań dotyczących wpływu naturalnych preparatów roślinnych na ograniczenie stresu wodnego u roślin. W artykule opierając się na danych naukowych, scharakteryzowano rodzaje stresów występujących u roślin i ich reakcje na deficyt wody oraz wykazano, w jaki sposób naturalne i syntetyczne preparaty roślinne mogą redukować skutki deficytu wodnego u roślin.

### **Podział stresów u roślin**

Proces wzrostu i rozwoju roślin, począwszy od zygoty do etapu zamierania organów, może odbywać się w warunkach naturalnych, na które oddziałują czynniki genetyczne i środowiskowe. Jeśli stężenie jednego lub kilku z tych czynników odbiega od optymalnego, następują zakłócenia w funkcjonowaniu rośliny, prowadzące do uszkodzenia jej struktur i zaburzenia metabolizmu, co prowadzi do obumarcia tkanek, organów lub całej rośliny [6]. Zjawiska te określa się jako reakcję stresową rośliny, która prowadzi do stanu stresowego, a źródło tych zaburzeń nazywane jest stresorem lub czynnikiem stresowym. Należy podkreślić, że reakcję stresową u rośliny może wywołać zarówno niedobór, jak i nadmiar danego czynnika. Stresor może mieć charakter pierwotny bądź wtórny i wpływać na roślinę w sposób bezpośredni lub pośredni. Ponadto działanie jednego stresora może przebiegać łącznie z innymi źródłami stresowymi, które nasilają niekorzystne warunki do wzrostu i rozwoju rośliny.

Zmiany wywołane przez stresor mogą być odwracalne lub nieodwracalne. Jest to związane z poziomem intensywności danego czynnika oraz tego, jak długo roślina była poddana działaniu tego czynnika. W pierwszym przypadku po usunięciu stresora i jego działania roślina się regeneruje i uzyskuje większą odporność na ten czynnik. Z kolei zmiany nieodwracalne po zahamowaniu oddziaływania czynnika stresowego pozostają, co skutkuje dysfunkcją zaatakowanych organów rośliny wpływającą na jej dalszy wzrost i rozwój, czasem prowadząc do obumarcia rośliny.

Kozłowska [7] ze względu na różnorodność czynników środowiskowych podaje podział stresów u roślin na abiotyczne i biotyczne. Stresami abiotycznymi są:

- promieniowanie (nadmiar, niedobór, UV),
- temperatura (zbyt wysoka, chłód, mróz),
- woda (suche powietrze, susza glebowa, zatopienie),

- gazy (niedobór O<sub>2</sub>, gazy wulkaniczne),
- składniki mineralne (nadmiar, niedobór, zasolenie, zachwianie równowagi, toksyny i metale ciężkie, zakwaszenie, alkalizacja),
- czynniki mechaniczne (wiatr, pokrywa śnieżna, pokrywa lodowa, zasypanie) [6].

Stresami biotycznymi zaś są:

- mikroorganizmy: wirusy, bakterie i grzyby,
- rośliny – za sprawą: pasożytnictwa, konkurencji (zagęszczenia), allelopatii,
- zwierzęta – poprzez: deptanie, zgryzanie i żerowanie, pasożytnictwo,
- antropogeniczne: zanieczyszczenie przemysłowe, środki ochrony roślin, pożar, ubicie gleby, pole elektromagnetyczne, promieniowanie jonizujące [6].

Według innych doniesień naukowych stres u roślin można podzielić na:

**Oksydacyjny** – polega on na zachwianiu równowagi w tkankach rośliny między produkcją reaktywnych form tlenu a ich usuwaniem przez systemy antyoksydacyjne.

**Radiacyjny** – występuje, jeżeli do rośliny dociera w zbyt dużej ilości promieniowanie aktywne fotosyntetyzujące i nie jest ona w stanie wykorzystać go w procesie fotosyntezy lub ma miejsce zwiększona absorpcja promieniowania krótkofalowego bez możliwości jego dalszego przekształcenia.

**Termiczny** – występuje, gdy na roślinę działa temperatura, której zakres wykracza poza optimum dla jej prawidłowego wzrostu i rozwoju. Stresorem może być zarówno temperatura zbyt wysoka, jak i zbyt niska, tj. przegrzanie i szok cieplny, chłód i mróz.

**Wywołany niedoborem tlenu w glebie** – stres ten najczęściej występuje w przypadku zalania gleby w wyniku: powodzi, długotrwałego nasiąknięcia wodą, a także pokrycia gleby lodem, kiedy dochodzi do ciśnieniowego wytłoczenia tlenu z gleby, co sprawia, że gleba staje się zbita. Rzadziej niedobór tlenu związany jest z jego zużyciem przez korzenie roślin, inne zwierzęta żyjące w glebie lub namnażanie mikroorganizmów aerobowych [8].

**Wodny** – spowodowany przez niedobór lub nadmiar wody w tkankach roślinnych, który najpierw prowadzi do rozchwiania podstawowych funkcji poszczególnych tkanek, a następnie do ograniczenia wzrostu i plonowania rośliny. Najczęściej stres ten definiowany jest przez niedobór wody w glebie.

**Solny** – wywołany przez zbyt duże stężenie łatwo rozpuszczalnych soli w roślinie, co może być efektem zarówno niekorzystnych warunków atmosferycznych czy środowiskowych na danym terenie, jak i działalnością człowieka. Większość roślin uprawnych to tzw. glikofity, czyli rośliny charakterystyczne dla siedlisk niesłonych.

- **Spowodowany zanieczyszczeniami środowiska** – stresory, które mogą oddziaływać na roślinę, występują w atmosferze, glebie i wodzie. Mogą to być toksyny pochodzenia naturalnego (emitowane na skutek aktywności wulkanicznej lub specyfiki danego gatunku rośliny), jak i zanieczyszczenia powiązane z działalnością człowieka: toksyny przemysłowe, pochodzenia rolniczego czy związane ze stosowaniem paliw kopalnych [9].

## Deficyt wody

Jeżeli roślina nie ma zapewnionej optymalnej ilości wody do prawidłowego wzrostu i rozwoju, występuje u niej stres wodny. Jest on widoczny na poziomie komórkowym rośliny i ma ogromny wpływ na wszystkie jej funkcje życiowe.

Stresorem dla rośliny może być zarówno deficyt wody, który występuje najczęściej w postaci suszy, jak i jej nadmiar (zalanie). W literaturze naukowej stres wodny dotyczy najczęściej skutków deficytu wody w tkankach roślinnych, natomiast susza – warunków meteorologicznych i glebowych, w których roślina wzrasta.

Kozłowska [7] podaje, że deficyt wody w roślinach to brak ilości wody niezbędnej do optymalnego wysycenia nią tkanek roślinnych. Wielkość niedoboru (ang. *water saturation deficit* – WSD) określa się najczęściej jako stosunek aktualnej zawartości wody do jej maksymalnej zawartości [6]. Gdy wartość WSD zmniejszy się poniżej ustalonego poziomu krytycznego, który uwzględnia odporność danej rośliny na stres wodny oraz warunki środowiskowe, wtedy pojawia się stres wodny. Czynniki te są również ujęte przy obliczeniach dotyczących względnego współczynnika suszy (ang. *relative drought index* – RDI), który pokazuje faktyczny deficyt wody w tkance w stosunku do jej maksymalnego uwodnienia (WSD) względem krytycznego, progowego deficytu wody dla danego gatunku, wywołującego pierwsze widoczne uszkodzenia lub początek zaburzeń funkcji [10].

Deficyt wody wywołany suszą glebową jest jednym z najczęściej występujących stresów środowiskowych w każdej szerokości geograficznej [7]. Eyvazi [11] podaje, że jest to jeden z głównych stresów abiotycznych, negatywnie wpływających na wzrost i rozwój roślin oraz plonowanie. Susza to efekt braku lub znacznie mniejszej sumy opadów atmosferycznych w porównaniu do średniej wieloletniej.

W pierwszej fazie stresu wodnego następuje susza glebowa, czyli brak opadów atmosferycznych. Najczęściej towarzyszy jej susza atmosferyczna, charakteryzująca się wysokimi temperaturami powietrza przy jednocześnie niskiej wilgotności względnej oraz występowaniu ciepłych, wysuszających wiatrów. Badania dotyczące suszy glebowej skupiają się na pomiarach opadów atmosferycznych i zapotrze-

bowaniu roślin w wodę z uwzględnieniem ich fazy wzrostu oraz rodzaju gleby. Karczmarczyk i Nowak [10] podkreślają, że susza atmosferyczna powoduje przejściowe wędnięcie roślin, zaś glebowa i fizjologiczna – trwałe.

Należy też wspomnieć o stresie wodnym związanym z brakiem możliwości pobierania wody dostępnej w glebie przez roślinę, czyli tzw. suszy fizjologicznej. Jest to spowodowane przez silne zasolenie (przenawożenie) gleby, brak tlenu, niską temperaturę lub duże zakwaszenie [10].

Przedłużające się okresy bezdeszczowe mogą wywołać suszę hydrologiczną, w przypadku której główną osią badania i monitorowania jest poziom wód powierzchniowych w rzekach i jeziorach w odniesieniu do średniej wieloletniej. Kilka lat suszy hydrologicznej z pogłębiającym się brakiem opadów i wzrostem średniej rocznej temperatury powietrza prowadzi do suszy hydrogeologicznej, która dotyka płytkich, a następnie coraz głębszych złóż wód podziemnych. Skutkami jej wystąpienia jest wysychanie studni oraz konieczność pogłębiania już istniejących lub przeprowadzania nowych odwiertów.

Zmiany w strukturach opadów atmosferycznych wpływają na bilans wodny i w wielu miejscach przyczyniają się do niedoborów wody. W Polsce, podobnie jak w innych krajach, prowadzone są badania i analizy dotyczące występowania suszy. Informacje na temat suszy rolniczej na terenie całego kraju są publikowane przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach – Państwowy Instytut Badawczy (IUNG-PIB). Stały monitoring suszy atmosferycznej i hydrologicznej prowadzi również Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB). Z kolei Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) prowadzi monitoring wód podziemnych na terenie Polski. Oprócz tego dla całego kontynentu europejskiego stworzono Europejskie Centrum Obserwacji Suszy (European Drought Observatory – EDO), które oprócz stałego monitoringu suszy prowadzi także jej prognozowanie oraz publikuje alerty suszowe.

Zapotrzebowanie na wodę zwiększa się wraz z rozwojem rośliny i osiąga maksimum w fazie największego przyrostu biomasy [10]. Bilans wodny odzwierciedla gospodarkę wodną danej rośliny w danych warunkach środowiskowych w konkretnym czasie. Wyraża się go za pomocą porównania ilości wody oddanej przez roślinę do pobranej przez nią, mierzonej na początku i na końcu badanego okresu. W praktyce stan równowagi tego bilansu, czyli sytuacja, gdy ilość utraconej wody jest taka sama jak pobranej, jest trudny do osiągnięcia. Bilans wodny rośliny podlega nieustannym wahaniom zależnym m.in. od procesów biochemicznych w roślinie, dostępności wody w glebie oraz intensywności jej poboru. W okresach długotrwałych posuch oraz w nocy rośliny nie są w stanie wyrównać bilansu wodnego [10].

## Reakcje roślin na stres wodny

Obecnie największym zagrożeniem dla rolników jest susza [12]. Według GAR Special Report on Drought w 2015 r. bezpośrednie straty poniesione przez 1,5 mld ludzi w latach 1998–2017 szacowane są na 124 mld USD. Niedobór wody stanowi problem w rolnictwie, wpływając na plony, a tym samym na światową gospodarkę [13].

Odpowiednie zarządzanie zasobami wodnymi na cele rolnicze staje się dziś jednym z najważniejszych celów do osiągnięcia w obecnym i prognozowanym scenariuszu wysokiego ryzyka suszy. Szczegółowe badania nad zarządzaniem i zużyciem wody w tym sektorze mogą przynieść wymierne korzyści w postaci realnych zysków finansowych i ograniczenia strat wody w produkcji rolno-spożywczej [14].

Przejściowe lub wydłużone okresy suszy są powszechne w rolnictwie w suchych i półsuchych rejonach i będą występowały coraz częściej wraz z postępującymi zmianami klimatycznymi [15–16].

Niedostateczna ilość wody, powodująca stres wodny, prowadzi do tego, że rośliny reagują na poziomie pojedynczych komórek, tkanek i całego organizmu. Tolerancja roślin na suszę obejmuje szereg mechanizmów obronnych zarówno na poziomie morfologicznym, jak i fizjologicznym rośliny [17–18]. Na proces zmian wpływają: szybkość utraty wody, stopień odwodnienia rośliny oraz jej wrażliwość na czynnik stresowy. Reakcje roślin na stres wodny zależą od ich odporności na suszę, co jest cechą gatunkową, a nawet odmianową [19], jak również od warunków środowiskowych [20]. W warunkach niedoboru wody w podłożu występują zakłócenia w gospodarce wodnej roślin, a ich efektem są m.in. ograniczenie transpiracji i zamykanie aparatów szparkowych [21]. To z kolei ogranicza pobieranie tlenu węgla (IV) i tym samym spowalnia proces fotosyntezy [22]. Rośliny reagują na suszę aktywacją hormonów stresu i mechanizmów antyoksydacyjnych, co prowadzi do zmniejszenia biomasy roślin. Bertamini [23] podkreśla, że skutki łagodnego niedoboru wody nie są tak drastyczne jak te powodowane przez dotkliwą suszę. Łagodny deficyt wody wywołuje w roślinach najczęściej zmiany biochemiczne, które umożliwiają przystosowanie do życia w zmienionych warunkach. Drastyczny niedobór wody w glebie może prowadzić do funkcjonalnych i strukturalnych zmian w aparacie fotosyntetycznym. W efekcie ogranicza to wzrost i tym samym produktywność roślin [22, 24].

Kozłowska [7] podaje, że większość roślin uprawnych należy do mezofitów, tzn. roślin mogących znosić okresowe braki wody, które powodują zmiany metabolizmu prowadzące do uruchomienia mechanizmów dostosowawczych. Najczęściej rośliny uodporniają się na suszę przez aklimatyzację. Na przykład wytwarzanie osmolitów lub związków osmoprotekcyjnych, takich jak: prolina, betaina glicynowa i związki fenolowe, jest dobrze regulowanym mechanizmem biochemicznym zwiększającym tolerancję roślin na stres wodny. Ponadto często rośliny ograniczają straty wody

przez zmianę budowy, powierzchni i kształtu liści (mała powierzchnia, gruba kutykula) oraz zrzucanie liści. Uruchamiają również mechanizmy ograniczające transpirację i zwiększające zdolność gromadzenia wody [10]. Przejawem obronnym rośliny może być także zmieniona dystrybucja produktów fotosyntezy, które trafiają w pierwszej kolejności do młodych korzeni rośliny, zawiązków owocników oraz do stożków wzrostu. Lewak i Kopcewicz [6] stwierdzili, że jednym ze sposobów unikania odwodnienia jest przystosowanie cyklu rozwojowego rośliny do sezonowo występujących okresów suszy.

Odporność na suszę to jeden z najważniejszych czynników determinujących rozmieszczenie geograficzne gatunków, w tym roślin uprawnych. To właśnie stres wodny decydował w dużej mierze o kierunku ewolucji roślin lądowych na przestrzeni minionych epok. Dzisiaj wyznacza on kolejne kroki do realizacji trudnego zadania, którym jest wyżywienie rosnącej populacji świata w obliczu zmieniającego się klimatu. Jednym z strategicznych celów na najbliższe lata i dekady dla rolnictwa oraz gałęzi z nim związanych jest efektywne zarządzanie zasobami wodnymi na cele rolnicze. Postęp technologiczny, nauka i bioinżynieria to sprzymierzeńcy w osiągnięciu kolejnych sukcesów na drodze do nowoczesnego rolnictwa opartego na najnowszej wiedzy, szacunku do ograniczonych zasobów planety, a także do zmieniającego się świata [22].

Najbardziej dotknięte suszą tereny obejmują: południowo-centralną Azję, Azję Południowo-Wschodnią, część Ameryki Południowej, Europę Środkową i południowo-wschodnią część Stanów Zjednoczonych [25].

Występowanie suszy rolniczej zależy od ewapotranspiracji i od dostępności wilgoci w glebie [26]. Na całym świecie uprawa opierająca się na opadach deszczu obejmuje 80% ogólnej powierzchni rolniczej [27]. Nawadnianie jest pierwszym rozwiązaniem w przypadku suszy rolniczej, ale nie jest ono pozbawione kosztów i problemów (zrównoważony rozwój i zasolenie). W niektórych regionach już dziś stanowi poważny problem środowiskowy oraz stwarza realne zagrożenie dla zasobów wód podziemnych wykorzystywanych dla zaspokojenia potrzeb lokalnych społeczności.

Poza sztucznym nawadnianiem strategię nastawioną na zwiększenie tolerancji upraw na deficyty wody koncentrują się na specjalizacji upraw, tradycyjnej hodowli roślin i modyfikacjach genetycznych w celu uzyskania odmian wysoce odpornych na suszę.

Bardzo znanym sposobem na zwiększenie plonów w warunkach stresu wodnego jest wprowadzanie genetycznie zmodyfikowanych upraw z tolerancją na suszę [28]. Pierwsza roślina odporna na deficyt wodny została komercyjnie wprowadzona na rynek w 2012 r. i zatwierdzona w USA i Kanadzie. Pionierem była firma, która opracowała genetycznie zmodyfikowaną odmianę kukurydzy o zwiększonej odpor-

ności na stres wodny poprzez ekspresję genów bakteryjnych. Kukurydza Drought-Gard™ jest jedyną odporną na suszę genetycznie zmodyfikowaną rośliną uprawną zatwierdzoną w wielu regionach w 2017 r., a jej nasadzenia wzrosły 15-krotnie – z 50 tys. ha w 2013 r. do 810 tys. ha w 2015 r. [29].

W cyklu wegetacyjnym każda roślina jest narażona na różne czynniki stresowe. Dostarczanie roślinom odpowiedniej dawki mikro- i makroelementów może wpływać korzystnie na ich reakcje na takie stresory. Może się to przełożyć na zdolność poszczególnych roślin do adaptacji, przetrwania i zwiększania tolerancji w określonych warunkach środowiska.

Badania naukowe potwierdzają, że wśród 94 pierwiastków chemicznych, które występują w środowisku, ponad 70 jest obecnych w biomacie roślin, a tylko 17 z nich identyfikuje się jako niezbędne składniki mineralne. Wśród nich istnieją makro- i mikroelementy, które sklasyfikowano na podstawie względnej ich zawartości w roślinach. Należy podkreślić, że podział ten jest umowny, zaś poziom niektórych z nich wykracza poza przyjęte przy dokonywaniu podziału normy. Szmidt-Jaworska i Kopcewicz [30] podają, że makroelementy to pierwiastki, których zawartość w roślinie wynosi powyżej 0,1% s.m., natomiast mikroelementy – poniżej tej wartości.

Makroelementy to niezbędne dla rozwoju każdej rośliny składniki odżywcze, biorące udział w jej najważniejszych procesach życiowych, takich jak: fotosynteza, oddychanie i przewodzenie wody. Zalicza się do nich: azot (N), fosfor (P), potas (K), siarkę (S), wapń (Ca) i magnez (Mg). Ich odpowiedni poziom w komórkach roślinnych warunkuje optymalny wzrost i prawidłowy rozwój roślin. Z kolei ich niedobór lub nadmiar może wywoływać u roślin objawy stresowe, wpływając negatywnie na rozwój oraz plonowanie roślin.

Mikroelementy, określane także jako pierwiastki śladowe, uczestniczą w wielu procesach metabolicznych w roślinie, są także ważnym składnikiem enzymów odpowiedzialnych m.in. za transport elektronów czy procesy wiązania azotu w komórkach. Brak mikroelementów może sprzyjać rozwojowi wielu chorób, które prowadzą do nieprawidłowości w procesie wzrostu i rozwoju całej rośliny, w tym upośledzenia procesu fotosyntezy w komórkach. Hinsinger [31] podaje, że mikroelementy to: żelazo (Fe), miedź (Cu), cynk (Zn), mangan (Mn), molibden (Mo) i bor (B).

Azot jest budulcem podstawowych związków organicznych, dzięki czemu bierze udział we wszystkich reakcjach biochemicznych zachodzących w roślinach. Bez udziału azotu nie zachodzi produkcja chlorofilu ani proces fotosyntezy. Pierwiastek ten umożliwia prawidłowy wzrost roślin, rozwój systemu korzeniowego i uzyskanie optymalnej zawartości białka w roślinie oraz zwiększa odporność roślin na porażenie grzybicze.

**Fosfor** odpowiada za prawidłowy przebieg przemian bioenergetycznych i metabolicznych w komórkach roślinnych. Bierze udział w syntezie i rozpadzie związków organicznych. Jest niezbędny do przekazywania informacji genetycznej. Fosfor odpowiada za budowę i prawidłowe funkcjonowanie błon komórkowych rośliny. Epstein [32] podaje, że odpowiednia ilość tego pierwiastka wpływa na zdolności adaptacyjne roślin w okresach suszy.

**Potas** pełni funkcję regulacyjną w procesach metabolicznych zachodzących w roślinach (aktywuje enzymy i bierze udział w biosyntezie białek). Pierwiastek ten odpowiada też za prawidłową osmoregulację komórek oraz regulację bilansu wodnego rośliny. Potas zwiększa zakres tolerancji danej rośliny na stresory biotyczne i abiotyczne, w tym te związane z niedoborami wody.

**Wapń** jest ważnym budulcem struktur ścian i błon komórkowych rośliny, dzięki czemu reguluje procesy wnikania do komórek cząsteczek i mikroorganizmów. Jest także wtórnym przekaźnikiem informacji podczas procesów metabolicznych w roślinie. Niedobór tego pierwiastka obniża zdolność roślin do właściwych reakcji na czynniki stresów środowiskowych [33].

**Magnez** warunkuje właściwy poziom przepuszczalności błon komórkowych. Jest ważny dla prawidłowego przebiegu oddychania, fotosyntezy i syntezy kwasów nukleinowych. Dzięki jego obecności rośliny lepiej znoszą stresy abiotyczne [34].

**Żelazo** jest obecne w komórkach roślinnych w stosunkowo dużym stężeniu w porównaniu do innych mikroelementów. Pierwiastek ten aktywuje wiele enzymów, które pomagają w przenoszeniu elektronów. Jego działanie jest też niezbędne do prawidłowego przebiegu procesu biosyntezy chlorofilu. Okresowe niedobory żelaza sprzyjają rozwojowi chlorozy, czyli zaburzenia zdolności rośliny do fotosyntezy i wytwarzaniu chlorofilu.

**Cynk** jest niezbędny dla prawidłowego przebiegu procesów metabolicznych, takich jak synteza hormonów roślinnych czy biosynteza chlorofilu. Jest ważnym budulcem błon komórkowych. Pełni też rolę katalityczną i strukturalną w reakcjach enzymatycznych. Niedobór cynku objawia się zaburzonym rozwojem korzeni i liści roślin.

**Mangan** wykazuje właściwości oksydoredukcyjne. Wpływa na enzymy, które biorą udział w oddychaniu komórkowym, biosyntezie lipidów, aminokwasów oraz cukrów. Jego dobroczynne działanie jest widoczne także w procesie syntezy pierścieni pirolowych i budowaniu struktur chloroplastów i dlatego jest on ważnym ogniwem w prawidłowym przebiegu procesu fotosyntezy. Jego właściwy poziom w komórkach roślinnych redukuje stres oksydacyjny. Mangan bierze udział w rozkładzie wody na poziomie komórkowym, dlatego jego obecność może wspierać reakcje roślin na niedobory wody.

**Bor** bierze udział w budowie ścian komórkowych roślin, wpływając na ich stabilność i właściwe przenikanie substancji przez błony komórkowe. Jest to pierwiastek ważny dla rozwoju brodawek korzeniowych roślin. Reguluje też gospodarkę hormonalną roślin. Optymalny poziom boru może wspomagać rośliny w szybszym przystosowaniu się do obecności stresorów i łagodzić ich wpływ [35].

## **Wpływ naturalnych i syntetycznych preparatów roślinnych na redukcję skutków deficytu wodnego u roślin**

We współczesnym rolnictwie kładzie się nacisk zarówno na wielkość, jak i jakość plonu. Dlatego nie tylko coraz więcej uwagi poświęca się nawożeniu i ochronie roślin, ale również stosuje liczne preparaty kwalifikowane jako regulatory rozwoju roślin lub biostymulatory, stymulatory odporności czy szczepionki bakteryjne. Analitycy szacują, że do 2025 r. globalny rynek tego typu produktów osiągnie wartość ponad 4,2 mld USD, a pogarszające się warunki klimatyczne będą działały stymulująco na dalszy dynamiczny rozwój tego sektora [36].

Według Europejskiego Konsorcjum Przemysłu Biostymulatorów „biostymulatory to produkty zawierające substancje i/lub mikroorganizmy, których funkcją po zastosowaniu do roślin lub ryzosfery jest stymulowanie naturalnych procesów w celu zwiększenia/uzyskania korzyści w zakresie pobierania składników odżywczych, wydajności składników odżywczych, tolerancji na stres abiotyczny i jakości upraw”.

Definicja biostymulatorów roślin zawarta w rozporządzeniu UE przyjętym w 2019 r. podaje, że jest to „produkt, który stymuluje procesy odżywiania roślin niezależnie od zawartości składników odżywczych w produkcie, wyłącznie w celu poprawy co najmniej jednej z następujących cech rośliny lub ryzosfery rośliny:

- (a) efektywności wykorzystania składników odżywczych;
- (b) tolerancji na stres abiotyczny;
- (c) cech jakościowych; lub
- (d) dostępności ograniczonych składników odżywczych w glebie lub ryzosferze” [37].

Szeroki zakres pochodzenia surowców wykorzystywanych do produkcji biostymulatorów powoduje, że mogą one występować w postaci stałej, płynnej a nawet gazowej. To z kolei wpływa na klasyfikację biostymulatorów według różnych kryteriów. Du Jardin [38] wprowadził podział biostymulatorów na:

- 1) substancje humusowe,
- 2) złożone materiały organiczne,
- 3) korzystne pierwiastki chemiczne,

- 4) sole nieorganiczne,
- 5) ekstrakty z wodorostów,
- 6) pochodne chityny i chitozanu,
- 7) antytranspiranty,
- 8) wolne aminokwasy i inne substancje zawierające azot,
- 9) mikroorganizmy.

Mimo że biostymulatory nie zastępują nawozów, mogą istotnie zwiększyć wydajność upraw poprzez lepsze wykorzystanie przez rośliny składników odżywczych dostarczanych przez nawozy [39].

Ze względu na ukierunkowane działanie wśród biostymulatorów można wyróżnić:

**Hormony wzrostu roślin** – substancje pochodzenia naturalnego lub syntetycznego, które pobudzają rośliny do wzmożonego wzrostu, co może skutkować lepszą ich zdolnością do radzenia sobie z czynnikami stresu abiotycznego. Przykładem mogą być auksyny, cytokiny i gibereliny [40].

**Kwas salicylowy**, który jest dobrym stymulantem obrony roślinnej w warunkach stresu abiotycznego [38].

**Kwas abscysynowy (ABA)** – to substancja pochodzenia roślinnego, która odpowiada za regulację wewnętrznej gospodarki organizmu roślinnego w warunkach suszy. Badania nad tym hormonem potwierdzają pozytywne wyniki w zakresie zwiększania tolerancji roślin poddanych preparatom zawierającym ABA na niedobór wody [41].

**Ekstrakty roślinne** – są to wyciągi z glonów morskich, wodorostów czy ekstrakty pochodzenia ziołowego. Stirak [42] podkreśla, że naturalne biopreparaty roślinne wpływają korzystnie na kwitnienie, wzrost roślin, zawiązywanie owoców, wydajność upraw i efektywność wykorzystania składników odżywczych oraz pomagają roślinom przetrwać w warunkach stresowych.

**Aminokwasy**, które regulują procesy przystosowawcze w roślinach, dzięki czemu wspomagają ich odporność na czynniki stresowe. Przykładem mogą być: prolina, glutaminian i arginina.

**Biostymulatory mineralne**, które pomagają wzmocnić strukturę komórek roślinnych i regulują najważniejsze procesy metaboliczne, co ma znaczenie w przypadku niekorzystnych warunków zewnętrznych podczas wzrostu i rozwoju roślin. Są to: krzem, bor oraz żelazo [43].

Zainteresowanie naukowców wzbudza również chitozan, fulwokwasy oraz mikroorganizmy, które wykazują potencjalny wpływ na budowanie odporności i wzrost roślin uprawnych [44].

Ekstrakty z wodorostów zajmują znaczącą pozycję na rynku biostymulatorów, stanowiąc najszybciej rozwijającą się kategorię produktów biostymulujących [45]. Korzystny wpływ ekstraktów z wodorostów na wzrost rośliny został zbadany przez Chaskiego [46], który wykazał ich pozytywny wpływ na rozwój roślin w warunkach stresowych. Biostymulatory zawierające ekstrakty z wodorostów nie są kategorią jednorodną. Różnią się one w zależności od gatunku wodorostów użytych do ich produkcji (tj. brązowe, zielone lub czerwone), przestrzenno-czasowego źródła surowca wodorostów i procesu stosowanego do ich produkcji czy ekstrakcji [44, 47]. Większość takich biostymulatorów jest wytwarzana z gatunków alg brunatnych. *Ascophyllum nodosum* Le Jol jest gatunkiem dominującym ze względu na korzystny wpływ na plonowanie upraw [48]. Również aplikacja *Ascophyllum nodosum ex tract* (ANE) zwiększała tolerancję traw i upraw na stres wywołany suszą [49–50].

Substancje biostymulujące mogą pochodzić z różnych źródeł (np. być efektem przetwarzania produktów ubocznych produkcji żywności), ich zastosowanie w rolnictwie może również ukierunkować ten sektor na rozwój gospodarki w obiegu zamkniętym, a zatem może też zwiększyć wartość dodaną poszczególnych upraw. Dlatego propagatorzy zrównoważonego rolnictwa zwracają szczególną uwagę na wykorzystanie korzystnych mikroorganizmów, np. grzybów, jako kluczowych produktów biostymulujących. Grzyby wykazują zdolność do wchodzenia w interakcje z roślinami poprzez ich system korzeniowy zarówno w formie symbiozy mutualistycznej, jak i pasożytnictwa. Grzyby mikoryzowe potrafią wytworzyć symbiozę z ponad 90% gatunków roślin i dzięki temu znajdują szerokie zastosowanie w ogrodnictwie.

Biostymulatory coraz częściej są przedstawiane jako jedna z potencjalnych, nowoczesnych dróg wsparcia gospodarki wodnej [51], wpływającej na ograniczenie strat wydajności pól uprawnych poddawanych stresowi suszy. Ich stosowanie w rolnictwie jest zgodne z aktualną europejską filozofią ekologiczną [52], ponieważ większość stosowanych substancji pochodzi ze źródeł naturalnych i łatwo ulega rozkładowi w glebie [53].

Zastosowanie biostymulatorów w agrotechnice rolniczej wpływa na poprawę odporności roślin na czynniki stresowe, takie jak: niedobór lub nadmiar wody, ekstremalne temperatury, skażenie związkami chemicznymi i inne stresory pochodzenia nieorganicznego. Biostymulatory mogą pochodzić ze źródeł naturalnych, jak i syntetycznych. Ich oddziaływanie na rośliny to przede wszystkim stymulacja procesów fizjologicznych, która pozwala roślinie przetrwać w trudnych warunkach środowiskowych. Badania naukowe potwierdzają korzystny wpływ biostymulatorów na tolerancję roślin na szeroki zakres biotycznych i abiotycznych czynników stresowych. W związku z tym mogą być one stosowane do łagodzenia niekorzyst-

nych skutków zmian klimatycznych i do zwiększenia odporności upraw na stresory abiotyczne. Biostymulatory stanowią dzisiaj duże wsparcie dla technologii produkcji w przypadku wielu rodzajów upraw rolniczych [54].

García-García i in. [51] badali wpływ glicyny betainy (GB) i kwasu L-piroglutamikowego (PG) na łagodzenie stresu związanego z suszą u kukurydzy (*Zea mays* L.). Glicyna betaina to rozpuszczalna substancja, która gromadzi się w wielu roślinach. Najczęściej stosuje się ją do zwiększania tolerancji roślin na stresy abiotyczne, w tym związane z zamarzaniem, zasoleniem i suszą. Glicynę betainę stosuje się dolistnie, dzięki temu jest szybko wchłaniana, a następnie translokowana do poszczególnych narządów roślinnych. Substancja ta wpływa korzystnie na zwiększenie obrony antyoksydacyjnej, powoduje wzmożoną wymianę gazów liściowych i wzrost rośliny, pomimo działania czynników stresowych. Z kolei kwas L-piroglutamikowy jest zaliczany do aminokwasów nieproteinogennych, wykazujących właściwości biostymulujące.

Wyniki badań Jiménez-Arias i Alby [55] wykazały zwiększenie tolerancji roślin na suszę w warunkach działania stresu związanego z niedoborem wody. Zaaplikowanie biostymulatora do sadzonek poddanych czynnikowi stresogennemu wpływała na zmniejszenie stopnia redukcji wzrostu badanych sadzonek średnio od 65 do 85%. Zastosowanie glicyny wykazało jednak wyraźną zależność od stężenia. Najkorzystniejsze stężenie (0,1 mM) wpłynęło na zwiększenie tolerancji na niedobór wody średnio o 77%. Rośliny poddane działaniu kwasu L-piroglutamikowego potrzebowały dawek o większym stężeniu (1 mM), aby wytworzyć tę tolerancję na poziomie 80% [55].

Poliaminy (PA) są naturalnymi związkami wywołującymi korzystne reakcje u roślin poddanych stresowi z powodu suszy. Badania Jimnez-Arias [56] dotyczyły kukurydzy, uprawianej w warunkach dobrego nawodnienia (WW) lub deficytu wody (WD), na którą aplikowano biostymulatory takie jak: putrescyna (Put) i spermidyna (Spd). W trakcie doświadczenia zaobserwowano różne mechanizmy działania Put i Spd w odniesieniu do uprawy kukurydzy oraz poprawę bilansu wodnego roślin. Zastosowanie Put poprawiło jakość i wielkość plonu w warunkach dobrego nawodnienia, a Spd – w warunkach deficytu wody. Poliaminy zwiększały zawartość węglowodanów, podczas gdy udział w zawartości białka zmieniał się w zależności od interakcji między związkiem a warunkami wzrostu. Na zawartość składników mineralnych w ziarnie duży wpływ miały również warunki wodne i zastosowanie poliamin, przy czym najkorzystniejsze wyniki uzyskano po zastosowaniu Spd, kończąc na mące bogatszej w Zn, Cu i Ca, które są powszechnie uznawane za ważne dla zdrowia ludzkiego. Badania potwierdzają, że wprowadzenie poliamin do zabiegów agrotechnicznych może być skuteczną metodą biofortyfikacji roślin uprawnych [58].

Jiménez-Arias [57] przedstawiła wykaz biostymulatorów, stosowanych, gdy na roślinę działa abiotyczny czynnik stresowy. Rabêlo [59] stwierdził, że tylko dolistne zastosowanie mieszanych pochodnych chitozanu zwiększa wydajność ziarna – średnio o 35%. Shemi [60] podał dolistnie mieszanę glicyny, betainy i kwasu salicylowego w celu zwiększenia tolerancji kukurydzy na stres wynikający z suszy. W tym przypadku dolistna aplikacja mieszanych pochodnych chitozanu [59], zwiększana wraz z rosnącym stresem, będącym efektem suszy, wpływała na wzrost plonu ziarna odpowiednio o 40,52%. Inne doświadczenia z kukurydzą [60] dotyczyły możliwości zastosowania dwóch biostymulatorów: glicyny betainy i kwasu L-pyroglutaminowego przez fertirrygację w celu radzenia sobie ze stresem suszy. Dzięki aplikacji tych substancji plon ziarna zwiększył się średnio o 40,52% [56].

Rabêlo, Jiménez-Arias i Shemi [57–60] badali wpływ glicyny betainy i kwasu L-pyroglutaminowego na stan zdrowotny korzeni roślin uprawnych. Autorzy stwierdzili, że dodanie biostymulatorów do systemu nawadniania nawożącemu na polach kukurydzy zmniejszyło koszty zabiegów agrotechnicznych. Ponadto, po optymalizacji dawek, badanie wykazało, że 0,01 mM glicyny i 1 mM kwasu L-pyroglutaminowego zmniejszyły straty plonu, gdy zastosowano o 20% mniej wody do nawadniania. Zabiegi te poprawiły efektywność wykorzystania wody [57–60].

Pomidor (*Solanum lycopersicum* L.) jest szczególnie wrażliwy na stresy środowiskowe, w tym suszę. Reakcja pomidorów na stres wodny zależy od kilku czynników, w tym czasu trwania i dotkliwości okresu suszy, a także od jego wrodzonych mechanizmów tolerancji [61].

Colla [62] wykazał korzystny wpływ biostymulatorów i nawadniania deficytowego na charakterystykę biochemiczną i właściwości bioaktywne owoców pomidora. System nawadniania i zastosowanie biostymulatora wpłynęły również na skład wolnych cukrów, podczas gdy zawartość kwasów organicznych i tokoferolu była zależna od zabiegu, w którym zastosowano rafinozę (TWW+). Zawartość kwasów tłuszczowych (palmitynowego, linolowego i oleinowego) różniła się w zależności od zastosowanego zabiegu, podczas gdy najwyższe wartości  $\beta$ -karotenu i likopenu odnotowano odpowiednio dla zabiegów CW- (sacharoza) i NW+ (fruktoza). W przypadku aktywności przeciwutleniającej obróbka TWW+ (rafinoza) wykazała wysoką aktywność dla obu testowanych próbek (TBARS i OxHLLA), podczas gdy większość badanych ekstraktów wykazała niższą aktywność przeciwbakteryjną przeciwko testowanym bakteriom w porównaniu z próbkami kontrolnymi w warunkach normalnego nawadniania (W+) i nawadniania z niedoborem wody (W-). Próbkę uzyskaną z zabiegów CW+ (sacharoza) wykazały wyższą aktywność przeciwgrzybiczą (wartości MIC) niż próbki kontrolne [63]. Badania dowiodły, że pomimo pozytywnych efektów dla określonych kombinacji biostymulatorów i nawadniania niezbędne będą dalsze szczegółowe badania w celu lepszego zidentyfikowania me-

chanizmów działania i procesów fizjologicznych, zanim testowane biostymulatory będą wykorzystane w powszechnej uprawie pomidorów [36]. Wprowadzenie sztucznego nawadniania deficytowego dało obiecujące wyniki w zrównoważonym zarządzaniu zasobami naturalnymi w uprawie pomidorów, podczas gdy jego połączenie z biostymulatorami można uznać za efektywną i przyszłościową metodę oszczędzania wody bez negatywnych skutków dla jakości owoców pomidora [64].

Biostymulatory i ich wpływ na rośliny poddane stresowi wodnemu zbadano także pod kątem oddziaływania na wzrost i rozwój siewek pomidora. Na potrzeby badań stworzono warunki łagodnego niedoboru wodnego dla sadzonek pomidora. W toku doświadczenia wykazano znaczące zmniejszenie wzrostu sadzonek i RGR (25%) po 7-dniowym eksperymencie. Parametry wymiany gazowej ( $P_n$ ,  $G_s$  i  $E$ ) miały znacznie niższe wartości (o 30–50%) w stosunku do siewek kontrolnych. Metabolit związany ze stresem, ABA, wykazywał znaczną akumulację w sadzonkach pomidorów (24 h), co było zgodne z ekspresją genu *SINCE2*. Analiza wyników wykazała, że poziom proliny był dwukrotnie wyższy w sadzonkach poddanych działaniu niedoboru wody i pozostał na tym poziomie do końca badań. Jednak całkowita zawartość węglowodanów była znacznie niższa w sadzonkach poddanych działaniu niedoboru wody. Analiza jakościowa i ilościowa wykazała, że zastosowanie zmiennej „akumulacji biomasy siewek” może uprościć metodologię badania. W tym przypadku testowano 12 różnych biostymulatorów, a wprowadzenie tego uproszczenia spowodowało, że wszystkie one wykazały wyższą akumulację biomasy w siewkach poddanych obróbce niż w sadzonkach niepoddanych obróbce w warunkach deficytu wody. Wśród zastosowanych biostymulatorów najskuteczniejszymi były: putrescyna, spermina i spermidyna [55].

Na roślinach pomidora przeprowadzono także badania dotyczące biostymulatorów Seed+ i Crop+ w różnych warunkach wodnych. Doświadczenie założono w szklarni, z dwoma terminami stosowania biostymulatorów, tj. w czasie kwitnienia i owocowania, w dwóch warunkach wodnych gleby (50 i 100% pojemności wodnej gleby) i przy użyciu sześciu biostymulatorów (kontrola; Seed+; Seed+ + Crop+ 1x; Seed+ + Crop+ 2x; Crop+ 1x; + Crop+ 2x). Biostymulatory Seed+ i Crop+ zwiększyły wydajność kwantową fotosystemu II ( $F_v/F_m$ ), niezależnie od czasu aplikacji i stanu wody w glebie. Biostymulatory Seed+ + Crop+ 2x i Crop+ 2x wyróżniały się w okresie przedpołudniowym, ze średnim  $F_v/F_m$  wynoszącym 0,813 w badanych warunkach. Najwyższą aktywność SOD zanotowano przy użyciu biostymulatora Crop+ 2x w okresie owocowania i przy deficycie wody. W przypadku POD w warunkach deficytu wody najlepsze wyniki uzyskano z biostymulatorami Seed+ + Crop+ 2x, Crop+ 1x i Crop+ 2x w okresie kwitnienia. Badanie nad biostymulatorami Seed+ i Crop+ może przynieść korzystne skutki w łagodzeniu szkód spowodowanych deficytem wody w uprawie pomidorów [61].

W eksperymencie polowym przeprowadzonym na roślinach pomidora badano wpływ biostymulatora zawierającego betainę glicynową (CycoFlow) aplikowanego w warunkach stresu wodnego. Badania wykazały mniejszy plon u roślin poddanych stresowi suszy w porównaniu z roślinami nawadnianymi. Po aplikacji biostymulatora zarówno rośliny dobrze nawadniane, jak i te poddane stresowi wodnemu charakteryzowały się lepszym plonowaniem. Obecność betainy glicynowej w CycoFlow poprawiła zakres tolerancji roślin pomidora na niedobór wody. Wcześniej udowodniono, że betaina glicynowa stosowana egzogenicznie przez aplikację dolistną znacząco poprawiła przewodnictwo szparkowe roślin pomidora uprawianych w warunkach optymalnego nawodnienia, niedoboru wody lub zasolenia [65]. W badaniu tym zaobserwowano wyższą przewodność szparkową u roślin pomidora traktowanych biostymulatorem. Wolne aminokwasy obecne w biostymulatorze mogły działać jako cząsteczki sygnałowe i promować endogenną biosyntezę fitohormonów, stymulując w ten sposób wzrost, a także zawiązywanie owoców [66]. Po zastosowaniu CycoFlow odnotowano także wyższą żywotność pyłku kwiatowego, co pozwoliło roślinom poddanych stresowi wodnemu uzyskać poziom żywotności pyłku podobny do tego występującego w roślinach dobrze nawodnionych. Osiągnięty poziom może wynikać z wysokiego stężenia proliny obecnej w biostymulatorze, czyli aminokwasu, którego naturalna zawartość w organach kwiatowych jest 10 razy wyższa w porównaniu do liści. Ponadto należy zaznaczyć, że prolina sprzyja translokacji składników odżywczych w kierunku rozwijających się kwiatów [67].

Jak już wcześniej wspomniano, typową reakcją na stres oksydacyjny w warunkach suszy jest zmniejszenie zawartości chlorofilu. Degradacja chlorofilu i/lub niedobór jego syntezy jest ściśle powiązany z poddawaniem rośliny stresowi wodnemu [66]. Zdolność do utrzymania optymalnej zawartości chlorofilu w sytuacjach niedoboru wody może być kluczową cechą determinującą tolerancję na suszę w uprawie pomidorów. Zastosowanie biostymulatora CycoFlow przyniosło pozytywny skutek dla aktywności przeciwutleniaczy w liściach pomidora uprawianego w warunkach ograniczonej dostępności wody. Badania wykazały, że ogólna zawartość karotenoidów i likopenu była wyższa w owocach traktowanych biostymulatorem w porównaniu do owoców na obiektach kontrolnych w dobrze nawodnionych roślinach. Korzystny wpływ CycoFlow na związki fitochemiczne (tj. likopen) może być wynikiem aktywacji określonych mechanizmów molekularnych i fizjologicznych związanych z metabolizmem azotu [68]. Wyższa produkcja i akumulacja likopenu przy zastosowaniu biostymulatora może być postrzegana jako wartość dodana wspierająca zdrowie ludzi [69].

Goñi [70] badała wpływ biostymulatorów z grupy *Ascophyllum nodosum* (ANE) na zwiększanie tolerancji upraw pomidora na stres suszy. Badania wykazały, że bio-

stymulatory ANE zapewniły różne poziomy tolerancji dla roślin pomidora podanych niedoborom wody. Poziom tolerancji na suszę był związany ze zmianami stężenia osmolitów. Zaobserwowano także wyraźne różnice fenotypowe między formacjami ANE pod koniec okresu suszy, przy czym ANE A utrzymywała lepszy wzrost roślin bez objawów niedoboru wody. Fizjologiczne pomiary osmolitów potwierdzały metaboliczne/fizjologiczne podstawy tego efektu. Transkrypcja genów i analiza proteomiczna białek chroniących przed stresem wspierały potencjalny sposób działania dla zapewnienia tej tolerancji. Badanie wykazało, że chociaż istniały podobieństwa między dwoma ANE pod względem ich wpływu na mierzone markery, zakres tolerancji był różny, przy czym ANE A zapewnił większą tolerancję niż ANE C. Podsumowując, należy stwierdzić, iż mimo że wszystkie biostymulatory ANE zostały wyprodukowane z tego samego surowca, ich zdolność do utrzymania produktywności upraw podczas i po ustaniu działania niedoboru wody nie była taka sama [70].

Stres wodny negatywnie wpływa także na sadzonki cząbrzu. Warunki umiarkowanego i silnego niedoboru wody doprowadziły do zmniejszenia produkcji suchej masy o 11% i 33%. Dolistna aplikacja aminokwasów zwiększyła ilość suchej masy o 22%, zawartość olejku eterycznego o 31% i plon cząbrzu o 57% w porównaniu z zabiegiem bez nawożenia biostymulatorami. Zastosowanie aminokwasów poprawiło jakość olejku eterycznego cząbrzu: zwiększyła się zawartość składników olejku eterycznego, w tym karwakrolu, gamma-terpinenu, alfa-terpinenu i p-cymenu. Dolistne stosowanie aminokwasów może skutecznie zwiększać tolerancję roślin na stres wodny, jednocześnie zwiększając ilość i podnosząc jakość olejku eterycznego u roślin leczniczych i aromatycznych [71].

## Podsumowanie

Brak wody i zwiększona konkurencja o jej zasoby między rolnictwem a innymi sektorami wymagają poszukiwania alternatywnych i nowoczesnych strategii zarządzania uprawami, które mogą pozwolić na oszczędzanie wody do nawadniania i utrzymywanie zadowalający poziom produkcji roślinnej. Jedną z nowych metod, które można wykorzystać do poprawy reakcji roślin na stresory środowiskowe, jest zastosowanie biostymulatorów. Dotychczasowe badania naukowe wskazują na korzystny wpływ takich substancji na odżywianie i wzrost oraz rozwój roślin. Kluczowa rola biostymulatorów podkreśla znaczenie poszerzenia wiedzy na temat ich funkcji fizjologicznych, które wciąż pozostają niejasne i stanowią szeroki obszar do prowadzenia dalszych prac naukowych. Wyniki dotychczasowych badań naukowych wskazują, że biostymulatory łagodzą objawy stresu również w uprawach ogrodniczych. Pozytywne skutki zastosowania hydrolizatów białkowych do-

wodzą, że mogą być one zastosowane jako środki chroniące rośliny uprawne przed stresorami środowiskowymi, a to ma ogromne znaczenie w obecnym globalnym scenariuszu zmian klimatycznych.

Biostymulatory w ostatnich latach stają się realną korzyścią dla rolnictwa, ponieważ stanowią ekologiczną alternatywę dla tradycyjnych środków ochrony roślin, zyskując coraz większą akceptację rolników, którzy doceniają ich wpływ na zwiększenie tolerancji roślin na stesy biotyczne i abiotyczne.

## Literatura

- [1] Searchinger T., Hanson C., Ranganathan J., Lipinski B., Waite R., Winterbottom R., Dinshaw A., Heimlich R., Installment 1 of “Creating a Sustainable Food Future” The Great Balancing Act, World Resources Institute, Washington 2013.
- [2] Povero G., Mejia J.F., Di Tommaso D., Piaggese A., Warrior P.A., Systematic approach to discover and characterize natural plant biostimulants, *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7, s. 435.
- [3] Waskiewicz A., Gładysz O., Beszterda M., Goliński P., Water stress and vegetable crops, *Water Stress Crop Plants Sustain, Approach*, 2016, 2, s. 393–411.
- [4] Giordano M., Petropoulos S.A., Response and Defence Mechanisms of Vegetable Crops against Drought, Heat and Salinity Stress, *Agriculture*, 2021, 11, s. 463.
- [5] Sierra S., Borges A.A., Herrera A.J., Luis J.C., New Biostimulants Screening Method for Crop Seedlings under Water Deficit Stress, *Agronomy* 2022, 12, 728. DOI: org/10.3390/agronomy12030728.
- [6] Kopcewicz J., Lewak S., *Fizjologia roślin*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
- [7] *Fizjologia roślin. Od teorii do nauk stosowanych*, (red.) M. Kozłowska M., PWRiL, Poznań 2007.
- [8] Blum A. Drought Resistance, Water-Use Efficiency, and Yield Potential – Are They Compatible, Dissonant, or Mutually Exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research*, 2005, 56, 1159–1168.
- [9] Bray E., Bailey-Serres J., Weretlińyk E., Responses to Abiotic Stresses, [w:] *Bio-chemistry and Molecular Biology of Plants*, (red.) B. Buchanan, W. Gruissem, R. Jones, American Society of Plant Physiology, 2000, s. 1158–1203.
- [10] Karczmarczyk S., Nowak L., *Nawadnianie roślin*, PWRiL, Poznań 2006.
- [11] Eyvaz M., *Drought: effects and management*, IntechOpen, Londyn 2022.
- [12] He Y., Fang J., Xu W., Shi P., Substantial Increase of Compound Droughts and Heatwaves in Wheat Growing Seasons Worldwide, *International Journal of Climatology*, 2021, 10(42), s. 5038–5054.
- [13] Dolan F., Lamontagne J., Link R., Hejazi M., Reed P., Edmonds J., Evaluating the Economic Impact of Water Scarcity in a Changing World, *Nature Communications*, 2021, 12, s. 1915.

- [14] Lopez-Nicolas A., Pulido-Velazquez M., Macian-Sorribes H., Economic Risk Assessment of Drought Impacts on Irrigated Agriculture, *Journal of Hydrology*, 2017, 550, s. 580–589.
- [15] Barnabas B., Jager K., Feher A., The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals, *Plant, Cell & Environment*, 2008, 31, s. 11–38.
- [16] Costa J.M., Ortuño M.F., Chaves M.M., Deficit irrigation as a strategy to save water: Physiology and potential application to horticulture, *Journal of Integrative Plant Biology*, 2007, 49, s. 1421–1434.
- [17] Wilkinson S., Davies W.J., Drought, ozone, ABA and ethylene: new insights from cell to plant to community, *Plant, Cell & Environment*, 2010, 33(4), s. 510–525. doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02052.x.
- [18] Fang Y., Xiong L., General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants, *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2015, 72, s. 673–689. doi.org/10.1007/s00018-014-1767-0.
- [19] Roohi E., Tahmasebi-Sarvestani Z., Modarres-Sanavy S.A.M., Siosemardeh A., Comparative study on the effect of soil water stress on photosynthetic function of triticale, bread wheat, and barley, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2013, 15, s. 215–228.
- [20] Galon L., Concenço G., Ferreira E.A., Aspiazú I., da Silva A.F., Giacobbo C.L., Andres A., Influence of biotic and abiotic stress factors on physiological traits of sugarcane varieties, [w:] *Photosynthesis*, (red.) Z. Dubinsky, InTech, Rijeka, Croatia 2013.
- [21] Jastrzębska M., Kostrzewska M.K., Wanic M., Wpływ deficytu wody i interakcji międzygatunkowych na wybrane parametry fizjologiczne roślin jęczmienia jarego i koni-czyny czerwonej, *Fragmenta Agronomica*, 2016, 33(4), s. 44–59.
- [22] Akinci Ş., Lösel D.M., Plant water-stress response mechanisms, [w:] *Water Stress*, (red.) I.Md.M. Rahman, InTech, Rijeka, Croatia, 2012.
- [23] Bertamini M., Zulini L., Muthuchelian K., Nedunchezian N., Effect of water deficit on photosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) plants, *Photosynthetica*, 2006, 44, s. 151–154.
- [24] Lawlor D.W., Tezara W., Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in waterdeficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes, *Annals of Botany*, 2009, 103, s. 561–579.
- [25] Carrão H., Naumann G., Barbosa P., Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-nationalestimates of hazard, exposure, and vulnerability, *Global Environmental Change*, 2016, 39, s. 108–124.
- [26] Wilhite D.A., Quantification of agricultural drought for effective drought mitigation and preparedness, *Key issues and challenges*, [w:] (red.) M.V.K. Sivakumar, R.P. Motta, D.A. Wilhite, D.A. Wood, *Agricultural Drought Indices: Proceedings of an Expert Meeting, June 2–4, 2010, Murcia, Spain*, World Meteorological Organization, Geneva 2011, s. 13–21.
- [27] Monneveux P., Okono A., Ribaut J.M., Facing the challenges of global agriculture today: what can we do about drought?, *Frontiers Physiology*, 2013, 4, s. 289. doi.org/10.3389/fphys.2013.00289.

- [28] Reguera M., Peleg Z., Blumwald E., Targeting metabolic pathways for genetic engineering abiotic stress-tolerance in crops, *Biochimica Biophysica Acta-Gene Regulatory Mechanism*, 2012, 1819(2), s. 186–194. doi.org/10.1016/j.bbagr.2011.08.005.
- [29] James C., 20th Anniversary (1996 to 2015) of the Global Commercialization of Biotech Crops and Biotech Crop Highlights in 2015, ISAAA Brief nr 51, ISAAA, Ithaca, NY, 2015.
- [30] Szmjdt-Jaworska A., Kopcewicz J., *Fizjologia roślin*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2021, s. 191–194.
- [31] Hinsinger P., Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review, *Plant and Soil*, 2001, 237(2), s. 173–195.
- [32] Epstein E., Bloom A.J., *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*, Sinauer Associates Inc. Sunderland, 2005.
- [33] Gupta N., Gaurav S.S., Kumar A., Molecular Basis of Aluminium Toxicity in Plants A Review, *American Journal of Plant Sciences*, 2013, 4, s. 21–37.
- [34] Taiz L., Zeiger E., *Plant Physiology*, Sinauer Associates Inc., Sunderland 2010.
- [35] Marschner H., *Mineral Nutrition of Higher Plants*, Academic Press, Australia, 2012.
- [36] Van Oosten M.J., Pepe O., De Pascale S., Silletti S., Maggio A., The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants, *Chemical Biological Technologies Agriculture*, 2017, 4, s. 5.
- [37] Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019.
- [38] Du Jardin P., Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation, *Scientia Horticulturae*, 2015, 16, s. 3–14.
- [39] Mackiewicz-Walec E., Olszewska M., Biostimulants in the Production of Forage Grasses and Turfgrasses, *Agriculture*, 2023, 13, s. 1796. doi.org/10.3390/agriculture13091796.
- [40] Kulkarni M., Nikam T., Biostimulants: Definition, classification and role in horticulture, *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2019, 8(2), s. 245–252.
- [41] Colla G., Roupheal Y., Canaguier R., Svecova E., Cardarelli M., Bonini P., Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis, *Frontiers in Plant Science*, 2014, 5, s. 448.
- [42] Stirk W.A., Tarkowská D., Turečová V., Strnad M., Van Staden J., Abscisic acid, gibberellins and brassinosteroids in Kelpak, a commercial seaweed extract made from *Ecklonia maxima*, *Journal of Applied Phycology*, 2014, 26(1), s. 561–567.
- [43] Bulgari R., Franzoni G., Ferrante A., Biostimulants and crop responses: a review, *Biological Agriculture & Horticulture*, 2015, 31(1), s. 1–17.
- [44] Sharma H.S.S., Fleming C., Selby C., Suppression of water stress-induced abscisic acid accumulation by exopolysaccharides from *Piriformospora indica* is dependent on pattern recognition receptors and mitogen-activated protein kinases, *Plant Physiology*, 2014, 164(4), s. 1686–1698.
- [45] Calvo P., Nelson L., Kloepper J.W., Agricultural uses of plant biostimulants, *Plant and Soil*, 2014, 383(1–2), s. 3–41.

- [46] Fernandes Â., Chaski C., Pereira C., Kostić M., Roupael Y., Soković M., Barros L., Petropoulos S.A., Water Stress Alleviation Effects of Biostimulants on Greenhouse-Grown Tomato Fruit, *Horticulturae*, 2022, 8, s. 645. doi.org/10.3390/horticulturae8070645.
- [47] Khan W., Rayirath U.P., Subramanian S., Jithesh M.N., Rayorath P., Hodges D.M., Critchley A., Craigie J., Norrie J., Prithiviraj B., Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development, *Journal Plant Growth Regulation*, 2009, 28, s. 386–399. doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x.
- [48] Craigie J., Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture, *Journal Applied Phycology*, 2011, 23, s. 371–393. doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4.
- [49] Spann T.M., Little H.A., Applications of a commercial extract of the brown sea-weed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown ‘Hamlin’ sweet orange nursery trees, *Hortscience*, 2011, 46(4), s. 577–582.
- [50] Elansary H.O., Skalicka-Woźniak K., King I.W., Enhancing stress growth traits as well as phytochemical and antioxidant contents of *Spiraea* and *Pittosporum* under seaweed extract treatments, *Plant Physiology Biochemistry*, 2016, 105, s. 310–320. doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.05.024.
- [51] García-García A.L., García-Machado F.J., Borges A.A., Morales-Sierra S., Boto A., Jiménez-Arias D., Pure Organic Active Compounds Against Abiotic Stress: A Biostimulant Overview, *Frontiers Plant Service* 2020, 11, s. 1839.
- [52] Rai N., Rai S.P., Sarma B.K., Prospects for Abiotic Stress Tolerance in Crops Utilizing Phyto- and Bio-Stimulants, *Frontiers Sustainable Food Systems*, 2021, 5, s. 754–853. doi: 10.3389/fsufs.2021.754853.
- [53] Sible C.N., Seebauer J.R., Below F.E., Plant Biostimulants: A Categorical Review, Their Implications for Row Crop Production, and Relation to Soil Health Indicators, *Agronomy*, 2021, 11, s. 1297.
- [54] Sikorska A., Gugala M., Biostymulatory – moda czy potrzeba?, *Mazowiecki Ośrodek Doradztwa Rolniczego, Siedlce*, 2017.
- [55] Hernandez A.E., Jiménez-Arias D., Morales-Sierra S., Borges A.A., De Diego N., Addressing the contribution of small molecule-based biostimulants to the biofortification of maize in a water restriction scenario, *Frontiers in Plant Science*, 13, 944066, 2022.
- [56] Jiménez-Arias D., García-Machado F.J., Morales-Sierra S., Luis J.C., Suarez E., Hernández M., Valdés F., Borges A.A., Lettuce Plants Treated with L-Pyroglutamic Acid Increase Yield under Water Deficit Stress, *Environmental Experimental Botany*, 2019, 158, s. 215–222.
- [57] Jiménez-Arias D., García-Machado F.J., Morales-Sierra S., Suárez E., Pérez J.A., Luis J.C., Garrido-Orduña C., Herrera A.J., Valdés F., Sandalio L.M., Borges A.A., Menedione sodium bisulphite (MSB): Beyond seed-soaking. Root pretreatment with MSB primes salt stress tolerance in tomato plants, *Environmental and Experimental Botany*, 2019, 157, s. 161–170. doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.10.009.

- [58] Jiménez-Arias D., Morales-Sierra S., Borges A.A., Díaz D.D., Biostimulant Nanoencapsulation: The New Keystone to Fight Hunger, *Journal Agricultural Food Chemistry*, 2020, 68, s. 7083–7085.
- [59] Rabêlo V.M., Magalhães P.C., Bressanin L.A., Carvalho D.T., dos Reis C.O., Karam D., Doriguetto A.C., dos Santos M.H., Santos Filho P.R.d.S., de Souza T.C., The Foliar Application of a Mixture of Semisynthetic Chitosan Derivatives Induces Tolerance to Water Deficit in Maize, Improving the Antioxidant System and Increasing Photosynthesis and Grain Yield, *Scientific Reports*, 2019, 9, s. 8164.
- [60] Shemi R., Wang R., Gheith E.S.M.S., Hussain H.A., Hussain S., Irfan M., Cholidah L., Zhang K., Zhang S., Wang L., Effects of Salicylic Acid, Zinc and Glycine Betaine on Morpho-Physiological Growth and Yield of Maize under Drought Stress, *Scientific Reports*, 2021, 11, s. 3195.
- [61] Peripolli M., Dornelles S.H.B., Lopes S.J., Tabaldi L.A., Trivisoli V.S., Rubert J., Application of biostimulants in tomato subjected to water deficit: Physiological, enzymatic and production responses, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25 (2), 2021.
- [62] Colla G., Rouphael Y., Biostimulants in horticulture, *Scientia Horticulturae*, 2015, 196, s. 1–134.
- [63] Fernandes Â., Figueiredo S., Finimundy T.C., Pinela J., Tzortzakis N., Ivanov M., Sokovi M., Ferreira I.C.F.R., Petropoulos S.A., Chemical Composition and Bioactive Properties of Purple French Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as Affected by Water Deficit Irrigation and Biostimulants Application, *Sustainability*, 2021, 13, s. 68–69.
- [64] Sharma A., Shahzad B., Rehman A., Bhardwaj R., Landi M., Zheng B., Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress, *Molecules*, 2019, 24, s. 2452.
- [65] Rigano M.M., Lionetti V., Raiola A., Bellincampi D., Barone A., Pectic enzymes as potential enhancers of ascorbic acid production through the d-galacturonate pathway in Solanaceae, *Plant Science*, 2018, 266, s. 55–63.
- [66] Guo Y.Y., Yu H.Y., Kong D.S., Yan F., Zhang Y.J., Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence of *Lycium ruthenicum* Murr. seedling, *Photosynthetica*, 2016, 54, s. 1–7.
- [67] Sato S., Kamiyama M., Iwara T., Makita N., Furukawa H., Ikeda H., Moderate increase of mean daily temperature adversely affects fruit set of *Lycopersicon esculentum* by disrupting specific physiological processes in male reproductive development, *Annals Botany*, 2006, 97, s. 731–738.
- [68] Ertani A., Pizzeghello D., Francioso O., Sambo P., Sanchez-Cortes S., Nardi S., *Capsicum chinensis* L. growth and nutraceutical properties are enhanced by biostimulants in a long-term period: Chemical and metabolomic approaches, *Frontiers Plant Science*, 2014, 5, s. 375.
- [69] Erba D., Casiraghi M.C., Ribas-Agustí A., Cáceres R., Marfà O., Castellari M., Nutritional value of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) grown in greenhouse by different agronomic techniques, *Journal Food Composition Analysis*, 2013, 31, s. 245–251.

- [70] Goñi O., Quille P., O'Connell S., Ascophyllum nodosum extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants, *Plant Physiology and Biochemistry*, 2018, 126, s. 63–73.
- [71] Rezaei-Chiyaneh E., Mahdavia H., Alipour H., Dolatabadian A., Battaglia M.L., Harrison M.T., Biostimulants alleviate water deficit stress and enhance essential oil productivity: a case study with savory, *Scientific Reports*, 2023, 13, s. 720.

## **Konserwanty – niezbędne dla przedłużenia okresu przydatności preparatu kosmetycznego**

### **Preservatives – indispensable in prolonging the shelf life of a cosmetic preparation**

Oliwia Szambora, Katarzyna Paradowska

Zakład Chemii Organicznej i Fizycznej, Wydział farmaceutyczny, Warszawski Uniwersytet Medyczny, ul. Banacha 1, 02-097 Warszawa

---

**Słowa kluczowe:** konserwant, substancje dodatkowe, trwałość produktu kosmetycznego, bezpieczeństwo

**Keywords:** preservatives, additives, shelf life, safety in application

---

### **Streszczenie**

Wiadomo, iż dodatki do żywności (konserwanty) są niezbędne. Współczesny przemysł spożywczy, kosmetyczny i farmaceutyczny nie mógłby bez nich egzystować. Znajdziemy je także w produktach pochodzenia ekologicznego (konserwanty naturalne). Substancje dodatkowe są stosowane do żywności przede wszystkim w celu przedłużenia trwałości produktów. Ich obecność ogranicza, a często również zapobiegania niekorzystnym zmianom powodowanym głównie przez drobnoustroje, enzymy czy procesy utleniania. Obecność konserwantów przeciwdziała także niekorzystnym zmianom pod względem jakości, które determinują zmiany barwy, smaku, zapachu, konsystencji. Substancje dodatkowe budzą wiele obaw; przeciętny konsument chciałby jeść produkty bezpieczne, smaczne, o atrakcyjnym wyglądzie i długim okresie przechowywania, ale najlepiej „bez konserwantów”. Tymczasem należy podkreślić, że stosowanie substancji dodatkowych zabezpiecza produkt przed tworzeniem się substancji szkodliwych, które mogłyby stanowić zagrożenie dla zdrowia człowieka – np. dodatek azotynów zapobiega rozwojowi *Clostridium botulinum* (pałeczka jadu kielbasianego), a związki o właściwościach przeciwutleniających (antyoksydanty) przeciwdziałają jęlczeniu tłuszczu. W artykule przedstawiono przegląd wiedzy dotyczący substancji konserwujących pochodzenia naturalnego, jak i tych pochodzenia syntetycznego oraz ich wpływ na trwałość preparatów kosmetycznych i bezpieczeństwo ich stosowania.

### **Abstract**

It is widely acknowledged that food additives, including preservatives, are indispensable. The contemporary food, cosmetic and pharmaceutical industries are inextricably linked to the use of these additives, which are indispensable to their functioning. Additionally, natural

preservatives can be found in products of organic origin. The primary function of food additives is to extend the shelf life of products. The presence of these substances limits and often prevents adverse changes caused mainly by microorganisms, enzymes or oxidation processes. Furthermore, the presence of preservatives serves to counteract unfavourable quality changes, including alterations in colour, taste, odour and texture. The use of additives gives rise to a number of concerns among consumers. The typical consumer desires products that are safe, palatable, aesthetically pleasing, and have a long shelf life, but they prefer this without the use of preservatives. It is important to note that the use of additives serves to safeguard the product from the formation of harmful substances that could potentially pose a risk to consumer health. For instance, the addition of nitrites prevents the growth of *Clostridium botulinum* (which causes botulism), while compounds with antioxidant properties (antioxidants) counteract the rancidity of fat. This article provides an overview of the current knowledge regarding the use of natural and synthetic preservatives, and their impact on the durability and safety of their use.

## Wstęp

Kosmetyki to grupa produktów, na które jest ciągle popyt, i to niezależnie od sytuacji ekonomicznej. Jednakże rosnące wymagania klientów wymuszają na producentach tych środków produkcję coraz lepszych i nowocześniejszych wyrobów [32–34]. Konsumenci oczekują, że kosmetyki, które do nich trafiają, będą z jednej strony skuteczne i innowacyjne, a z drugiej – bezpieczne dla nich oraz dla środowiska [35, 36]. Wśród składników kosmetyków znaczącą rolę odgrywają konserwanty. Ich rola sprowadza się do zabezpieczenia środka kosmetycznego przed zmianami wizualnymi zachodzącymi w samym wyrobie, jak również zmianami w jego sposobie działania [37].

Wiele sektorów przemysłowych, takich jak przemysł farmaceutyczny, kosmetyczny czy spożywczy, stosuje konserwanty w celu przedłużenia okresu przydatności produktów oraz zapewnienia odpowiedniej czystości mikrobiologicznej. Substancje konserwujące definiowane są różnie – w zależności od kraju i kontekstu regulacyjnego. W Unii Europejskiej definicja i regulacja konserwantów w kosmetykach jest zawarta w Rozporządzeniu (WE) nr 1223/2009 dotyczącym produktów kosmetycznych. Zgodnie z tym rozporządzeniem konserwanty to substancje dodawane do produktów kosmetycznych wyłącznie lub głównie w celu hamowania rozwoju mikroorganizmów w tych produktach. Natomiast konserwanty w farmaceutykach są regulowane przez różne przepisy, w tym przez Europejską Farmakopeę, która dostarcza standardów dotyczących jakości leków i substancji stosowanych w farmacji. Europejska Agencja Leków (European Medicines Agency – EMA) także odgrywa rolę regulatora tych substancji. Według niej konserwanty w produktach leczniczych to substancje dodawane do nich w celu ich ochrony przed skażeniem mikrobiologicznym, które mogłyby wpłynąć na bezpieczeństwo i skuteczność produktu.

Konserwanty to związki, które mogą być zarówno syntetyczne, jak i naturalne, o działaniu przeciwbakteryjnym oraz przeciwgrzybiczym, dzięki czemu chronią wyroby przed psuciem i utratą właściwości chemicznych i fizycznych, np. stabilizują kolor, zapach i konsystencję produktów. Ich działanie jest również istotne w kontekście ochrony zdrowia konsumentów, ponieważ wpływają hamująco na powstawanie produktów przemiany materii drobnoustrojów, które często wywołują podrażnienia skóry i błon śluzowych, minimalizując tym samym prawdopodobieństwo wystąpienia alergii oraz innych niepożądanych efektów.

Przy wyborze odpowiednich konserwantów należy zwrócić szczególną uwagę na czynniki warunkujące skuteczność ich działania i przeznaczenie produktu. Ze względu na ich zróżnicowaną budowę i mechanizm działania, aby uzyskać zadowalające rezultaty, powinno się dobrać m.in. odpowiednie pH, temperaturę przechowywania produktu czy stężenie konserwantu. Dodatkowo substancje konserwujące muszą spełniać odpowiednie kryteria, aby mogły zostać dopuszczone do obiegu [1].

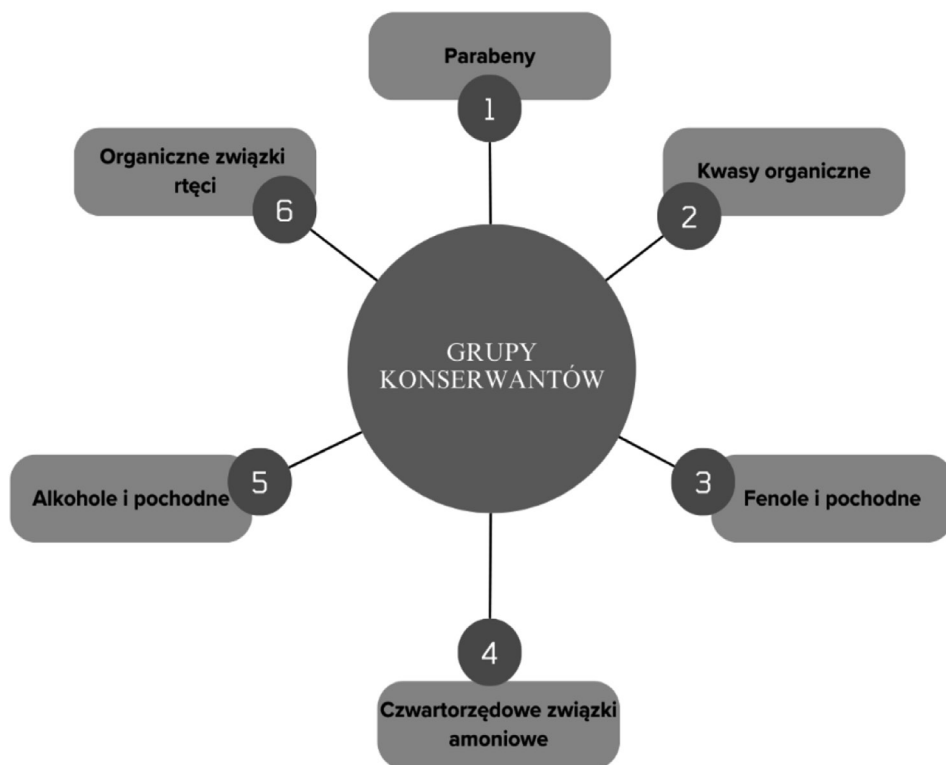
Wymogi stawiane konserwantom to m.in. brak zapachu, smaku oraz barwy, posiadanie właściwości liofilowych i hydrofilowych [2, 3]. Nie powinny wchodzić w interakcję z innymi składnikami produktu ani wpływać na jego działanie czy właściwości. Oczekuje się, że będą działały w niskich stężeniach, nie będą wywoływać działania toksycznego, alergizującego ani drażniącego. Dodatkowo ważne jest, aby wykazywały aktywność biobójczą wobec szerokiego spektrum drobnoustrojów i utrudniały wytwarzanie form opornych. Powinny przejawiać trwałość i aktywność w szerokim zakresie pH oraz temperatury [3].

Niestety żaden z obecnie znanych konserwantów nie spełnia wszystkich wymienionych powyżej warunków. Ponadto w ostatnich dekadach przeprowadzono wiele badań, które wykazały różne skutki uboczne stosowania tych środków. To wraz z rosnącą świadomością konsumentów i trendem na produkty ekologiczne napędza zainteresowanie wykorzystywaniem substancji konserwujących pochodzenia naturalnego [3].

Ekstrakty roślinne czy olejki eteryczne stanowią alternatywę dla tradycyjnych syntetycznych konserwantów, zapewniając podobne korzyści przy mniejszym ryzyku skutków ubocznych. Obecnie prowadzonych jest coraz więcej badań w poszukiwaniu nowych, skutecznych konserwantów naturalnych, co daje nadzieję na ich szersze zastosowanie w przyszłości [4].

## **Konserwanty syntetyczne**

Konserwanty syntetyczne możemy podzielić na kilka głównych grup, są to: alkohole i pochodne, kwasy organiczne, fenol (Rysunek 1) i jego pochodne, estrы kwasu p-hydroksybenzoesowego, organiczne związki rtęci, czwartorzędowe związki amoniowe.



**Rysunek 1.** Schemat podziału konserwantów.

**Figure 1.** The following schematic overview illustrates the various preservatives.

Źródło: własne.

### ***Alkohole i pochodne***

Jest to grupa związków organicznych posiadających co najmniej jedną grupę hydroksylową (-OH). Alkohole i ich pochodne znalazły szczególne zastosowanie w produktach farmaceutycznych i kosmetycznych jako środki konserwujące. Mechanizm ich działania opiera się na denaturacji białek, destabilizacji struktur błon komórkowych czy zaburzaniu mechanizmów metabolicznych drobnoustrojów. Wykazano działanie bakteriobójcze i wirusobójcze alkoholi, pozostają one jednak obojętne wobec postaci przetrwalnikowych.

Do najczęściej stosowanych należy alkohol etylowy, działający jako rozpuszczalnik i konserwant. Pomaga on w stabilizacji formuł i poprawia ich właściwości aplikacyjne. Często używany jest w produktach do dezynfekcji, takich jak żele antybakteryjne. Innym przykładem godnym uwagi jest alkohol benzyłowy (Rysunek 2a), stosowany jako konserwant w preparatach do pielęgnacji skóry, często używany w połączeniu z innymi konserwantami [1, 3].

### ***Kwasy organiczne***

Kwasami organicznymi nazywamy związki chemiczne zawierające grupę karboksylową (-COOH). Stosujemy je jako konserwanty przeciwko drobnoustrojom, dla których pH optymalne do przeżycia i namnażania mieści się w granicach 4–9 pH. Co istotne, związki te wykazują działanie przeciwgrzybicze i przeciwbakteryjne wyłącznie w formach niezdisocjowanych. Kwas benzoowy stosowany jest jako konserwant w kosmetykach i farmaceutykach. Działa przeciwbakteryjnie i przeciwgrzybiczo, skutecznie zapobiegając rozwojowi mikroorganizmów w produktach. Jest często używany w połączeniu z innymi konserwantami, aby poprawić skuteczność ochrony przed mikroorganizmami. Natomiast kwas sorbowy stosowany jest jako konserwant w celu zapobieżenia rozwojowi pleśni i drożdży. Jest on szczególnie efektywny w szerokim zakresie pH [1, 3].

### ***Fenol i pochodne***

Są to organiczne związki chemiczne, których grupa hydroksylowa jest bezpośrednio związana z atomem węgla w pierścieniu aromatycznym. Fenol jest szeroko stosowany w medycynie do konserwacji m.in. szczepionek, surowic, heparyny czy insuliny cynkowo-protaminowej. Ze względu na szerokie spektrum działania dodawany jest także do środków antyseptycznych. Wykazuje szybkie działanie na wegetatywne pałeczki bakterii Gram-ujemnych, pozostając obojętny na grzyby i formy przetrwalnikowe bakterii. W kosmetyce jego stosowanie jest ograniczone, co związane jest z jego toksycznością i potencjalnym działaniem drażniącym na skórę i błony śluzowe. Dlatego bardziej popularne stały się jego pochodne, które nie tylko mają silniejsze działanie przeciwdrobnoustrojowe, ale też są mniej toksyczne. Eugenol jest naturalną pochodną fenolu występującą w olejku goździkowym stosowanym w produktach do pielęgnacji skóry i jamy ustnej. Chlorokrezol jest substancją czynną szeroko stosowaną w kosmetykach i farmaceutykach ze względu na swoją stabilność w szerokim zakresie pH i właściwości przeciwgrzybicze i przeciwbakteryjne [1, 3].

### ***Estry kwasu p-hydroksybenzoowego***

Znane są także pod nazwą parabeny (Rysunek 2b) czy nipaginy. Są to związki chemiczne otrzymywane z kwasu p-hydroksybenzoowego (p-HBA,  $C_7H_6O_3$ ), gdzie grupa hydroksylowa (-OH) w kwasie karboksylowym zastępowana jest grupą alkoksylową (-OR). Ich wzór ogólny to  $R-C_6H_4-COOR'$ , gdzie R to grupa alkilowa bądź aryłowa, natomiast R' – grupa alkilowa typowo metylowa, etylowa, propanowa, butylowa. Różnią się między sobą mechanizmem działania, a także specyficznością przeciwdrobnoustrojową. Są szeroko stosowane we wszystkich gałęziach przemysłu. Jednocześnie pomimo wykazanego niskiego działania alergizującego, ze względu na swoją powszechność uważane są za najczęściej alergizujące konserwanty. W ostat-

nich latach pojawiło się wiele badań odnoszących się do innych skutków stosowania parabenów takich jak: aktywność estrogenowa czy zapalenie spojówek oczu. Metyloparaben stosowany jest w kremach, balsamach, szamponach oraz lekach miejscowych. Jest efektywnym konserwantem o działaniu przeciwbakteryjnym i antygrzybicznym, dobrze tolerowanym przez skórę. Etyloparaben znajduje zastosowanie w podobnych produktach co metyloparaben, często używany jest w kombinacji z innymi parabenami dla wzmocnienia efektu konserwującego. Propyloparaben jest bardziej lipofilowy niż metyloparaben i etyloparaben, co zwiększa jego skuteczność w produktach tłustych, takich jak kremy czy balsamy. Z reguły wykorzystywane są kombinacje parabenów dla zwiększenia ich skuteczności oraz zakresu działania [1, 3].

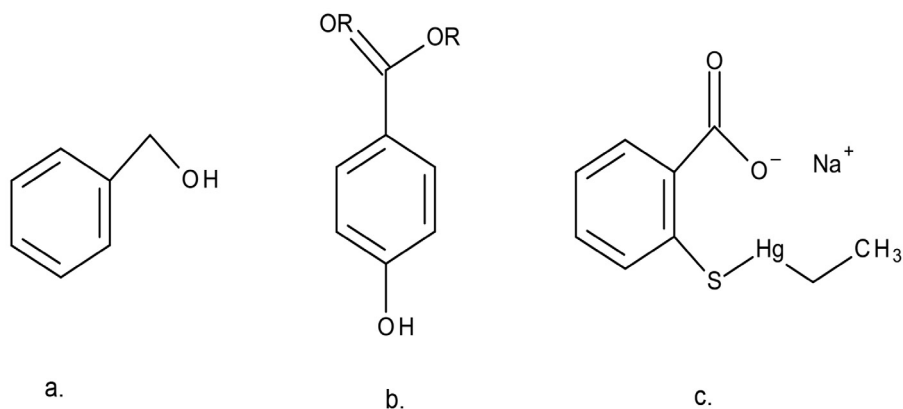
### **Organiczne związki rtęci**

Rtęć w tych związkach połączona jest z rodnikami alkilowymi bądź aryłowymi, co utrudnia uwalnianie jonów rtęci. Są one mało toksyczne i drażniące, a także wykazują silniejsze działanie przeciwgrzybicze i przeciwbakteryjne niż nieorganiczne związki rtęci. Przykładem takiego konserwantu jest tiomersal (Rysunek 2c), o wzorze  $C_9H_9HgNaO_2S$ , który działa już w stężeniach od 0,001 do 0,1%. Stosowany jest do konserwacji w wielodawkowych fiolkach szczepionek oraz kroplach do oczu i nosa [1, 3].

### **Czwartorzędowe związki amoniowe**

Czwartorzędowe związki amoniowe to organiczne związki chemiczne, w których atom azotu połączony jest z czterema grupami alkilowymi lub aryłowymi oraz jedną grupą anionową. Ich wzór ogólny to  $R_1R_2R_3R_4N^+X^-$ , gdzie  $R_1, R_2, R_3, R_4$  to grupy aryłowe lub alkilowe,  $N^+$  to kation azotu czwartorzędowego, zaś  $X^-$  jest anionem, z reguły halogenkiem lub innym jonem. Kationy amoniowe łatwo łączą się z ujemnymi grupami fosfolipidowymi błony komórkowej, umożliwiając tym samym wnikanie do niej fragmentów soli o długich łańcuchach węglowych. Wpływa to negatywnie na funkcjonowanie błon komórkowych mikroorganizmów. Ponadto kationy amoniowe mogą prowadzić do wytrącania się białek komórkowych. Czwartorzędowe związki amoniowe wykazują niską toksyczność i szybkie działanie przeciwdrobnoustrojowe. Niestety bakterie bardzo łatwo nabierają na nie oporności, co bardzo ogranicza ich zastosowanie. Chlorek benzalkonium ma szerokie zastosowanie w kropkach do oczu, sprejach do nosa, kremach, balsamach oraz w dezynfekujących żelach do rąk. Chlorek cetrymonium, o wzorze  $C_{19}H_{42}ClN$ , znalazł zastosowanie w preparatach do oczyszczania ran i produktach służących do higieny jamy ustnej [1, 3].

Bardzo często producenci dla lepszej ochrony przeciwdrobnoustrojowej używają mieszaniny różnych konserwantów, takich jak: alkohol etylowy z alkoholem izopropylowym, oraz konserwantów pochodzących z różnych grup chemicznych, jak mieszanina benzoenu sodu, kwasu cytrynowego oraz soli tetrasodowej (EDTA).



**Rysunek 2.** Struktury wybranych konserwantów: alkohol benzylowy (a), paraben (b) i tiomer-salu (c).

**Figure 2.** The following structures are of particular interest: benzyl alcohol (a), paraben (b) and thimerosal (c).

Źródło: własne.

## Konserwanty naturalne

Konieczność poszukiwania rozwiązań mających na celu przedłużenie trwałości żywności przyczyniła się do wynalezienia sposobów, które do dzisiaj wykorzystywane są w naszych kuchniach. Konserwanty naturalne, czyli takie, które są obecne w naszym środowisku, pozyskiwane z naturalnych źródeł, w późniejszym czasie znalazły zastosowanie także w innych gałęziach przemysłu. Do najważniejszych i najbardziej rozpowszechnionych zaliczamy: olej, cukier, sól, ocet, miód oraz przyprawy. Ich właściwości fizyko-chemiczne sprzyjają zahamowaniu wzrostu mikroorganizmów, dzięki czemu wydłużają trwałość wyrobów [5].

W efekcie wzrostu zainteresowania kosmetykami naturalnymi oraz doniesień o szkodliwości konserwantów syntetycznych producenci kosmetyków poszukują substancji naturalnych, mających właściwości przeciwdrobnoustrojowe. Takie wymagania spełniają olejki eteryczne, które wykazują działanie antyutleniające, przeciwbakteryjne i antyseptyczne [38, 39]. Dlatego znalazły one zastosowanie w przemyśle kosmetycznym jako naturalne konserwanty. Olejki eteryczne to lotne mieszaniny związków organicznych, odpowiedzialne za właściwości terapeutyczne i zapach roślin oraz ekstrakty roślinne. Ich właściwości przeciwzapalne, nawilżające, zapachowe i antyoksydacyjne sprawiają, że chętnie są stosowane w przemyśle kosmetycznym i farmaceutycznym. Dzięki tym cechom mogą być zawarte w kosmetykach, których producenci deklarują niestosowanie konserwantów syntetycznych. W takich przypadkach ich działanie przeciwbakteryjne, mimo że istotne, uznawane jest za dodatkową zaletę, a nie za główną funkcję, którą jest zapewnienie trwałości

produktu [6]. Typowe naturalne konserwanty obejmują olejki eteryczne, takie jak drzewo herbaciane i rozmaryn, ekstrakty ziołowe, jak ekstrakt z nasion grejpfruta, oraz naturalne kwasy, m.in. kwas cytrynowy.

Konsumenci często postrzegają naturalne składniki jako bezpieczniejsze od syntetycznych. Mimo tego naturalne konserwanty mogą powodować u osób wrażliwych reakcje alergiczne. Niestołość ich składu, wynikająca z naturalnego pochodzenia, może prowadzić do niespójnej skuteczności i potencjalnych problemów związanych z bezpieczeństwem, jeśli nie są odpowiednio standaryzowane [6]. Dodatkowo, aby uzyskać skuteczność zbliżoną do konserwantów syntetycznych, często należy stosować wyższe stężenia lub kombinacje naturalnych konserwantów. Często wykazują one także węższe spektrum działania przeciwdrobnoustrojowego.

Kolejnym problemem związanym z zastosowaniem naturalnych konserwantów jest ich niestabilność w przypadku zmiennych warunków pH oraz temperatury. Ma to bezpośrednie przełożenie na ich trwałość oraz skuteczność [7]. Zarówno naturalne, jak i syntetyczne środki konserwujące muszą spełniać standardy regulacyjne dotyczące bezpieczeństwa i skuteczności. Producenci naturalnych konserwantów mogą napotykać mniej przeszkód regulacyjnych związanych z obawami o bezpieczeństwo konsumentów, ale nadal muszą udowadniać ich skuteczność.

Chociaż naturalne konserwanty są postrzegane jako bezpieczniejsze i bardziej przyjazne dla środowiska, często brakuje im skuteczności i stabilności o szerokim spektrum działania – cech posiadanych przez konserwanty syntetyczne. Z kolei syntetyczne środki konserwujące zapewniają niezawodną i stałą ochronę przeciwdrobnoustrojową, ale mogą powodować potencjalne problemy zdrowotne i być negatywnie odbierane przez konsumentów. Wybór pomiędzy naturalnymi i syntetycznymi konserwantami powinien uwzględniać specyficzne potrzeby produktu, wymogi regulacyjne i preferencje konsumentów. Bezpieczeństwo i skuteczność naturalnych konserwantów w porównaniu z syntetycznymi to tematy ciągłych badań i dyskusji.

Wśród powszechnie używanych konserwantów naturalnych można wymienić także substancje, z którymi mamy styczność na co dzień. To m.in. cukier, który, dodawany w dużych ilościach, stwarza niekorzystne środowisko dla rozwoju mikroorganizmów, dzięki właściwościom antyoksydacyjnym oraz osmotycznym. Alkohole takie jak etanol czy izopropanol stosowane są do konserwacji ekstraktów ziołowych. Witamina E, czyli tokoferol, która jako naturalny przeciwutleniacz zapobiega jęczeniu tłuszczu i olejów, jest szeroko stosowana w kosmetyce [5].

Oleuropeina, pochodząca z liści oliwnych, wykazuje właściwości stabilizujące, przeciwzapalne, przeciwmiażdżycowe, przeciwnowotworowe, przeciwdrobnoustrojowe i przeciwwirusowe. Przy stężeniu 0,6% przez trzy miesiące skutecznie zapobiega wzrostowi bakterii. Jest szczególnie silna w działaniu przeciwko bakteriom Gram-ujemnym i Gram-dodatnim, a także drożdżom i pleśniam [8].

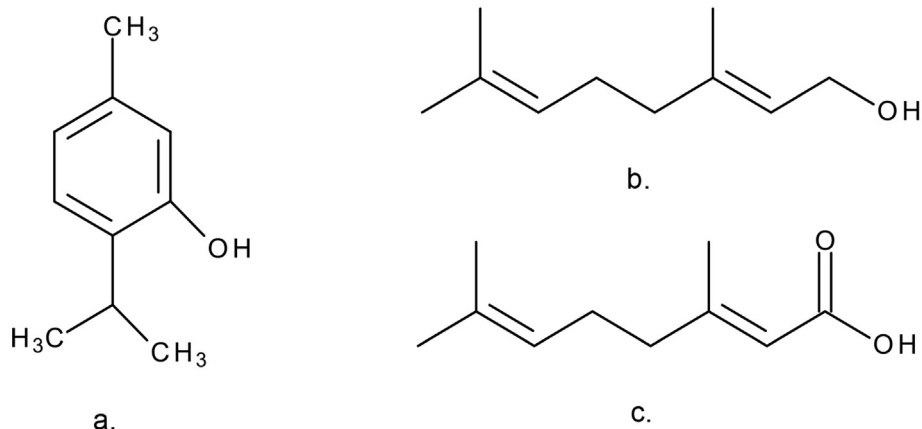
Znajdujący się w olejku tymiankowym tymol (Rysunek 3a) posiada działanie przeciwpasożytnicze, przeciwdrobnoustrojowe, przeciwnowotworowe, przeciwgrzybicze i przeciwutleniające. Skutecznie zwalcza gronkowce, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* oraz drożdże. Karwakrol, także obecny w olejku tymiankowym, charakteryzuje się natomiast właściwościami antybakteryjnymi i przeciwgrzybiczymi [8, 9].

Geraniol (Rysunek 3b), obecny w olejkach eterycznych z róż i palczatki, wykazuje właściwości antybakteryjne, przeciwgrzybicze, przeciwzapalne oraz przeciwutleniające. Skutecznie zwalcza bakterie Gram-dodatnie, takie jak *Staphylococcus aureus* i *Streptococcus pyogenes*, oraz niektóre bakterie Gram-ujemne, jak *Escherichia coli*. Ponadto działa przeciwgrzybiczo wobec grzybów *Candida albicans* i *Aspergillus niger*. Pomimo swoich korzystnych właściwości geraniol może wywołać reakcje alergiczne, takie jak kontaktowe zapalenie skóry u osób o wrażliwej skórze. Może również prowadzić do podrażnień błon śluzowych, szczególnie w przypadku kontaktu z oczami [9, 10].

Citral (Rysunek 3c), znajdujący się w olejku cytrynowym i olejku trawy cytrynowej, ma właściwości przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze, przeciwwirusowe oraz przeciwzapalne. Skutecznie eliminuje bakterie Gram-ujemne, takie jak *Pseudomonas aeruginosa* i *Escherichia coli*, a także niektóre grzyby, w tym *Candida albicans* [11]. Jest również skuteczny w zwalczaniu wirusów, takich jak wirus opryszczki. Należy jednak pamiętać, że citral może wywołać reakcje alergiczne i podrażnienia skóry, a także zwiększać wrażliwość na działanie promieni słonecznych – fototoksyczność [9].

Ekstrakt z mięty pieprzowej, zawierający mentol i menton, ma właściwości przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze i przeciwzapalne. Jest skuteczny w zwalczaniu bakterii Gram-dodatnich, takich jak *Staphylococcus aureus*, oraz niektórych bakterii Gram-ujemnych, w tym *Escherichia coli*. Ponadto działa przeciwgrzybiczo wobec *Candida albicans* [12]. Może jednak powodować podrażnienia skóry oraz błon śluzowych, szczególnie w przypadku wysokich stężeń, co może prowadzić do uczucia pieczenia lub suchości [13].

Ekstrakt z liści zielonej herbaty, bogaty w polifenole, w tym EGCG (galusan epigallokatechiny), wykazuje silne właściwości przeciwutleniające, przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze i przeciwzapalne. Ekstrakt ten skutecznie zwalcza bakterie Gram-dodatnie, takie jak *Staphylococcus aureus*, oraz bakterie Gram-ujemne, w tym *Escherichia coli*. Działa również przeciwgrzybiczo wobec *Candida albicans* i *Aspergillus niger*. Mimo swoich korzystnych właściwości ekstrakt z zielonej herbaty może prowadzić do podrażnień skóry, szczególnie przy stosowaniu w wysokich stężeniach oraz u osób wrażliwych wywoływać reakcje alergiczne [14, 15].



**Rysunek 3.** Wzory strukturalne a) tymolu, b) geraniolu i c) citralu.

**Figure 3.** The following structural formulae are presented: a) thymol, b) geraniol and c) citral.

Źródło: własne.

Istnieją również olejki eteryczne, których nie powinno się używać jako środków konserwujących – szczególnie w niektórych produktach – ze względu na ich szkodliwe działanie. Pomimo silnych właściwości przeciwbakteryjnych do takich substancji należy olejek cynamonowy (*Cinnamomi oleum*) [16]. Jego stosowanie jest ograniczone ze względu na możliwe podrażnienia skóry i reakcje alergiczne wywołane aldehydem cynamonowym. Substancje wywołujące fotouczulenie, czyli zwiększoną wrażliwość skóry na promienie słoneczne, nie powinny być stosowane w produktach leczniczych i kosmetycznych narażonych na działanie słońca. Są to m.in. olejek cytrynowy (*Citrus limonum oleum*) czy zawierający furokumaryny olejek bergamotowy (*Oleum Bergamiae*). W wysokich stężeniach podrażnienia skóry i reakcje alergiczne wywoływać może także powszechnie używany olejek z drzewa herbacianego [17].

Syntetyczne środki konserwujące są na ogół silniejsze i trwalsze w szerszym zakresie warunków niż naturalne. Zapewniają szerokie spektrum działania przeciwdrobnoustrojowego, co pozwala na dłuższy okres przydatności do spożycia i większe bezpieczeństwo produktu. Dzięki kontrolowanej syntezie chemicznej syntetyczne konserwanty zapewniają stałą wydajność, co czyni je wysoce niezawodnymi w produktach komercyjnych.

## Trwałość produktu

Trwałość produktu zapewnia dodatek konserwantów. Odnosi się ona m.in. do zachowania przez produkty zdolności przeciwdrobnoustrojowej przez określony czas. Wpływ na to ma wiele czynników, od cech samego konserwantu, poprzez skład preparatu, do warunków przechowywania.

Pierwszym z nich jest rodzaj konserwantu, te syntetyczne odznaczają się znacznie dłuższym okresem działania od ich naturalnych zamienników, które często są mniej stabilne. Istotne jest także zapewnienie odpowiedniego pH produktu. Konserwanty należące do grupy kwasów organicznych będą najlepiej działać w kwaśnym środowisku, natomiast parabeny najskuteczniejsze są z reguły w pH od 4 do 8. Należy zatem zadbać o utrzymanie odpowiedniego pH i dobrać go tak, aby nie zaburzał ogólnego działania produktu.

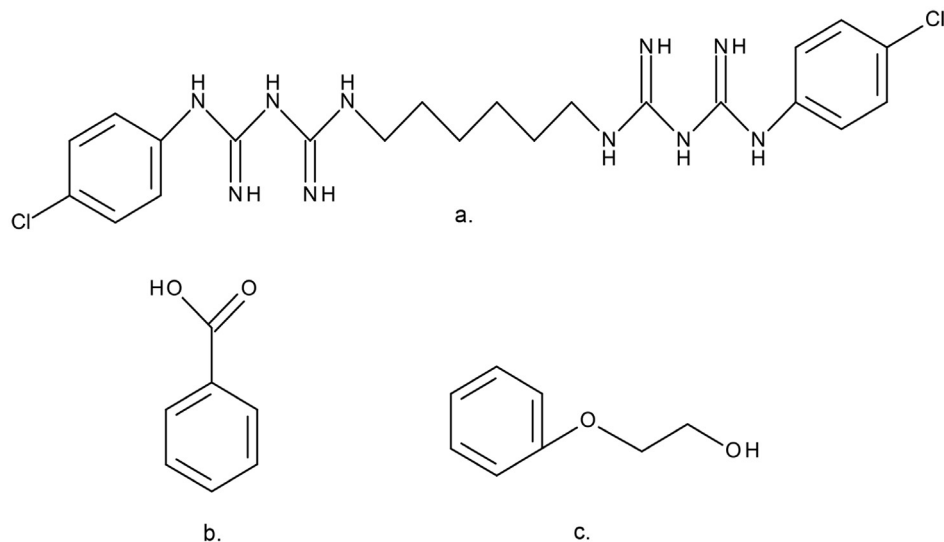
Z czynników dyktowanych przez sam produkt należy wymienić również skład chemiczny. Istotne jest, aby pozostałe składniki nie wchodziły w interakcje z konserwantem, gdyż może to nie tylko osłabić działanie konserwantu, ale także negatywnie wpłynąć na skuteczność preparatu. Na przykład duża ilość tłuszczów może wpływać na rozpuszczalność i dostępność konserwantów. W niektórych przypadkach stosowane są kombinacje konserwantów, co może prowadzić do ich synergicznego działania, zwiększając ogólną skuteczność ochrony mikrobiologicznej produktu. W innych przypadkach różne konserwanty mogą się wzajemnie hamować, zmniejszając swoją skuteczność [18].

Odnośnie do warunków przechowywania – kluczowe znaczenie mają tutaj temperatura i wilgotność, które mogą sprzyjać namnażaniu się drobnoustrojów, co zmusza do zwiększenia ilości konserwantów w produkcie. Dlatego istotne jest przechowywanie produktów w warunkach niższej temperatury i wilgotności, choć znane są konserwanty, które wykazują silniejsze działanie w wyższej temperaturze, m.in. kwas benzoowy czy niektóre parabeny. Zachowanie aktywności konserwantów w szerokim zakresie temperatury jest istotnym czynnikiem służącym do pozbycia produktu termolabilności [19].

Produkty, które są często otwierane i narażone na kontakt z powietrzem i dłońmi użytkownika, mogą wymagać silniejszych lub większych ilości konserwantów. Niektóre konserwanty są wrażliwe na światło i mogą się rozkładać pod jego wpływem, co zmniejsza ich efektywność [18]. Hermetyczne opakowania mogą ograniczać ekspozycję na tlen i mikroorganizmy, a tym samym przedłużać skuteczność konserwantów. Istotny jest także wyjściowy poziom zanieczyszczenia mikrobiologicznego produktu, który wpływa na wymagany poziom konserwantów [20].

Postać fizyczna produktu kosmetycznego i farmaceutycznego jest istotnym wyznacznikiem jego trwałości i skuteczności konserwantów. Formy płynne i półstałe są bardziej podatne na skażenie mikrobiologiczne oraz degradację. Obecność wody stanowi podłoże dla rozwoju drobnoustrojów, co wymaga stosowania skutecznych konserwantów w celu utrzymania stabilności produktu w czasie. Postacie półstałe, takie jak kremy i żele, zazwyczaj zawierają zarówno fazę olejową, jak i wodną, które mogą wspierać rozwój drobnoustrojów, jeśli nie są odpowiednio zakonserwowane [21]. Złożony skład może prowadzić do interakcji między

konserwantami i innymi składnikami, potencjalnie zmniejszając skuteczność konserwantów. Emulsje wymagają konserwantów, które mogą działać w obu fazach, aby zapewnić pełną ochronę, takich jak chlorheksydyna, kwas benzoowy czy fenoksyetanol (Rysunek 4) [21, 22].



**Rysunek 4.** Wzory strukturalne: a) chlorheksydyny, b) kwasu benzoowego i c) fenoksyetanolu.  
**Figure 4.** The following structural formulae are presented: a) chlorhexidine, b) benzoic acid and c) phenoxyethanol.

Źródło: własne.

Preparaty stałe zawierają na ogół wodę o niższej aktywności, co naturalnie zmniejsza ryzyko skażenia mikrobiologicznego. Czasami może to całkowicie wyeliminować potrzebę stosowania konserwantów. Chociaż są mniej podatne na rozwój drobnoustrojów, ciała stałe mogą nadal ulegać degradacji pod wpływem innych czynników, takich jak wilgoć i temperatura. Konserwanty mogą być nadal konieczne, jeśli istnieje ryzyko, że produkt wchłonie wilgoć.

Opakowania preparatów aerozolowych zazwyczaj dobrze chronią je przed zanieczyszczeniem mikrobiologicznym. Hermetycznie zamknięte pojemniki ograniczają narażenie na działanie powietrza i wilgoci, redukując potrzebę stosowania konserwantów [20]. Jeśli stosowane są konserwanty, muszą być one kompatybilne z propelentami i innymi składnikami preparatu. Należy również wziąć pod uwagę stabilność składników produktu podczas przechowywania i stosowania.

Krople do oczu i spreje do nosa wymagają bardzo skutecznych środków konserwujących, gdyż stosowane są w obszarach wrażliwych, narażonych na infekcje. Aby

zapewnić sterylność, powszechnie stosuje się środki konserwujące, takie jak chlorek benzalkoniowy. Należy tak dobrać konserwanty, aby zrównoważyć skuteczność przeciwdrobnoustrojową z bezpieczeństwem, aby uniknąć podrażnień i reakcji niepożądanych. Opakowania jednorazowe mogą pomóc zmniejszyć zapotrzebowanie na konserwanty, ograniczając ryzyko zanieczyszczenia [23–25].

W czasach narastającego problemu z antybiotykoopornością i pojawianiem się kolejnych szczepów superbakterii niezwykle istotne jest, aby używane do konserwacji produktów były substancje, wobec których trudne jest wytworzenie form opornych. Aspekt ten jest ważny nie tylko przez wzgląd na zachowanie czystości biologicznej produktu, ale także ze względu na zdrowie konsumentów. Spełnienie tego kryterium pozwala konserwantowi dłużej pełnić swoją funkcję w zwalczaniu drobnoustrojów i zapobiegać ich mutacji do postaci, które trudniej jest zwalczyć [3].

Aby uniknąć działań niepożądanych, takich jak alergie, podrażnienia błon śluzowych czy oczu, należy stosować konserwanty, które działają już w bardzo niskich stężeniach. Zwykle nie przekracza ono 1%. Przykładem konserwantu, który w wysokich stężeniach może wywołać toksyczne skutki, jest klorheksydyna [26]. Kiedy dostaje się do krwiobiegu, może powodować poważne reakcje systemowe, w tym uszkodzenia nerek i wątroby.

Konserwanty stosowane są jako substancje pomocnicze. Nie powinny wchodzić w interakcje z substancją czynną [3], gdyż może to spowodować zmianę lub utratę właściwości produktu. Ponadto konserwant może wówczas utracić zdolność przeciwdrobnoustrojową. Wyjątek mogą stanowić produkty „niezawierające konserwantów”, w których bardzo często substancje czynne, oprócz głównych właściwości, posiadają także funkcje przeciwdrobnoustrojowe.

W wyniku reakcji zachodzących pomiędzy konserwantem a innym składnikiem kosmetyku czy leku może dojść do powstania związku toksycznego dla ludzkiego organizmu. W tym kontekście istotna jest jak największa stabilność konserwantu, aby jak najdłużej mógł pełnić swoje funkcje [13].

## **Bezpieczeństwo stosowania**

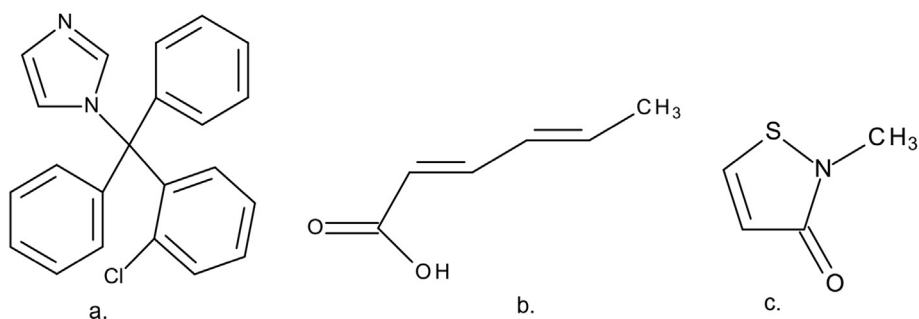
Syntetyczne środki konserwujące, takie jak parabeny, fenoksytanol i środki uwalniające formaldehyd, są znane ze swojej skuteczności w niskich stężeniach i mają dobrze udokumentowany profil bezpieczeństwa, wynikający z szeroko zakrojonych testów. Zapewniają one stałą i niezawodną ochronę antybakteryjną, co czyni je popularnym wyborem w produkcji kosmetyków i farmaceutyków. Niemniej jednak niektóre z tych konserwantów mogą wiązać się z problemami zdrowotnymi, zwłaszcza przy długotrwałym stosowaniu lub wysokich stężeniach [2, 4, 27, 31].

Fenoksyetanol jest znany z możliwości wywoływania reakcji rumieniowej. Rumień to stan zapalny skóry, który ujawnia się jako jej zaczerwienienie i obrzęk. Kontakt z fenoksyetanołem może prowadzić do wystąpienia tych objawów, zwłaszcza u osób o wrażliwej skórze [28, 29].

Mocznik imidazolidynyli oraz klotrimazol (Rysunek 5a) mogą wywoływać kontaktowe zapalenie skóry. Jest to reakcja alergiczna na substancję, która objawia się zaczerwienieniem, swędzeniem i pęcherzami na skórze [28]. Bronol, tiomersal, kwas sorbinowy (Rysunek 5b) i propolis również mogą prowadzić do podobnych reakcji skórnych. Kontaktowe zapalenie skóry jest wynikiem bezpośredniego kontaktu skóry z substancjami drażniącymi lub uczulającymi [2, 4, 28].

Czwartorzędowe związki amonowe, takie jak chlorek i bromek bezalkoniowy oraz cetrymid, mogą powodować podrażnienia skóry i błon śluzowych [23], ujawniające się w postaci uczucia pieczenia, swędzenia i zaczerwienienia. Długotrwałe stosowanie tych związków może także prowadzić do rozwoju oporności bakterii na środki antybakteryjne, co może utrudniać leczenie infekcji. BAK (benzalkoniowy chlorowodorek) stosowany długotrwałe może prowadzić do przewlekłego zapalenia spojówek oraz zaostrzenia choroby suchego oka. Przewlekłe zapalenie spojówek to stan zapalny błony śluzowej oka, który może powodować zaczerwienienie, swędzenie i wydzielinę z oczu. Choroba suchego oka jest stanem, w którym oczy nie produkują wystarczającej ilości łez, co prowadzi do podrażnienia i dyskomfortu [30, 23, 25].

Alkohol benzytowy, podobnie jak metyloizotiazolinon (Rysunek 5c) i metylchloroizotiazolinon, może wywoływać silne podrażnienia oczu oraz umiarkowane uczulenie skóry [28, 29]. Uczulenie skóry objawia się zaczerwienieniem, swędzeniem i wysypką, podczas gdy podrażnienia oczu mogą prowadzić do pieczenia, łzawienia i zaczerwienienia.



**Rysunek 5.** Struktura: a) klotrimazolu, b) kwasu sorbinowego oraz c) metyloizotiazolinonu.

**Figure 5.** The structure of: a) clotrimazole, b) sorbic acid and c) methylisothiazolinone is demonstrated here.

Źródło: własne.

Parabeny, choć są uważane za słabe alergeny, mogą zakłócać funkcjonowanie układu hormonalnego. Mogą prowadzić do zaburzeń metabolizmu wątroby, dysfunkcji mitochondriów i zapalenia wątroby. Wątroba jest kluczowym organem odpowiedzialnym za detoksykację i metabolizm substancji chemicznych, a jej dysfunkcja może prowadzić do różnych problemów zdrowotnych. Zaburzenia metabolizmu wątroby mogą objawiać się zmęczeniem, bólem brzucha i zmianami parametrów krwi. Reakcje alergiczne skórne, takie jak pęcherze i pieczenie, mogą wystąpić również w odpowiedzi na działanie parabenów. Metylo- i propyloparabeny, a także inne etery kwasu n-oksybenzoesowego wywołują alergiczne kontaktowe zapalenie skóry. Alkohol benzylowy i benzylparaben mogą wywoływać alergię oraz silne podrażnienie oczu, podczas gdy butylparaben może powodować stres oksydacyjny i dysfunkcję mitochondriów, co może prowadzić do podniesienia poziomu markerów zaburzeń wątroby, takich jak AST, ALP i ALT. Stres oksydacyjny to stan, gdy w organizmie gromadzą się wolne rodniki, prowadzące do uszkodzenia komórek i tkanek [5].

Kluczowe dla bezpiecznego stosowania konserwantów we wszystkich gałęziach przemysłu jest przestrzeganie norm narzucanych przez FDA i Unię Europejską (UE). Przykłady wymagań zostały przedstawione w Tabeli 2.

**Tabela 2.** Zestawienie norm narzucanych przez FDA i UE dla wybranych substancji.

**Table 2.** The following is a synopsis of the standards imposed by the FDA and the EU for a selection of substances.

| Konserwant             | Maksymalne stężenia dopuszczalne w UE | Maksymalne stężenia sugerowane przez FDA | Typ produktu |
|------------------------|---------------------------------------|--|--------------|
| Imidazolidynylomocznik | 0,6%                                  | 0,6%                                     | Kosmetyki    |
| Kwas salicylowy        | 2% (produkty niespłukiwane)           | 3%                                       | Kosmetyki    |
| Kwas sorbowy           | 0,1–0,2%                              | 0,2%                                     | Leki         |
| Parabeny               | 0,05–0,2%                             | 0,1–0,2%                                 | Leki         |
| Benzoesan potasu       | 150 mg/kg                             | 0,1%                                     | Żywność      |
| Siarczyn sodu          | 50–400 mg/kg                          | 300 mg/kg                                | Żywność      |

Źródło: własne.

V załącznik Rozporządzenia (WE) nr 1223/2009 podaje maksymalne dopuszczalne stężenia konserwantów dozwolone w kosmetykach na terenie UE. Przykładowo dla parabenów stosowanych pojedynczo wynosi ono 0,4%, ale w przypad-

ku mieszanin wzrasta do 0,8%. Istnieją jednak wyjątki – m.in. propyloparaben dozwolony jest wyłączenie w stężeniu nieprzekraczającym 0,14%. Oprócz stężeń istnieją także ograniczenia związane z formą produktu, np. maksymalne stężenie dla metyloizotiazolinu wynosi 0,01%, ale może być on dodawany wyłącznie do produktów spłukiwanych.

FDA natomiast nie określa precyzyjnie dozwolonych stężeń konserwantów w kosmetykach, ale wymaga od producentów uzasadnienia użycia oraz udowodnienia bezpieczeństwa stosowanych substancji. Istnieją jednak instytucje naukowe, takie jak CIR (Cosmetic Ingredient Review), które, bazując na badaniach ich bezpieczeństwa, sugerują limity stosowania konkretnych konserwantów. Sugerowane maksymalne stężenia są zbliżone do tych narzucanych przez Unię Europejską. Stosowanie konserwantów w lekach w UE regulowane jest przez EMA. Ich użycie w preparatach medycznych musi zostać odpowiednio uzasadnione oraz ograniczone do minimum zapewniającego bezpieczeństwo i stabilność produktów. Na przykład stężenie stosowanego w preparatach do oczu i nosa chlorku benzalkoniowego nie może przekraczać 0,01–0,02%. FDA zatwierdza stosowanie konserwantów w lekach na podstawie danych dostarczanych przez producentów. Jednocześnie narzuca, aby ich stężenia były jak najniższe. Ze względu na toksyczność i możliwość wywołania alergii zabrania, podobnie jak EMA, wykorzystywania formaldehydu w preparatach leczniczych.

Konserwanty to grupa związków należąca do najczęściej uczulających składników kosmetycznych, tuż po substancjach zapachowych. Pomimo że pełnią tak istotną funkcję jak ochrona przed rozwojem drobnoustrojów, ich obecność w kosmetykach budzi liczne obawy konsumentów. Doniesienia m.in. o estrogennym wpływie wysokich stężeń parabenów przyczyniły się do ich negatywnego wizerunku i zastrzeżeń co do ich używania [27]. Wiele marek kosmetycznych wycofało pod ich wpływem dobre konserwanty – parabeny używane w niewielkich stężeniach, na rzecz innych, które okazały się bardziej uczulające. Skutek jest taki, że zamienniki parabenów częściej niż one same są odpowiedzialne za wywoływanie alergii i podrażnień skórnych. W przypadku konserwantów wchodzących w skład kosmetyków najczęściej mamy do czynienia z alergią kontaktową i objawami takimi jak pokrzywka czy alergiczny wyprysk kontaktowy [2]. Z kolei te stosowane w kosmetykach aplikowanych na okolice oczu i występujące w kroplach do oczu zwiększają ryzyko zapalenia spojówek, suchości oka i zaczerwienienia [25]. W odniesieniu do wcześniej wspomnianych parabenów warto uwagi wydaje się zjawisko nazywane „paradoksem parabenowym”, które odnosi się do sytuacji, w której osoby uczulone na dany paraben czy parabeny występujące w lekach dobrze tolerują ich obecność w kosmetykach. Związane jest to z różnym stopniem penetracji alergenu przez skórę zdrową a tą dotkniętą zmianami zapalnymi [2].

Konserwanty stosowane w produktach kosmetycznych muszą spełniać wiele wymagań. Ich dobór następuje według określonych kryteriów, które określa prawodawstwo. Według przepisów prawnych obowiązujących od 2013 r. w Polsce, a także w całej Unii Europejskiej, konserwantami mogą być jedynie te substancje, które znajdują się w wykazie substancji konserwujących dozwolonych do stosowania w produktach kosmetycznych, zestawione w załączniku V do Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 1223.2009 z dnia 30 listopada 2009 r. [40].

## Podsumowanie

Wyroby farmaceutyczne i kosmetyczne, by były jałowe i trwałe oraz bezpieczne w stosowaniu, wymagają konserwacji. Mimo że syntetyczne konserwanty są efektywne i szeroko stosowane, ich działanie może wiązać się z ryzykiem zdrowotnym, co wymaga starannego ich monitorowania i regulacji w celu minimalizacji potencjalnych działań niepożądanych. W związku z tym istotne są badania nad możliwością wykorzystania konserwantów pochodzenia naturalnego w obydwu wymienionych gałęziach przemysłu. Konserwanty naturalne, choć z reguły bezpieczniejsze dla człowieka i lepiej odbierane przez konsumentów, stawiają przed nami kolejne wyzwania. Wybierając odpowiednią substancję konserwującą, producenci powinni brać pod uwagę, że konserwanty często są mało stabilne, mają wąski zakres działania i wykazują działanie uczulające. Trwające badania nad substancjami pochodzenia naturalnego dają jednak nadzieję na przyszłość w kwestii bezpieczniejszej i skutecznej konserwacji kosmetyków.

## Literatura

- [1] Lipak D., Konserwanty w kosmetyce. Krótki przegląd i tendencje rozwoju, Świat Przemysłu Kosmetycznego, 2009, 1, s. 48–56.
- [2] Bojarowicz H., Wojciechowska M., Gocki J., Substancje konserwujące stosowane w kosmetykach oraz ich działania niepożądane, Problemy Higieny i Epidemiologii, 2008, 88(1), s. 30–33.
- [3] Muszyński Z., Ratajczak M., Konserwacja przeciwdrobnoustrojowa leków, Teoria i Praktyka, 2009, 65(5), s. 132–137.
- [4] Bojarowicz H., Franczak P., Krysiński J., Czy kosmetyki mogą nie zawierać konserwantów?, Hygeia Public Health, 2018, 53(2), s. 124–131.
- [5] Kamel T.M., Bakr M.M., Qays A., Side effects of preservatives on human life, Scientific Research Journal of Pharmacy, 2022, 2(5), s. 1–14.
- [6] Adaszyńska M., Swarczewicz M., Olejki eteryczne jako substancje aktywne lub konserwanty w kosmetykach, Wiadomości Chemiczne, 2012, 66, s. 139–158.

- [7] Halla N., Fernandes I.P., Heleno S.A., Costa P., Boucherit-Otmani Z., Boucherit K., Rodrigues A.E., Ferreira Isabel C.F.R., Barreiro M.F., Cosmetics preservations: a review on present strategies, *Molecules*, 2018, 23(7), s. 1571.
- [8] Al.-Rimawi F., Sbeih M., Amayreh M., Rahhal B., Mudalal S., Evaluation of the effectiveness of natural extract as a substituent for synthetic preservatives and antioxidants in pharmaceutical preparations, *Saudi Pharmaceutical Journal*, 2024, 32, s. 102014.
- [9] Burt S., Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review, *International Journal of Food Microbiology*, 2004, 94, s. 223–253.
- [10] Pereira de Lira M.H., de Andrade Jr F.P., Fernandes Queiroga M.G., da Silva M.G., de Oliveira P.F., Lima I.O., Antimicrobial activity of geraniol: an integrative review, *Journal of Essential Oil Research*, 2020, 32(3), s. 187–197.
- [11] Dadasiewicz-Kieltyka A., Esteban J., Jabłońska-Trypuć A., Antiviral, antibacterial, antifungal, and anticancer activity of plant materials derived from *cymbopogon citratus* (DC.) stapf species, *Pharmaceuticals*, 2024, 17(6), s. 705.
- [12] Damjanović-Vratnica B., Šuković D., Perović S., Essential oil components and antimicrobial activity of peppermint (*Mentha piperital*) from Montenegro, *Agriculture and Forestry*, 2016, 62(1), s. 259–268.
- [13] Anand S.P., Sati A., Artificial preservatives and their harmful effects: looking toward nature for safer alternatives, *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2013, 4(7), s. 2496–2501.
- [14] Chacko S.M., Thamb P.T., Kuttan R., Nishigaki I., Beneficial effects of green tea: A literature review, *Chinese Medicine*, 2010, 5(3), s. 13.
- [15] Mokra D., Joskova M., Mokry J., Therapeutical effects of green tea Polyphenol-Epigallocatechin-3-Gallate (EGCG) in relation to molecular pathways controlling inflammation, oxidative stress, and apoptosis, *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24(1), s. 340.
- [16] Shu Ch., Ge L., Li Z., Chen B., Liao S., Lu L., Wu Q., Jiang X., An Y., Wang Z., Qu M., Antibacterial activity of cinnamon essential oil and its main component of cinnamaldehyde and the underlying mechanism, *Frontiers in Pharmacology*, 2024, 15, s. 1378434.
- [17] Tisserand R., Young R., Phototoxicity: Essential Oils, Sun and Safety, A Guide for Health Care Professionals, Churchill Livingstone, Londyn, 2012.
- [18] Rathee P., Sehrawat R., Rathee P., Khatkar A., Akkol E.K., Khatkar S., Redhu N., Türkcanoğlu G., Sobrazo S., Polyphenols natural preservatives with promising applications in food, cosmetics and pharma industries; problems and toxicity associated with synthetic preservatives; impact of misleading advertisements; recent trends in preservation and legislation, *Materials*, 2023, 16(13), s. 4793.
- [19] Shahmohammadi M., Maryam Y., Nassin-Asi M., An overview on the effects of sodium benzoate as a preservatives in food products, *Biotechnology Health Sciences*, 2016, 3(3), s. e35084.

- [20] Czerwiński K., Rydzikowski T., Wróblewska-Krepsztul J., Thakur V.K., Towards impact of modified atmosphere packaging (MAP) on shelf-life of polymer-film-packed food products: challenges and sustainable developments, *Coating*, 2021, 11(12), s. 1504.
- [21] Puschmann J., Herbig M.E., Müller-Goymann C.C., Correlation of antimicrobial effects of phenoxyethanol with its free concentration in the water phase or of O/W – emulsion gels, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 2018, 131, s. 152–161.
- [22] Stroppe L., Schultz-Fademrecht T., Cebulla M., Blech M., Marhöfer R.J., Selzer P.M., Garidel P., Antimicrobial preservatives for protein and peptide formulations: an overview, *Pharmaceutics*, 2023, 15, s. 563.
- [23] Czech A., Bucała-Śladowska K., Kasprowicz A., Jachowicz R., Jamróz W., Środki konserwujące w recepturowych kropkach do oczu, *Farmacja Polska*, 2016, 72(8), s. 546–549.
- [24] Kluk A., Sznitowska M., Substancje pomocnicze w lekach do oczu, *Technologia Postaci Leku, Farmacja Polska*, 2010, 66(8), s. 567–572.
- [25] Słoka J., Stanienda-Sokół K., Wysocka M., Dobrowski D., Środki konserwujące w lekach okulistycznych, *Magazyn Lekarza Okulisty*, 2021, 15(1–4), s. 26–27.
- [26] Dinu S., Matichescu A., Buzatu R., Marcovici I., Geamantan-Sirbu A., Semenescu A.D., Bratu R.C., Bratu D.C., Insights into the cytotoxicity and irritant potential of Chlorhexidine Digluconate: an *in vitro* and *in ovo* safety screening, *Dentistry Journal*, 2024, 12(7), s. 221.
- [27] Bojarowicz H., Wnuk M., Buciński A., Efektywność i bezpieczeństwo stosowania parabenów, *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 2012, 93(4), s. 647–653.
- [28] Demina L.N., Krotova I.V., Nikolaeva A.U., Natural preserving additives or cosmetic compositions, *Trade, Service, Food Industry*, 2022, 2(I), s. 91–96.
- [29] Poddębniak P., Kalinowska-Lis U., A survey of preservatives used in cosmetic products, *Applied Sciences*, 2024, 14, s. 1581.
- [30] Baudouin C., Labbé A., Liang H., Pauly A., Brignole B.F., Preservatives in eyedrops: The good, the bad and the ugly, *Progress in Retinal and Eye Research*, 2010, 29, s. 312–334.
- [31] Wang Q., Cui S., Zhou L., He K., Song L., Liang H., He C., Effect of beauty: biochemical pharmacology and immunotoxicology of cosmeceuticals, *Journal of Immunoassay and Immunochemistry*, 2018, 40(1), s. 1–18.
- [32] Chen Q., Evaluate the Effectiveness of the Natural Cosmetic Product Compared to Chemical-Based Products, *International Journal of Chemistry*, 2009, 1, 2, s. 57–59.
- [33] *Formulating, Packaging, and Marketing of Natural Cosmetic Products*, (red.) N. Dayan, L. Kromidas, John Wiley & Sons Inc., New Jersey 2011.
- [34] Raj S., Nanotechnology in cosmetics: Opportunities and challenges, *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 2012, 4(3), s. 186–193.
- [35] Moskaluk-Grochowicz A., Wolniak R., Przegląd wybranych nanocząstek stosowanych w kosmetykach, [w:] *Aktualne badania jakości wyrobów przemysłowych*, (red.) R. Zieliński, J. Żuchowski, Wyd. Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu, Radom 2014, s. 67–75.

- [36] Moskaluk-Grochowicz A., Wolniak R., Ryzyko związane z wykorzystaniem nanocząstek w kosmetykach, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, 2014, seria Organizacja i Zarządzanie, 71, Gliwice 2014, s. 231–242.
- [37] Sikora M., Konserwanty w kosmetyce, *Chemical Review*, 2005, 2, s. 26–35.
- [38] Lamer-Zarawska E., Chwała C., Gwardys A., *Rośliny w kosmetyce i kosmetologii przeciwstarzeniowej*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2012.
- [39] Adaszyńska M., Swarczewicz M., Olejki eteryczne jako substancje aktywne lub konserwanty w kosmetykach, *Wiadomości Chemiczne*, 2012, 66, 1–2, s. 139–158.
- [40] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1223/2009 z dnia 30 listopada 2009 r. dotyczące produktów kosmetycznych.

## **Efektywność rolnicza i fizjologiczna nawożenia azotem kukurydzy (*Zea mays* L.) uprawianej na ziarno**

### **Agricultural and physiological efficiency of nitrogen fertilization of corn (*Zea mays* L.) grown for grain**

Marek Niewęgłowski<sup>1</sup>, Anna Sikorska<sup>2</sup>, Marek Gugala<sup>1</sup>, Ewa Krasnodębska<sup>3</sup>,  
Krystyna Zarzecka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wydział Nauk Rolniczych, Uniwersytet w Siedlcach, ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce, Polska, e-mail: marek.nieweglowski@uws.edu.pl, marek.gugala@uws.edu.pl, krystyna.zarzecka@uws.edu.pl

<sup>2</sup> Zakład Rolnictwa, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych im. Ignacego Mościckiego w Ciechanowie, Ciechanów, ul. Narutowicza 9, 06-400 Ciechanów, Polska; e-mail: anna.sikorska@pansim.edu.pl

<sup>3</sup> Gospodarstwo Rodzinne w Niemirkach 54, 08-304 Jabłonna Lacka, Polska

---

**Słowa kluczowe:** efektywność rolnicza, efektywność fizjologiczna, nawożenie azotem, *Zea mays* L., biostymulatory

**Keywords:** agricultural efficiency, physiological efficiency, nitrogen fertilization, *Zea mays* L., biostimulants

---

### **Streszczenie**

Celem przeprowadzonych badań było określenie efektywności rolniczej i fizjologicznej nawożenia azotem kukurydzy (*Zea mays* L.) uprawianej na ziarno. Eksperyment polowy przeprowadzono w latach 2015–2017 w indywidualnym gospodarstwie rolnym położonym w północno-wschodniej Polsce. Czynnikiem badawczym były dwa morfotypy kukurydzy: odmiana mieszańcowa średniopóźna (280 FAO); odmiana mieszańcowa średniowczesna (240 FAO); czynnik II – dawki nawożenia azotem: 80 kg N·ha<sup>-1</sup>; 120 kg N·ha<sup>-1</sup>; 160 kg N·ha<sup>-1</sup>; czynnik III – cztery rodzaje biostymulatorów: obiekt kontrolny (I); biostymulator (II) zawierający orto-nitrofenol sodu, para-nitrofenol sodu i 5-nitroguajakol sodu; biostymulator (III) zawierający para-nitrofenolan potasu, orto-nitrofenolan potasu i 5-nitrowajakolan potasu; biostymulator (IV) zawierający molibden i cynk. Efektywność rolnicza i fizjologiczna nawożenia kukurydzy różnymi dawkami azotu w badanym doświadczeniu była istotnie największa dla dawki 80 kg N·ha<sup>-1</sup>, natomiast wraz ze wzrostem dawki azotu efektywność malała. Czynniki genetyczny wpływał na efektywność rolniczą i fizjologiczną azotu. Z porównywanych odmian większą efektywnością rolniczą wyróżnił się mieszaniec średniowczesny w porównaniu do mieszańca średnio-późnego, odwrotną tendencję wykazano w przypadku wartości efektywności fizjologicznej. Zastosowane w doświadczeniu preparaty wpływały na zwiększenie efektywności rolniczej oraz mniejszą efektywność fizjologiczną wykorzystania azotu.

## Abstract

The aim of the research was to determine the agricultural and physiological effectiveness of nitrogen fertilization of maize (*Zea mays* L.) grown for grain. The field experiment was conducted in 2015–2017 on an individual farm located in north-eastern Poland. The following factors were examined in the experiment: I – two corn varieties: medium-late hybrid variety 280 FAO – PR38N86; medium-early hybrid variety 240 FAO – P8400; II – doses of nitrogen fertilization: 80 kg N·ha<sup>-1</sup>, 120 kg N·ha<sup>-1</sup>, 160 kg N·ha<sup>-1</sup>; III – four types of biostimulators: control treatment (I) biostimulator (II) containing sodium ortho-nitrophenol, sodium para-nitrophenol, 5-nitroguaiacol sodium, biostimulator containing potassium para-nitrophenolate, potassium ortho-nitrophenolate, potassium 5-nitrovalcolate, biostimulator containing molybdenum, zinc. The agricultural and physiological effectiveness of corn fertilization with various doses of nitrogen in the tested experiment was significantly the highest for 80 kg N·ha<sup>-1</sup>, while the effectiveness decreased with the increase in the nitrogen dose. The genetic factor influenced the agricultural and physiological efficiency of nitrogen. Of the compared varieties, the medium-early hybrid had higher agricultural efficiency than the mid-late hybrid, and the opposite tendency was demonstrated in the case of physiological efficiency values. The preparations used in the experiment increased agricultural efficiency and lower physiological efficiency of nitrogen use.

## Wstęp

Azot jest podstawowym składnikiem odżywczym i ma decydujące znaczenie w intensyfikacji produkcji roślinnej. Obecne działania zmierzające do zwiększenia światowej produkcji zbóż, w tym produkcji kukurydzy, muszą skupić się na bardziej efektywnym wykorzystaniu azotu znajdującego się w nawozach mineralnych. Wzrost plonu na jednostkę użytego azotu jest szczególnie ważny ze względu na obawy o negatywny wpływ nadmiernego zużycia azotu na środowisko naturalne [1–3]. Kluczowym czynnikiem w tym aspekcie może być rosnąca zdolność roślin do pobierania tego pierwiastka [4] oraz stosowanie [5] azotu zawartego w każdej dawce nawozu mineralnego. Dlatego wyznaczanie optymalnych biologicznie i jednocześnie ekonomicznie dawek azotu, z uwzględnieniem czynników wpływających na pobieranie i stosowanie tego nawozu mineralnego, stanowi kierunek badań nad rolą azotu w kształtowaniu produkcji roślinnej. Filipek-Mazur i in. [6] również stwierdzili, że nawożenie azotem i określenie jego dawki jest jednym z najważniejszych czynników w uprawie kukurydzy. Także Camara i in. [7] i Lepiarczyk i in. [8] wykazali w swoich badaniach, że nawożenie azotem jest jednym z podstawowych elementów agrotechniki, które kształtują plon ziarna kukurydzy.

Według badań Kruczka [9] oraz Jankowiaka i in. [10] optymalne dawki azotu dla plonu ziarna kukurydzy mieszczą się w przedziale od 90 do 150 kg N·ha<sup>-1</sup>. Również Gonet i Stadejek [11] oraz Fotyma [12] potwierdzają, że optymalne dawki

azotu zastosowane w uprawie kukurydzy oscylują w zakresie 90–180 kg N·ha<sup>-1</sup>. Fotyma [12] i Kruczek [13] wskazują także, że efektywność nawożenia maleje wraz ze wzrostem dawek azotu.

Badania Szulca i in. [14] wykazały, że efektywność wykorzystania azotu zależy od odmiany kukurydzy. Odmiany typu stay-green cechował ujemny wskaźnik efektywności wykorzystania azotu. Również Gołębiewska i Wróbel [15] wskazali w swoich badaniach wpływ czynnika genetycznego na efektywność wykorzystania azotu. Autorzy stwierdzili, że o wiele łatwiej można zaplanować dawkę azotu dla odmiany Boruta, gdyż działanie azotu w zależności od wysokości dawki w przypadku tej odmiany było bardziej stabilne, niż miało to miejsce w odniesieniu do odmiany Junak.

Do ważniejszych elementów agrotechniki kukurydzy ograniczających plonowanie kukurydzy, czego konsekwencją jest ujawnianie się w jej tkankach niedoboru składników mineralnych, zalicza się nawożenie, które najsilniej wpływa na plonowanie i skład chemiczny roślin, a ponadto jest warunkiem otrzymania plonów dobrej jakości. Jednym ze sposobów zwiększania dostępności składników mineralnych jest nawożenie rzędowe zlokalizowane w bezpośredniej bliskości korzeni, zwane startowym, stosowane łącznie z siewem nasion [16].

Według Maida [17] do połowy czerwca kukurydza wytwarza tylko 25% końcowej masy korzeniowej, z czego ponad 90% mieści się w pobliżu rzędka siewnego. Toteż roślina zdecydowanie łatwiej pobiera nawóz wysiany rzędowo, zwłaszcza w niekorzystnych warunkach termicznych. Ponadto taki sposób aplikacji fosforu powoduje umieszczenie składnika pokarmowego w głębszej, wilgotniejszej warstwie gleby, co wpływa na lepsze jego pobieranie.

Według Kruczka [13] optymalna dawka azotu, wyznaczona na podstawie relacji plonu suchej masy i nawożenia azotem, wynosi 150 kg i pozwala na osiągnięcie plonu maksymalnie 14,5 t·ha<sup>-1</sup>. Ten sam autor [18] w innych badaniach podaje, że plony ziarna kukurydzy nawożonej dawkami od 60 do 135 kg N·ha<sup>-1</sup> nie różniły się, ale były większe niż uzyskane przy nawożeniu dawką 25 kg N·ha<sup>-1</sup>. Istotne różnice we wzroście plonów kukurydzy przy jednoczesnym zwiększeniu dawki nawożenia azotem od 120 do 160 kg·ha<sup>-1</sup> wykazali w swoich badaniach Machul i Książak [19] oraz Natywa i in. [20]. Bogucka i in. [21] zwracają uwagę na znaczące zróżnicowanie reakcji kukurydzy na nawożenie azotem w zależności od jej odmiany i podają, że dla odmiany Junak wystarczające okazało się nawożenie azotem w dawce 150 kg·ha<sup>-1</sup>, a mieszaniec Boruta reagował wzrostem plonu ziarna do dawki 180 kg·ha<sup>-1</sup>. Również Gołębiewska i Wróbel [15] stwierdziły znaczące zróżnicowanie reakcji poszczególnych odmian kukurydzy na nawożenie azotem.

Celem przeprowadzonych badań było określenie efektywności rolniczej i fizjologicznej nawożenia azotem kukurydzy (*Zea mays* L.) uprawianej na ziarno.

## Materiały i metody

### Miejsce przeprowadzenia doświadczenia

Eksperyment polowy przeprowadzono w latach 2015–2017 w indywidualnym gospodarstwie rolnym położonym w północno-wschodniej Polsce (52°30'N i 22°26'E).

Czynniki w doświadczeniu były:

I – dwa morfotypy kukurydzy:

- odmiana mieszańcowa średniopóźna 280 FAO – PR38N86,
- odmiana mieszańcowa średniowczesna 240 FAO – P8400.

II – dawki nawożenia azotem zastosowane przed siewem:

- dawka azotu – 80 kg N·ha<sup>-1</sup>,
- dawka azotu – 120 kg N·ha<sup>-1</sup>,
- dawka azotu – 160 kg N·ha<sup>-1</sup>.

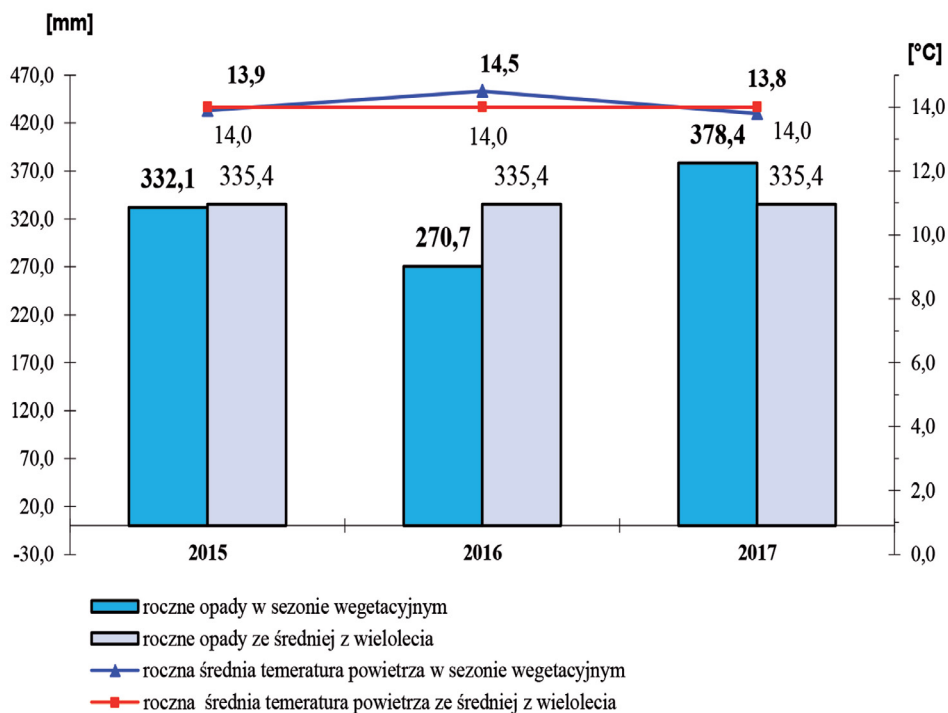
III – cztery rodzaje biostymulatorów:

- obiekt kontrolny (I),
- biostymulator (II) zawierający orto-nitrofenol sodu, para-nitrofenol sodu i 5-nitroguajakol sodu aplikowany w fazie BBCH 14 oraz BBCH 18 w dawkach 0,60 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>,
- biostymulator (III) zawierający para-nitrofenolan potasu, orto-nitrofenolan potasu i 5-nitrowajakolan potasu zastosowany w fazie BBCH 14 w dawce 1,00 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> oraz w fazie BBCH 18 w dawce 0,60 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>,
- biostymulator (IV) zawierający molibden i cynk aplikowany w fazie BBCH 16 w dawce 2,00 dm<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>.

## Warunki meteorologiczne

Lata badań polowych były dość zróżnicowane pod względem średniej temperatury powietrza i sumy opadów (Rysunki 1–4). Na podstawie obliczonego współczynnika hydrotermicznego Sielanianowa według Skowery [22] można stwierdzić, iż pierwszy sezon wegetacyjny charakteryzował się optymalnymi warunkami atmosferycznymi (K = 1,41) (Tabela 1). Średnia temperatura powietrza była niższa o 0,1°C od średniej z wielolecia, a suma opadów wynosiła 332,1 mm i była niższa o 1,0 % od średniej z wielolecia (Rysunek 2). Drugi rok badań wyróżniał się suchymi warunkami panującymi w okresie rozwoju i wzrostu kukurydzy (K = 1,12). W kwietniu stwierdzono dość suche warunki, maju – optymalne i października – skrajnie wilgotne, natomiast w czerwcu – suche, w lipcu i sierpniu – bardzo suche, zaś we wrześniu – skrajnie suche. Suma opadów była mniejsza o 64,7 mm w porównaniu ze średnią sumy opadów w tych miesiącach z wielu lat, a temperatura powietrza była wyższa o 0,5°C od średniej wieloletniej (Rysunek 3). Ostatni sezon wegetacyjny charakteryzował się umiarkowaniem mokrymi warunkami atmosferycznymi (K = 1,41), jednakże wy-

stały miesiące o warunkach skrajnych – od bardzo suchych w lipcu do dość suchych w czerwcu i sierpniu. W trzecim roku badań średnia temperatura powietrza była niższa o 0,2°C od średniej z wielolecia, a suma opadów wynosiła 378,4 mm i była wyższa o 43 mm od średniej z wielolecia (Rysunek 4).

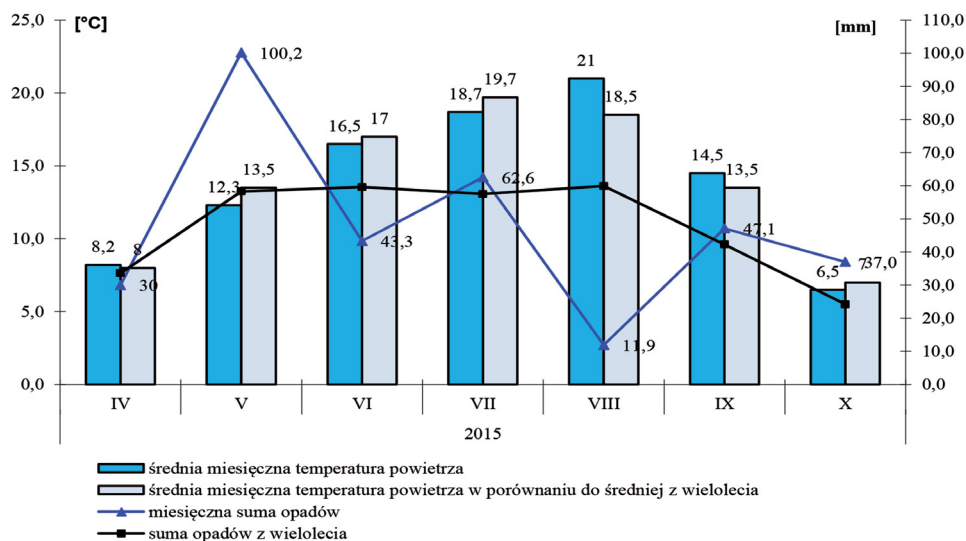


**Wykres. 1.** Miesięczne sumy opadów i średnia temperatura powietrza w poszczególnych sezonach wegetacyjnych RSD Zawady w porównaniu do średniej z wielu lat (1996–2010).

**Figure 1.** Monthly rainfall totals and average air temperature in individual growing seasons of AES Zawady compared to the average for many years (1996–2010).

Źródło: opracowano na podstawie danych meteorologicznych.

Source: prepared on the basis of meteorological data.

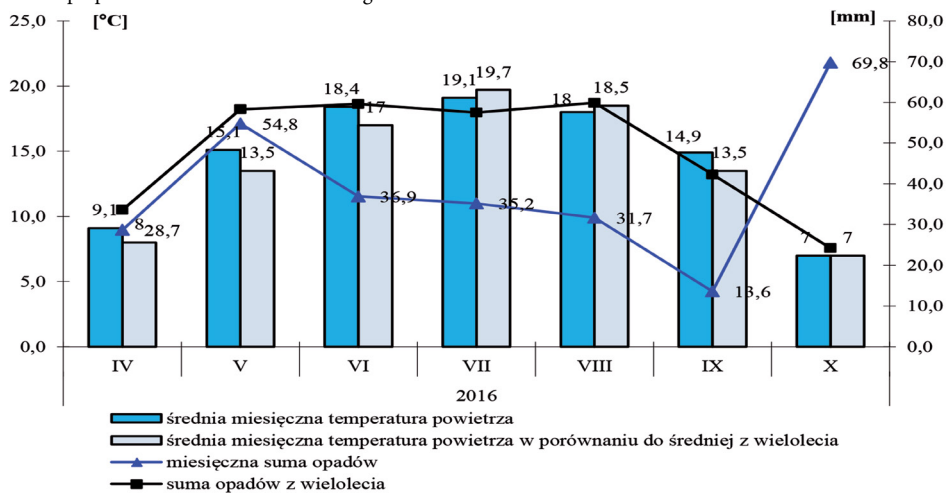


**Wykres. 2.** Miesięczne sumy opadów i średnia temperatura powietrza w 2015 r. w RSD Zawady w porównaniu do średniej z wielu lat (1996–2010).

**Figure 2.** Monthly rainfall totals and average air temperature in 2015 in the Zawady AES compared to the average for many years (1996–2010).

Źródło: opracowano na podstawie danych meteorologicznych.

Source: prepared on the basis of meteorological data.

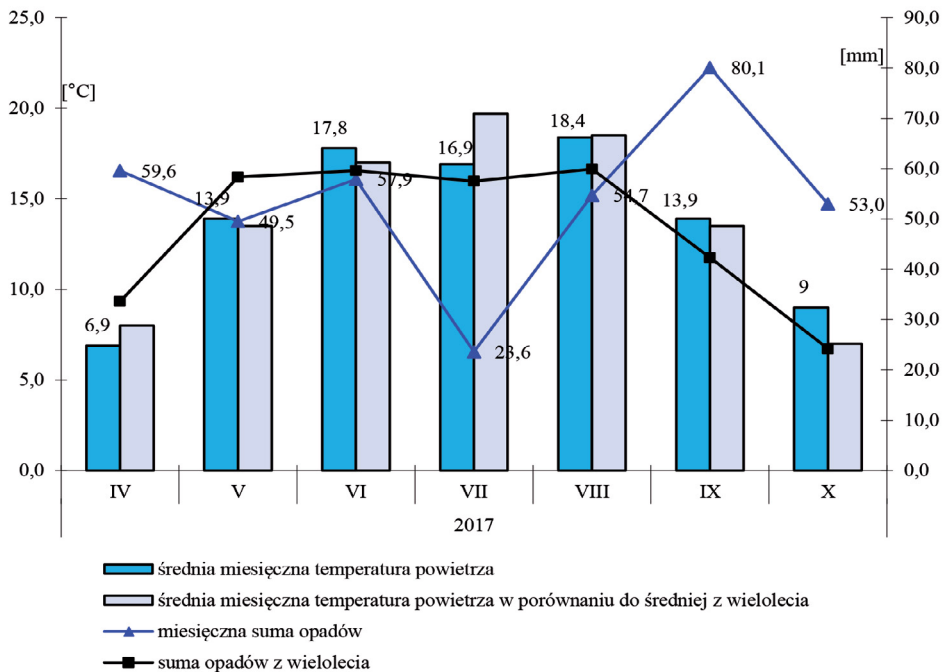


**Wykres. 3.** Miesięczne sumy opadów i średnie temperatury powietrza w RSD Zawady w porównaniu do średniej z wielu lat (1996–2010).

**Figure 3.** Monthly rainfall totals and average air temperature in 2016 in the Zawady AES compared to the average for many years (1996–2010).

Źródło: opracowano na podstawie danych meteorologicznych.

Source: prepared on the basis of meteorological data.



**Wykres. 4.** Miesięczne sumy opadów i średnie temperatury powietrza w 2017 r. w RSD Zawady w porównaniu do średniej z wielu lat (1996–2010).

**Figure 4.** Monthly rainfall totals and average air temperature in 2017 in the Zawady AES compared to the average for many years (1996–2010).

Źródło: opracowano na podstawie danych meteorologicznych.

Source: prepared on the basis of meteorological data.

**Tabela 1.** Wartość współczynnika Sielianinowa (Stacja Meteorologiczna Zawady, Poland).

**Table 1.** Sielianinov hydrothermal coefficient (Agricultural Experimental Station, Poland).

| Sezon<br>wegetacyjny                | Miesiące |      |      |      |      |      |      | IV-X    |
|-------------------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|---------|
|                                     | IV       | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    |         |
| Wartość współczynnika Sielianinowa* |          |      |      |      |      |      |      | Średnia |
| 2015                                | 1,35     | 2,91 | 0,84 | 1,21 | 0,20 | 1,20 | 2,15 | 1,41    |
| 2016                                | 1,08     | 1,47 | 0,72 | 0,64 | 0,62 | 0,28 | 3,02 | 1,12    |
| 2017                                | 3,82     | 1,52 | 1,07 | 0,47 | 1,01 | 1,92 | 2,36 | 1,74    |

\* Wartość współczynnika (Skowera, [22]): skrajnie suchy (ss)  $k \leq 0,4$ ; bardzo suchy (bs)  $0,4-0,7$ ; suchy (s)  $0,7-1,0$ ; dość suchy (ds)  $1,0 < k \leq 1,3$ ; optymalny (o)  $1,3 < k \leq 1,6$ ; dość wilgotny (dw)  $1,6 < k \leq 2,0$ ; wilgotny (w)  $2,0 < k \leq 2,5$ ; bardzo wilgotny (bw)  $2,5 < k \leq 3,0$ ; skrajnie wilgotny (sw)  $k > 3,0$

Źródło: opracowano na podstawie danych meteorologicznych.

Source: prepared on the basis of meteorological data.

## Analiza statystyczna

Wyniki badań opracowano statystycznie za pomocą analizy wariancji. Istotność źródeł zmienności sprawdzano przy użyciu testu „F” Fishera-Snedecora, a ocenę istotności różnic przy poziomie istotności  $p = 0,05$  pomiędzy porównywanymi średnimi – za pomocą wielokrotności przedziałów Tukeya.

### Wskaźniki efektywności nawożenia

Wskaźniki efektywności nawożenia azotem obliczono według wzorów Potarzyckiego [23]:

$$W (\%) = (PN - PO) \times 100 / D$$

gdzie:

W – wykorzystanie azotu (%);

PN – azot pobrany przez rośliny nawożone ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ );

PO – azot pobrany przez rośliny nienawożone ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ );

D – dawka azotu ( $\text{kg}\cdot\text{Nha}^{-1}$ ).

Efektywność rolniczą obliczono za pomocą następującego wzoru:

$$Er = (YN - Y0) / N$$

gdzie:

Er – efektywność rolnicza ( $\text{kg s.m.}\cdot\text{kg}^{-1}\text{N}$ );

YN – plon w obiekcie z zastosowaną dawką azotu ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ );

Y0 – plon w obiekcie kontrolnym bez azotu ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Efektywność fizjologiczną obliczono za pomocą następującego wzoru:

$$Ef = (YN - Y0) / (PN - P0) \times 100$$

gdzie:

Ef – efektywność fizjologiczna ( $\text{kg s.m.}\cdot\text{kg}^{-1}\text{N}$ );

YN – plon w obiekcie z zastosowaną dawką azotu ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ );

Y0 – plon w obiekcie kontrolnym bez azotu ( $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

PN – azot pobrany przez rośliny nawożone ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ );

PO – azot pobrany przez rośliny nienawożone ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

## Wyniki badań i dyskusja

### Efektywność rolnicza nawożenia azotem kukurydzy

Miarą skuteczności nawożenia roślin azotem jest efektywność rolnicza wyrażona przyrostem plonu na 1 kg azotu zastosowanego w nawozach [24]. Badania własne wykazały, że w latach o większej ilości opadów atmosferycznych efektywność rolnicza u roślin nawożonych większymi dawkami azotu była mniejsza w porównaniu

z roślinami otrzymującymi niższe dawki. Natomiast w 2016 r., kiedy to było mało opadów, zwłaszcza w okresie od maja do września, efektywność rolnicza była znacznie mniejsza niż w latach poprzednich i większa w przedziale dawek 120–160 kg niż 80 kg N·ha<sup>-1</sup> (Tabele 2 i 3). Odmienne wyniki badań uzyskał Kruczek [25], który stwierdził ograniczanie efektywności rolniczej w miarę wzrostu dawek azotu.

Z porównywanych odmian efektywnością rolniczą większą średnio o 25,26 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N wyróżniła się odmiana P8400 (mieszaniec średniowczesny), istotnie mniejszą – średnio o 22,35 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N – mieszaniec średniopóźny PR38N86.

Stwierdzono interakcję czynnika genetycznego i lat badań. Odmiany różnie reagowały na warunki wilgotnościowo-termiczne w kolejnych latach badań. Odmiany PR38N86 i P8400 uzyskały w trzecim roku badań w porównaniu do pozostałych istotnie większą efektywność rolniczą. Obliczenia statystyczne wykazały, że w drugim roku badań efektywność rolnicza obu badanych odmian była mniejsza średnio o 17,67 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N u odmiany PR38N86 i o średnio 10,74 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N u P8400 w stosunku do efektywności tych odmian w trzecim roku badań.

Badania własne wykazały istotny wpływ badanych dawek azotu na efektywność rolniczą nawożenia azotem kukurydzy. Największą efektywność rolniczą w porównaniu z obiektem kontrolnym, wynoszącą średnio 26,57 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N, uzyskano, stosując dawkę azotu 120 kg N·ha<sup>-1</sup>, zaś najmniejszą, wynoszącą średnio 19,81 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N, przy nawożeniu dawką 80 kg N·ha<sup>-1</sup>. Natomiast według Borowieckiego [26] oraz Goneta i Stadejek [27] efektywność rolnicza nawożenia azotem kukurydzy była podobna i zarówno dla dawek 90–120 kg, jak i dla dawek 120–150 kg wynosiła 25–30 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N.

Interakcja stwierdzona pomiędzy odmianami a dawkami azotu świadczy o zróżnicowanej reakcji odmian na nawożenie azotem. Zastosowane nawożenie azotem wpływało istotnie na zwiększenie efektywności rolniczej kukurydzy.

Biostymulator zawierający orto-nitrofenol sodu, para-nitrofenol sodu i 5-nitrowajakol sodu (obiekt II) oraz zastosowany na obiekcie 3 preparat zawierający para-nitrofenolan potasu, orto-nitrofenolan potasu i 5-nitrowajakolan potasu wpływały na zwiększenie efektywności rolniczej wykorzystania azotu przez kukurydzę od 0,16 do 2,18 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N w porównaniu do obiektu kontrolnego. Najmniejszą wartość omawianej cechy – wynoszącą średnio 21,27 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N – zanotowano na obiekcie IV, na którym zastosowano biostymulator zawierający molibden i cynk. Obliczenia statystyczne wykazały interakcję lat i nawożenia azotem, co świadczy o różnym działaniu dawek azotu w zmiennych warunkach pogodowych w latach badań. W pierwszym i drugim roku badań największy poziom efektywności rolniczej uzyskano pod wpływem zastosowania dawki 120 kg N·ha<sup>-1</sup>, natomiast w trzecim roku badań największą wartość omawianej cechy otrzymano pod wpływem dawki 160 kg N·ha<sup>-1</sup>.

Statystycznie udowodnione zostało współdziałanie lat i stosowanych biostymulatorów, co świadczy o odmiennym działaniu biostymulatorów w zmieniających się warunkach klimatycznych w czasie badań. Jedynie w pierwszym roku badań pod wpływem biostymulatora zastosowanego na obiekcie II i w drugim roku badań w wyniku aplikacji biostymulatora zawierającego orto-nitrofenol sodu, para-nitrofenol sodu i 5-nitroguajakol sodu (obiekt II) oraz biostymulatora zawierającego para-nitrofenolan potasu, orto-nitrofenolan potasu i 5-nitrowajakolan potasu (obiekt III) zanotowano zwiększenie efektywności rolniczej nawożenia azotem w stosunku do obiektu kontrolnego. Nie udowodniono istotnych różnic między biostymulatorami w drugim i trzecim roku badań.

**Tabela 2.** Efektywność rolnicza i fizjologiczna nawożenia azotem oraz wykorzystanie azotu przez kukurydzę w zależności od czynników badawczych oraz interakcji odmian z czynnikami badawczymi.

**Table 2.** Agricultural and physiological efficiency of nitrogen transport and nitrogen utilization in maize depending on factors and differences with research regulators.

| Odmiany  | Lata badań   |              |              | Dawki nawożenia azotem   |                           |                           | Rodzaje stosowanych biostymulatorów* |              |              |              | Średnia      |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|  | 2015         | 2016         | 2017         | 80 kg N·ha <sup>-1</sup> | 120 kg N·ha <sup>-1</sup> | 160 kg N·ha <sup>-1</sup> | I                                    | II           | III          | IV           |              |
| <i>Efektywność rolnicza nawożenia azotem kukurydzy (kg s.m.·kg<sup>-1</sup> N)</i>   |              |              |              |                          |                           |                           |                                      |              |              |              |              |
| <b>PR38N86</b>   | 18,77        | 15,31        | 32,98        | 17,46                    | 26,30                     | 23,31                     | 22,25                                | 24,38        | 22,10        | 20,69        | <b>22,35</b> |
| <b>P8400</b>   | 26,11        | 19,47        | 30,21        | 22,17                    | 26,85                     | 26,78                     | 25,50                                | 27,73        | 25,98        | 21,84        | <b>25,26</b> |
| <b>Średnia</b>   | <b>22,44</b> | <b>17,39</b> | <b>31,60</b> | <b>19,81</b>             | <b>26,57</b>              | <b>25,04</b>              | <b>23,88</b>                         | <b>26,06</b> | <b>24,04</b> | <b>21,27</b> | -            |
| NIR <sub>0,05</sub> dla: lat – 1,79; odmian – 1,17; dawek azotu – 1,53; rodzajów stosowanych biostymulatorów – 2,01<br>interakcji: lata × odmiany – 2,03<br>odmiany × dawki azotu – 1,78<br>odmiany × rodzaje stosowanych biostymulatorów – r.n. |              |              |              |                          |                           |                           |                                      |              |              |              |              |
| <i>Efektywność fizjologiczna nawożenia azotem kukurydzy (kg s.m.·kg<sup>-1</sup> N)</i>  |              |              |              |                          |                           |                           |                                      |              |              |              |              |
| <b>PR38N86</b>   | 49,13        | 44,05        | 76,26        | 68,68                    | 53,29                     | 47,48                     | 59,15                                | 56,56        | 55,73        | 54,49        | <b>56,48</b> |
| <b>P8400</b>   | 31,24        | 44,54        | 76,37        | 55,54                    | 49,81                     | 46,79                     | 50,78                                | 52,27        | 51,56        | 48,26        | <b>50,72</b> |
| <b>Średnia</b>   | <b>40,19</b> | <b>44,30</b> | <b>76,31</b> | <b>62,11</b>             | <b>51,55</b>              | <b>47,13</b>              | <b>54,96</b>                         | <b>54,42</b> | <b>53,65</b> | <b>51,37</b> |              |
| NIR <sub>0,05</sub> dla: lat – 2,96; odmian – 1,93; dawek azotu – 1,83; rodzajów stosowanych biostymulatorów – 2,82<br>interakcji: odmiany × lata – 3,34<br>odmiany × dawki azotu – 2,14<br>odmiany × rodzaje stosowanych biostymulatorów – r.n. |              |              |              |                          |                           |                           |                                      |              |              |              |              |

Efektywność rolnicza i fizjologiczna nawożenia azotem kukurydzy (*Zea mays*L.)...

Ciąg dalszy tabeli nr 2

| Wykorzystanie azotu przez kukurydzę (%) |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>PR38N86</b>                          | 35,01        | 30,77        | 36,38        | 30,67        | 41,77        | 29,71        | 30,78        | 37,85        | 33,95        | 33,63        | <b>34,05</b> |
| <b>P8400</b>                            | 71,28        | 28,88        | 34,59        | 48,95        | 46,57        | 39,23        | 45,12        | 50,25        | 44,48        | 39,82        | <b>44,92</b> |
| <b>Średnia</b>                          | <b>53,14</b> | <b>29,82</b> | <b>35,49</b> | <b>39,81</b> | <b>44,17</b> | <b>34,47</b> | <b>37,95</b> | <b>44,05</b> | <b>39,22</b> | <b>36,72</b> | –            |

NIR<sub>0,05</sub> dla: lat – 2,53; odmian – 1,65; dawek azotu – 2,27; rodzajów stosowanych biostymulatorów – 2,84  
 interakcji: lata × odmiany – 2,86  
 odmiany × dawki azotu – 2,65  
 odmiany × rodzaje stosowanych biostymulatorów – 4,13

\* I – obiekt kontrolny

II – biostymulator zawierający orto-nitrofenol sodu, para-nitrofenol sodu i 5-nitroguajakol sodu

III – biostymulator zawierający para-nitrofenolan potasu, orto-nitrofenolan potasu i 5-nitrowajakolan potasu

IV – biostymulator zawierający molibden i cynk

Źródło: opracowano na podstawie danych meteorologicznych.

Source: prepared on the basis of meteorological data.

**Tabela 3.** Efektywność rolnicza i fizjologiczna nawożenia azotem oraz wykorzystanie azotu przez kukurydzę w zależności od czynników badawczych oraz interakcji lat badań z czynnikami badawczymi.

**Table 3.** Agricultural and physiological efficiency of nitrogen transport and nitrogen utilization in maize depending on factors and results of studies with research scientists.

| Lata badań   | Dawki nawożenia azotem   |                           |                           | Rodzaje stosowanych biostymulatorów* |              |              |              | Średnia      |
|--|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|  | 80 kg N·ha <sup>-1</sup> | 120 kg N·ha <sup>-1</sup> | 160 kg N·ha <sup>-1</sup> | I                                    | II           | III          | IV           |              |
| <b>Efektywność rolnicza nawożenia azotem kukurydzy (kg s.m.·kg<sup>-1</sup> N)</b>   |                          |                           |                           |                                      |              |              |              |              |
| <b>2015</b>  | 21,67                    | 25,39                     | 20,27                     | 22,47                                | 28,92        | 22,27        | 16,10        | <b>22,44</b> |
| <b>2016</b>  | 13,17                    | 20,27                     | 34,06                     | 16,76                                | 17,51        | 18,96        | 16,33        | <b>19,58</b> |
| <b>2017</b>  | 24,59                    | 34,06                     | 36,14                     | 32,40                                | 31,74        | 30,89        | 31,36        | <b>31,60</b> |
| <b>Średnia</b>   | <b>19,81</b>             | <b>26,57</b>              | <b>30,15</b>              | <b>23,88</b>                         | <b>26,06</b> | <b>24,04</b> | <b>21,27</b> | –            |
| NIR <sub>0,05</sub> dla: lat – 1,79; dawek azotu – 1,53; rodzajów stosowanych biostymulatorów – 2,01<br>interakcji: lata × dawki azotu – 2,64<br>lata × rodzaje stosowanych biostymulatorów – 3,17 |                          |                           |                           |                                      |              |              |              |              |
| <b>Efektywność fizjologiczna nawożenia azotem kukurydzy (kg s.m.·kg<sup>-1</sup> N)</b>  |                          |                           |                           |                                      |              |              |              |              |
| <b>2015</b>  | 50,86                    | 37,10                     | 32,60                     | 46,03                                | 41,86        | 40,44        | 32,41        | <b>40,19</b> |
| <b>2016</b>  | 56,41                    | 41,01                     | 35,47                     | 44,97                                | 43,61        | 44,94        | 43,68        | <b>44,30</b> |
| <b>2017</b>  | 79,06                    | 76,55                     | 73,33                     | 73,89                                | 77,79        | 75,56        | 78,02        | <b>76,31</b> |
| <b>Średnia</b>   | <b>62,11</b>             | <b>51,55</b>              | <b>47,13</b>              | <b>54,96</b>                         | <b>54,42</b> | <b>53,65</b> | <b>51,37</b> | –            |
| NIR <sub>0,05</sub> dla: lat – 2,96 dawek azotu – 1,83; rodzajów stosowanych biostymulatorów – 2,82<br>interakcji: lata × dawki azotu – 3,17<br>lata × rodzaje stosowanych biostymulatorów – 4,45  |                          |                           |                           |                                      |              |              |              |              |

Ciąg dalszy tabeli nr 3

| Wykorzystanie azotu przez kukurydzę (%)  |              |              |              |              |              |              |              |              |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>2015</b>  | 59,90        | 59,52        | 40,00        | 47,37        | 66,49        | 51,83        | 46,87        | <b>53,14</b> |
| <b>2016</b>  | 20,79        | 36,08        | 32,60        | 29,08        | 30,68        | 30,88        | 28,65        | <b>29,82</b> |
| <b>2017</b>  | 38,74        | 36,91        | 30,81        | 37,40        | 34,98        | 34,94        | 34,64        | <b>35,49</b> |
| <b>Średnia</b>   | <b>39,81</b> | <b>44,17</b> | <b>34,47</b> | <b>37,95</b> | <b>44,05</b> | <b>39,22</b> | <b>36,72</b> | <b>-</b>     |
| NIR <sub>0,05</sub> dla: lat – 2,53; dawek azotu – 2,27; rodzajów stosowanych biostymulatorów – 2,84; interakcji: lata × dawki azotu – 3,94<br>lata × rodzaje stosowanych biostymulatorów – 4,49 |              |              |              |              |              |              |              |              |

\*I – obiekt kontrolny

II – biostymulator zawierający orto-nitrofenol sodu, para-nitrofenol sodu i 5-nitroguajakol sodu

III – biostymulator zawierający para-nitrofenolan potasu, orto-nitrofenolan potasu i 5-nitrowajakolan potasu

IV – biostymulator zawierający molibden i cynk

Źródło: opracowano na podstawie danych meteorologicznych.

Source: prepared on the basis of meteorological data.

## Efektywność fizjologiczna nawożenia azotem kukurydzy

Efektywność fizjologiczna jest to przyrost plonu na jednostkę azotu pobranego przez rośliny z nawozów. Jest miarą zdolności roślin do przetworzenia pobranego azotu na plon użytkowy i świadczy o wydajności procesów gospodarowania tym pierwiastkiem.

Największą efektywność fizjologiczną nawożenia azotem kukurydzy na ziarno – wynoszącą średnio 76,31 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N – zanotowano w trzecim roku badań, w którym średnia roczna temperatura powietrza była niższa o 0,2°C od średniej rocznej temperatury z wielolecia, istotnie mniejszą – wynoszącą średnio 44,30 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N – w drugim roku badań, zaś najmniejszą – średnio 40,19 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N – w pierwszym roku badań, w którym roczna średnia temperatura była niższa od średniej rocznej temperatury z wielolecia o 0,1°C. (Tabela 3).

Obliczenia statystyczne wykazały istotny wpływ odmian na efektywność fizjologiczną. Wartość tej cechy różniła się istotnie dla obu odmian i wynosiła średnio 56,48 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N dla PR38N86 oraz dla P8400 – średnio 50,72 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N.

Badania własne wykazały, że największą efektywność fizjologiczną wykorzystania azotu uzyskano po zastosowaniu 80 kg N·ha<sup>-1</sup>. Wartość tej cechy przy najwyższym wariacie nawożenia była mniejsza średnio o 14,98 kg s.m.·kg<sup>-1</sup>N w porównaniu do obiektu, w którym zastosowano najniższą dawkę azotu.

Stwierdzona interakcja pomiędzy odmianami a dawkami azotu świadczy o zróżnicowanej reakcji odmian na nawożenie azotem. Zastosowane nawożenie azotem wpływało istotnie na zwiększenie poziomu efektywność fizjologicznej wykorzystania azotu przez kukurydzę, niezależnie od porównywanych dawek azotu.

Analiza wariancji wykazała istotny wpływ rodzajów stosowanych biostymulatorów na wartość omawianej cechy. Po zastosowaniu wszystkich biostymulatorów przy odmianie PR38N86 otrzymano mniejszą efektywność fizjologiczną wykorzystania azotu w porównaniu do obiektu kontrolnego. Najmniejszą wartość omawianej cechy – wynoszącą średnio  $51,37 \text{ kg s.m.}\cdot\text{kg}^{-1}\text{N}$  – stwierdzono na obiekcie IV, który był opryskiwany biostymulatorem zawierającym molibden oraz cynk. Natomiast u odmiany średniowczesnej jedynie pod wpływem biostymulatora zastosowanego na obiekcie IV nastąpiło obniżenie poziomu efektywności fizjologicznej nawożenia azotem.

Nie stwierdzono interakcji między odmianami kukurydzy a rodzajami stosowanych biostymulatorów, co wskazuje, że biostymulatory oddziaływały podobnie na efektywność fizjologiczną wykorzystania azotu kukurydzy różnych odmian.

Udowodniono interakcję lat badań z nawożeniem azotem. We wszystkich okresach badań największą wartość omawianej cechy otrzymano przy dawce  $80 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ , przy czym we wszystkich obiektach największą wartość omawianej cechy uzyskano w trzecim roku badań.

Obliczenia statystyczne wykazały interakcję rodzajów stosowanych biostymulatorów wzrostu i warunków atmosferycznych panujących w latach badań. W pierwszym i drugim roku badań stwierdzono zmniejszenie efektywności fizjologicznej nawożenia azotem pod wpływem biostymulatorów w porównaniu do obiektu kontrolnego. Statystycznie istotne różnice w wartości tej cechy stwierdzono jedynie między preparatami zawierającymi orto-nitrofenol sodu, para-nitrofenol sodu, 5-nitroguajakol sodu (obiekt II) oraz tymi zawierającymi molibden i cynk (obiekt IV) oraz na obiektach III i IV w pierwszym roku badań. W trzecim roku badań nie udowodniono istotnych różnic między obiektami, w przypadku których zastosowano biostymulatory, i obiektem kontrolnym, natomiast stwierdzono wzrost poziomu efektywności fizjologicznej nawożenia azotem kukurydzy uprawianej na ziarno.

Oddziaływanie biostymulatorów na efektywność fizjologiczną nawożenia azotem kukurydzy determinowały zastosowane dawki azotu. Przy dawce azotu  $80 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  zawartość azotu uzyskana pod wpływem biostymulatorów różniła się od zawartości azotu odnotowanej na obiekcie kontrolnym jedynie o  $5,26 \text{ kg s.m.}\cdot\text{kg}^{-1}\text{N}$  po zastosowaniu biostymulatora zawierającego orto-nitrofenol sodu, para-nitrofenol sodu i 5-nitroguajakol sodu. Nie udowodniono istotnych różnic między biostymulatorami. Przy dawce azotu  $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $160 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  następował spadek efektywności fizjologicznej wykorzystania azotu; wykazano istotną różnicę między wartością badanej cechy uzyskanej pod wpływem biostymulatorów a jej wartością dla obiektu kontrolnego przy środkowej dawce azotu oraz między jej wartością dla obiektu kontrolnego a jej wartością uzyskaną pod wpływem biostymulatora aplikowanego na obiekcie IV przy największej dawce azotu.

## Wykorzystanie azotu przez kukurydzę

Największą efektywność wykorzystania azotu (średnio 53,14%) otrzymano w pierwszym roku badań, cechującym się średnimi temperaturami powietrza oraz sumami opadów najbardziej zbliżonymi do średnich z wielolecia, zaś najmniejszy (średnio 29,82%) w drugim roku badań, w którym suma opadów była mniejsza o 64,70 mm od średniej z wielolecia 1996–2000, a średnia temperatura powietrza była wyższa o 0,5°C od średniej z tego wielolecia (Tabele 2 i 3).

Obliczenia statystyczne wykazały, że większą efektywnością wykorzystania azotu – wynoszącą średnio 44,92% – charakteryzowała się odmiana średniowczesna P8400, zaś mniejszym – wynoszącą średnio 34,05% – mieszańiec średniopóźny PR38N86.

Dawki azotu determinowały poziom wykorzystania azotu przez kukurydzę. Przy dawce azotu wynoszącej 80 kg N·ha<sup>-1</sup> otrzymano mniejszą średnio o 4,36% wartość omawianej cechy niż przy dawce azotu 120 kg N·ha<sup>-1</sup>. W przeprowadzonym doświadczeniu pod wpływem stosowanych dawek azotu zanotowano wykorzystanie azotu na poziomie 34,47–44,17%. Natomiast Kruczek [25] w swoich badaniach stwierdził, że wykorzystanie azotu z nawozów przez kukurydzę uprawianą na ziarno wahało się w zakresie badanych dawek (0–270 kg N·ha<sup>-1</sup>) w granicach 29,0–71,0%. Ten sam autor również w innych swoich badaniach [9] stwierdził spadek wykorzystania azotu wraz ze wzrostem dawki azotu z 45 do 180 kg N·ha<sup>-1</sup> i od 23 do 54,8% w odniesieniu do plonu ziarna. Szulc i in. [28] stwierdzili, że wykorzystanie azotu w warunkach polowych wynosi najczęściej 40–60%, co potwierdzają eksperymenty polowe.

Udowodniono interakcję pomiędzy odmianami i dawkami azotu, co oznacza zróżnicowaną reakcję odmian na dawki azotu. Odmiana średniowczesna największą wartość omawianej cechy uzyskała po zastosowaniu 80 kg N·ha<sup>-1</sup>, natomiast odmiana średniopóźna przy 120 kg N·ha<sup>-1</sup>.

Stosowane biostymulatory wpływały istotnie na poziom wykorzystania azotu przez kukurydzę, co ukazało porównanie obiektów, w których wykorzystano biostymulatory, do obiektu kontrolnego, w którym ich nie użyto. Największą wartość omawianej cechy zanotowano na obiekcie II (średnio – 9,84 t·ha<sup>-1</sup>), istotnie mniejszą na poletkach opryskiwanymi preparatami na obiekcie III (średnio – 9,44 t·ha<sup>-1</sup>) i IV (średnio – 9,15 t·ha<sup>-1</sup>).

Obliczenia statystyczne wykazały interakcję lat i dawek azotu, co świadczy o różnym działaniu dawek azotu w zmiennych warunkach pogodowych w latach badań. We wszystkich sezonach wegetacyjnych zanotowano zwiększenie zawartości azotu ogólnego w ziarnie kukurydzy pod wpływem stosowanych dawek azotu w porównaniu do obiektu kontrolnego. W pierwszym roku badań najwyższy poziom azotu ogólnego otrzymano pod wpływem zastosowania dawki 120 kg N·ha<sup>-1</sup>, nie udo-

wodniono natomiast istotnych różnic wartości tej cechy pomiędzy dawkami 120 kg N·ha<sup>-1</sup> i 160 kg N·ha<sup>-1</sup>. W drugim i trzecim roku badań efektem zastosowania dawek azotu było istotne podniesienie zawartości azotu ogólnego w ziarnie kukurydzy.

Stwierdzono wpływ biostymulatorów i warunków klimatycznych panujących w latach badań na wykorzystanie azotu przez kukurydzę. W pierwszym i ostatnim sezonie wegetacyjnym największą zawartość azotu ogólnego zanotowano w efekcie zastosowania biostymulatora na obiekcie II. Jedynie w pierwszym roku dostrzeżono istotne różnice pomiędzy działaniem stosowanych biostymulatorów, natomiast nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy obiektem kontrolnym a obiektami III i IV, w których zastosowano biostymulatory.

## Wnioski

1. Efektywność rolnicza i fizjologiczna nawożenia kukurydzy różnymi dawkami azotu w badanym doświadczeniu była istotnie największa dla dawki azotu 80 kg N·ha<sup>-1</sup>, natomiast wraz ze wzrostem dawki azotu malała.
2. Ponadto stwierdzono wpływ czynnika genetycznego na efektywność rolniczą i fizjologiczną azotu. Spośród porównywanych odmian większą efektywnością rolniczą cechował się mieszańiec średniowczesny w porównaniu do mieszańca średniopóźnego, odwrotną tendencję wykazano w przypadku wartości efektywności fizjologicznej.
3. Efektami zastosowania w doświadczeniu preparatów było zwiększenie efektywności rolniczej oraz obniżenie efektywności fizjologicznej wykorzystania azotu.

## Literatura

- [1] Cassman K.G., Dobermann A., Walters D.T., Yang H., Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality, *Annual Review of Environment and Resources*, 2003, 28, s. 315–358.
- [2] Chen X.P., Zhou J.C., Wang X.R., Blackmer A.M., Zhang F.S., Optimal rates of nitrogen fertilization for a winter wheat-corn cropping system in Northern China, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2004, 35, s. 583–597.
- [3] Rahimizadeh M., Kashani A., Zare-Feizabadi A., Koocheki A.R., Nassiri-Mahallati M., Nitrogen use efficiency of wheat as affected by preceding crop, application rate of nitrogen and crop residues, *Australian Journal of Crop Science*, 2010, 4, s. 363–368.
- [4] Peng Y., Niu J., Peng Z., Zhang F., Li Ch., Shoot growth potential drives N uptake in maize plants and correlates with root growth in the soil, *Field Crops Research*, 2010, 115, s. 85–93.
- [5] Niu J.F., Chen F.J., Mi G.H., Li C.J., Zhang F.S., Transpiration, and nitrogen uptake and flow in two maize (*Zea mays* L.) inbred lines as affected by nitrogen supply, *Annals of Botany*, 2007, 99, s. 153–160.

- [6] Filipek-Mazur B., Lepiarczyk A., Tabak M., Wpływ nawożenia azotem i siarką na plonowanie oraz skład chemiczny ziarna kukurydzy. Część II. Zawartość azotu i siarki, *Fragmenta Agronomica*, 2013, 30(4), s. 29–35.
- [7] Camara K.M., Payne W.A., Rasmussen P.E., Long term effects of tillage, nitrogen and rain fall on winter wheat yields in the Pacific Northwest, *Agronomy Journal*, 2003, 95, s. 828–835.
- [8] Lepiarczyk A., Filipek-Mazur B., Tabak M., Wpływ nawożenia azotem i siarką na plonowanie i skład chemiczny ziarna kukurydzy. Część I. Wielkość i komponenty plonu ziarna kukurydzy, *Fragmenta Agronomica*, 2013, 30(3), s. 115–122.
- [9] Kruczek A., Określenie optymalnych dawek, sposobów i terminów stosowania nawozów azotowych pod kukurydzę uprawianą na ziarno, *Materiały Konferencji Naukowej pn. „Stan badań nad agrotechniką kukurydzy w Polsce”*, IUNG Puławy, 1988, cz. II, s. 19–24.
- [10] Jankowiak J., Kruczek A., Fotyma E., Efekty nawożenia mineralnego kukurydzy na podstawie wyników badań krajowych, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 1997, 450, s. 79–116.
- [11] Gonet Z., Stadejek H., Wpływ nawożenia azotem na plon i wartość paszową kukurydzy uprawianej w dużym zagęszczeniu na zielonkę do bezpośredniego skarmiania, *Pamiętnik Puławski*, 1992, 101, s. 137–146.
- [12] Fotyma E., Reakcja roślin uprawy polowej na nawożenie azotem. Cz. III. Kukurydza, *Fragmenta Agronomica*, 1994, 4(44), s. 20–35.
- [13] Kruczek A., Zmienność i korelacja elementów struktury plonu kukurydzy (*Zea mays* L.) w zależności od warunków pogodowych i nawożenia azotem, *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, Rolnictwo*, 1997, 50, s. 49–54.
- [14] Szulc P., Bocianowski J., Waśkiewicz A., Beszterda M., Impact of applying different nitrogen fertilizers on the level of fumonisins in maize hybrids, *Progress in Plant Protection*, 2012, 52(2), s. 306–309.
- [15] Gołębiewska M., Wróbel E., The effect of nitrogen fertilization on yielding of maize, *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 2009, 251, s. 121–136.
- [16] Kruczek A., Szulc P., Tempo gromadzenia suchej masy przez kukurydzę w zależności od dawki fosforu, rodzaju nawozu i sposobu nawożenia, *Acta Agrophysica*, 2005, 6(3), s. 631–642.
- [17] Maidl F.X., Standortgerechte Stickstoffversorgung, *Mais*, 1997, 1, s. 6–7.
- [18] Kruczek A., Szulc P., Wpływ wielkości dawek fosforu, rodzaju nawozu i sposobu nawożenia na plonowanie kukurydzy uprawianej na ziarno, *Pamiętnik Puławski*, 2005, 140, s. 149–150.
- [19] Machul M., Książak J., Ocena plonowania kukurydzy w zależności od sposobu przygotowania roli i metody określenia dawki nawożenia azotem w warunkach monokultury i zmianowania, *Fragmenta Agronomica*, 2007, 3(95), s. 292–299.
- [20] Natywa M., Pocięjowska M., Majchrzak L., Pudielko K., Influence of irrigation and nitrogen fertilization on yield and leaf greenness index (SPAD) of maize, *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 2014, 13(1), s. 39–50.

- [21] Bogucka B., Szemplinski W., Wróbel E., Nawożenie azotem a plon kukurydzy uprawianej na ziarno w warunkach północno-wschodniej Polski, *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 2008, 7(3), s. 21–30.
- [22] Skowera B., Zmiany warunków hydrotermicznych na obszarze Polski (1971–2010). *Fragmenta Agronomica*, 2014, 31(2), s. 74–87.
- [23] Potarzycki J., Improving nitrogen use efficiency of maize by better fertilizing practices, *Nawozy i Nawożenie*, 2010, 39, s. 5–24.
- [24] Fotyma E., Wpływ nawożenia siarką na wykorzystanie azotu z nawozów mineralnych przez rośliny uprawy polowej, *Nawozy i Nawożenie*, 2003, 4(17), s. 117–136.
- [25] Kruczek A., Efektywność nawożenia azotem kukurydzy uprawianej na ziarno w rejonie Wielkopolski, *Roczniki Nauk Rolniczych, A*, 1996, 112(3–4), s. 50–66.
- [26] Borowiecki J., Efektywność nawożenia azotem kukurydzy kiszonkowej w zależności od obsady roślin, *Materiały Konferencji Naukowej pn. „Stan badań nad agrotechniką kukurydzy w Polsce”*, IUNG Puławy 1988, s. 10–15.
- [27] Gonet Z., Stadejek H., Wpływ nawożenia azotem i ilości wysiewu na plony kukurydzy uprawianej na zielonkę bezpośrednio do skarmiania, *Fragmenta Agronomica*, 1990, 3, s. 30–43.
- [28] Szulc P., Response of maize hybrid (*Zea mays* L.), stay-green type to fertilization with nitrogen, sulphur, and magnesium. Part I. Yields and chemical composition, *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 2010, 9(1), s. 29–40.

## **Znaczenie światła, rytmu okołodobowego oraz snu dla zdrowia z uwzględnieniem fitoterapii w zaburzeniach snu**

### **Importance of light, circadian rhythm and sleep for health with consideration of phytotherapy in sleep disorders**

Anna Moskal<sup>1</sup>, Małgorzata Moskal-Szybka<sup>2</sup>, Renata Dziubaszewska<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Absolwentka Państwowej Akademii Nauk Stosowanych w Krośnie

<sup>2</sup> Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie, Rynek 1, 38-400 Krosno, e-mail: małgorzata.moskal-szybka@pans.krosno.pl

---

**Słowa kluczowe:** sen, rytm okołodobowy, fitoterapia

**Keywords:** sleep, circadian rhythm, phytotherapy

---

### **Streszczenie**

Sen odgrywa kluczową rolę w utrzymaniu zdrowia, gdyż podczas snu organizm przechodzi przez różne fazy, które mają bardzo istotne znaczenie dla samopoczucia w okresie czuwania, aktywności. Zalecana prawidłowa ilość snu to średnio 7–9 godzin na dobę. Zegar biologiczny organizmu, sterowany przez jądro nadskrzyżowaniowe w mózgu, reguluje cykle snu i czuwania w 24-godzinnym okresie, poprzez odbieranie sygnałów światła i ciemności z otoczenia. Rytm ten wpływa na produkcję hormonów, temperaturę ciała i inne procesy, determinujące gotowość organizmu do czuwania lub do snu. Brak snu, zaburzenia snu lub zła jakość snu wpływają negatywnie zarówno na zdrowie fizyczne, jak i psychiczne człowieka. W dłuższej perspektywie występowanie zaburzeń snu może prowadzić do problemów z koncentracją, pamięcią, obniżenia nastroju, a także do zwiększonego ryzyka chorób układu krążenia, depresji czy zaburzeń hormonalnych. Dbałość o przestrzeganie higieny snu rozumianej jako zbiór nawyków i praktyk, które sprzyjają regenerującemu wypoczynkowi, jest bardzo ważnym elementem zdrowia fizycznego i psychicznego. W stanach przewlekłego występowania zaburzeń snu, jako środki wspomagające sen, zastosować można fitoterapię. Zalecane są zioła, które wykazują działanie uspokajające, tonizujące, relaksujące i nasenne, przyczyniając się do przywrócenia naturalnego rytmu snu.

### **Summary**

Sleep plays a key role in maintaining health, because during sleep the body goes through different phases, which are very important for the well-being during the waking, active period. The recommended proper amount of sleep, on average, is 7-9 hours per night. The

body's biological clock, controlled by the suprachiasmatic nucleus in the brain, regulates sleep and wakefulness cycles in a 24-hour period by receiving light and dark signals from the environment. This rhythm influences hormone production, body temperature and other processes, determining the body's readiness for wakefulness or sleep. Lack of sleep, sleep disorders or poor quality sleep negatively affect both a person's physical and mental health. In the long term, the presence of sleep disorders can lead to problems with concentration, memory, lowered mood, as well as an increased risk of cardiovascular disease, depression or hormonal disorders. Taking care to observe sleep hygiene, understood as a set of habits and practices that promote restorative rest, is a very important part of physical and mental health. In conditions of chronic sleep disorders, phytotherapy can be used as sleep aids. Herbs that exhibit sedative, tonic, relaxing and sleeping effects are recommended; their supplementation contributes to the restoration of natural sleep rhythms.

## Wstęp

Sen stanowi „kamień węgielny” rytmu okołodobowego, który jest gwarantem homeostazy dla wszystkich organizmów żywych, w tym człowieka. Odpowiednia ilość i jakość snu oraz prawidłowe funkcjonowanie rytmu okołodobowego mają kluczowe znaczenie dla zdrowia fizycznego i psychicznego. Ważną rolę w regulacji rytmu okołodobowego odgrywa światło.

W obecnych czasach problemy ze snem, takie jak bezsenność, stwierdza się u około 10% ludności na świecie. Mogą one mieć charakter przejściowy lub przewlekły. Trudno wyeliminować z codziennego życia okoliczności niesprzyjające dobrej jakości snu, takie jak przewlekły stres. Leczenie farmakologiczne powinno stanowić jedynie krótkotrwałe uzupełnienie procesu terapeutycznego, ponieważ może prowadzić do uzależnienia. Około 3% osób przyjmuje leki nasenne stale, a 25–29% okresowo, przy czym ich stosowanie wzrasta wraz z wiekiem. Głównymi składnikami większości dostępnych bez recepty środków nasennych są ekstrakty ziołowe.

Udowodnione działanie terapeutyczne wykazują kozłek lekarski (waleriana), chmiel zwyczajny i melisa lekarska. Coraz częściej mówi się także o nasennych właściwościach wiśni pospolitej.

## Zarys fizjologii i funkcji snu

Sen jest fizjologicznym, cyklicznym stanem czynnościowym ośrodkowego układu nerwowego, charakteryzującym się zniesieniem świadomości. W jego trakcie następuje sekwencyjne występowanie cykli składających się z różnych faz. Kluczową cechą snu, odróżniającą go od stanu śpiączki, jest możliwość szybkiego powrotu do stanu czuwania w reakcji na dostatecznie silne bodźce [1].

Pozornie pasywny sen w istocie reguluje wiele kluczowych procesów życiowych. Obejmują one regenerację komórek, narządów i mięśni, a także utrwalanie informacji i umiejętności nabytych w ciągu dnia. Podczas snu bodźce zewnętrzne nie są odbierane przez mózg, co stanowi idealne warunki dla procesów konsolidacji pamięci, czyli przekształcania labilnych śladów pamięciowych w trwałe reprezentacje w pamięci długotrwałej [2]. Ponadto podczas snu głębokiego wydzielane są substancje regulujące metabolizm i wzmacniające układ immunologiczny. Zmniejsza się częstość akcji serca, a ciśnienie tętnicze ulega stabilizacji. Wszystkie procesy mają jeden cel – zapewnienie sprawności organizmu podczas czuwania [3].

Faza snu głębokiego (NREM) występuje naprzemiennie z fazą snu płytkiego (REM). Podczas tych cykli dochodzi do zmian w wydzielaniu hormonów. Spada ilość reniny, tyreotropiny oraz kortyzolu, wzrasta natomiast poziom somatotropiny odpowiedzialnej za wzrost i rozwój ciała. Efektem tych procesów jest zmniejszenie produkcji moczu oraz całkowite zniesienie uczucia głodu [4], co pozwala na spokojne przespanie całej nocy bez konieczności wstawania [5].

Człowiek dla zachowania zdrowia powinien przesypiać około 7–8 godzin na dobę [6]. W przypadku gdy czas snu jest krótszy niż 6 godzin na dobę, dochodzi do spadku poziomu leptyny (hormon sytości) i wzrostu stężenia greliny (hormon głodu), co prowadzi do zwiększonego spożycia pokarmów, nieadekwatnego do zapotrzebowania. Deficyt snu prowadzi do pogorszenia sprawności psychicznej, koncentracji i uwagi [7], a także do długoterminowego uczucia zimna w wyniku zaburzenia procesu termogenezy. Przewlekłe niedosypianie przyczynia się do rozwoju nadciśnienia tętniczego krwi, obniżenia odporności oraz rozwoju chorób cywilizacyjnych [4, 8], podczas gdy nadmiernie długi sen może prowadzić do hipercholesterolemii [4].

Sen jest integralną częścią ludzkiej egzystencji, wpływając na stan zdrowia i mając istotne znaczenie dla rytmu okołodobowego. Czas trwania rytmu okołodobowego wynosi 24 godziny, w tym czasie organizowane są procesy fizjologiczne, m.in. utrzymanie równowagi między okresem aktywności i odpoczynkiem, co jest ściśle skorelowane z działaniem hormonów [9].

## **Hormon ciemności i hormon poranka**

Melatonina, zwana hormonem snu, hormonem nocy bądź hormonem ciemności, jest naturalną substancją chemiczną, której działanie przypomina działanie neuroprzekazników. Melatonina produkowana jest przez szyszynkę i pełni wiele funkcji, takich jak hamowanie stresu oksydacyjnego (jest najsilniejszym antyoksydantem), regulacja rytmu okołodobowego, poprawa sprawności detoksu wątrobowego, wspo-

maganie produkcji glutationu, regulacja pracy układu odpornościowego oraz działanie uspokajające i wyciszające. Ponadto wykazuje działanie neuroprotekcyjne oraz zapobiega uszkodzeniom niedokrwiennym, gdyż z łatwością pokonuje barierę krew–mózg. Wykazano korelację pomiędzy podażą melatoniny oraz zmniejszeniem obszaru zawału mózgu na modelach zwierzęcych [10].

Organizm posiada własne regulatory sygnalizujące o konieczności snu. W każdej komórce naszego ciała znajdują się „naturalne zegary”, które są regulowane przez światło. To właśnie światło jest kluczowym elementem, ponieważ bodźce świetlne odbierane przez siatkówkę oka trafiają przez szlak siatkówkowo-podwzgórzowy do podwzgórza, które pełni rolę centralnego zegara [11]. Melatonina działa jak „strzałka zegara”. W godzinach wieczornych, kiedy na dworze jest ciemno, szyszynka uwalnia do krwiobiegu melatoninę, która stymuluje obszary w mózgu odpowiedzialne za generowanie i inicjowanie snu. W trakcie nocy stężenie melatoniny obniża się, a ekspozycja na poranne światło powoduje hamowanie jej syntezy. Wówczas pracę zaczyna kortyzol, który jest hormonem poranka, a zarazem stresu [12].

Jego zadaniem jest pobudzenie organizmu do działania oraz zapewnienie energii potrzebnej w trakcie okresu czuwania. Jest pomocnikiem adrenaliny i noradrenaliny w sytuacjach stresowych, zwiększa częstotliwość skurczów serca, nasila produkcję kwasu solnego w żołądku oraz stymuluje wzrost poziomu glukozy we krwi [5]. Melatonina i kortyzol, działając w opozycji, kontrolują cykl snu i czuwania, a kluczową rolę w ich prawidłowym funkcjonowaniu odgrywa światło.

## Znaczenie rytmu okołodobowego

Termin „rytm okołodobowy” pochodzi od łacińskich terminów: *circa*, oznaczającego „około”, oraz *dian*, czyli „dzień”, co w efekcie daje znaczenie „około dnia”. Zadaniem rytmu okołodobowego jest wyznaczanie regularnych, fizjologicznych zmian zachodzących codziennie w ludzkim ciele. Istotne jest to, że wewnętrzny rytm okołodobowy ma zdolność dostosowywania się do środowiska zewnętrznego, czyli 24-godzinnego cyklu dobowego, dziennego i nocnego, na Ziemi. Jednak prawdziwy wewnętrzny zegar biologiczny człowieka funkcjonuje w okresie trwającym nieco ponad 24 godziny – dokładnie 24,4 – stąd wzięła się nazwa „rytm okołodobowy”, a nie „dobowy” [11].

Rytm okołodobowe są kontrolowane przez endogenne stymulatory biologiczne, którym jest jądro nadskrzyżowaniowe, zlokalizowane w obszarze podwzgórza mózgu. To parzysty narząd, który generuje rytmy okołodobowe uwarunkowane genetycznie [11].

Programowanie rytmów okołodobowych odbywa się już w życiu płodowym. Kluczową rolę odgrywa melatonina, produkowana w szyszynce, która dojrzewa dopiero po narodzinach dziecka. Podczas ciąży płód jest zależny od melatoniny matki, a zatem i od jej rytmów okołodobowych. Melatonina swobodnie przekracza barierę łożyskową i na długo przed urodzeniem jest wykrywana w mózgu płodu, zapewniając neuroprotekcję oraz programując zegar wewnętrzny rozwijającego się dziecka [13].

### **Znaczenie światła dla rytmu okołodobowego oraz snu**

Najsilniejszym regulatorem gospodarki hormonalnej jest światło słoneczne. Odgrywa ono kluczową rolę w zarządzaniu systemem dobowym, m.in. zapewnia odpowiednie sterowanie hormonami, tak aby wydzielały się adekwatnie do pory dnia [14].

W dawnych czasach, na długo przed rozwojem elektryczności, ekspozycja na światło wyznaczała rytm dnia. Wstawano wcześniej rano, aby móc jak najdłużej korzystać ze światła dziennego, a spać chodzono o zmroku, po zachodzie słońca [11]. Obok słońca głównym źródłem światła był ogień. Zarówno światło słoneczne, jak i ogień są bogate w tzw. światło czerwone. Ta długość fali świetlnej nie blokuje wydzielania melatoniny i ponadto działa wyciszająco. Ten rodzaj oświetlenia po zmierzchu nie oddziaływał negatywnie na rytm dobowy naszych przodków. Wszystko zmieniło się wraz z wynalezieniem żarówki i nastaniem ery oświetlenia elektrycznego [15].

Niewątpliwą korzyścią, jaką przyniosło sztuczne światło, jest wydłużenie produktywnego czasu dnia, co zwiększyło zasoby czasowe na pracę czy naukę. Jednak istnieje negatywny aspekt tego zjawiska – coraz częściej mówi się o zanieczyszczeniu światłem, będącej jedną z najszybciej rozwijających się i najpowszechniejszych form zanieczyszczenia środowiska.

We współczesnym społeczeństwie prawie wszyscy korzystają ze światła elektrycznego, co skraca naturalny, dobowy czas trwania ciemności, a to niesie poważne konsekwencje zdrowotne [16].

### **Moc barw światła**

Światło jest falą elektromagnetyczną. W zależności od długości tej fali oko ludzkie odbiera różne wrażenia barwne. W badaniach naukowych wykazano, że światło wywiera wielowymiarowy wpływ na ludzki organizm, oddziałuje na wydzielanie hormonów, temperaturę ciała, częstość akcji serca, czujność, senność, a nawet na ekspresję genów. Z analiz naukowych ostatnich dwóch dekad wynika, że światło,

zwłaszcza o barwie niebieskiej, resetuje rytm okołodobowy, co predysponuje do rozwoju zaburzeń zdrowia psychicznego [17]. Niebieskie światło najsilniej ze wszystkich barw podnosi temperaturę ciała, przyspiesza akcję serca oraz redukuje senność. Psychiatra Alfred Lewy wykazał, że jasne światło o intensywności 2500 luksów, co jest odpowiednikiem 25 lamp z supermarketu, ma wpływ na tłumienie wydzielania melatoniny [11]. Im bardziej energooszczędna żarówka, tym więcej niebieskiego światła emituje, a im mocniejsza ekspozycja na sztuczne oświetlenie, tym bardziej zahamowany mechanizm obniżania kortyzolu. W takim stanie organizm odbiera stały sygnał o konieczności pozostawania w ciągłej mobilizacji. Ekspozycja na jasne światło w godzinach, w których powinno być ciemno, jest dla organizmu stresorem. Wykazano, że użytkowanie urządzeń wytwarzających niebieskie światło (zwłaszcza po zgaszeniu oświetlenia w pomieszczeniu) jest powiązane z występowaniem zaburzeń snu [18]. Wyświetlacze LCD (monitory komputerów, ekrany smartfonów i telewizorów) oraz diody LED emitują wyższy poziom sztucznego niebieskiego światła niż konwencjonalne źródła światła, co dodatkowo stwarza ryzyko uszkodzenia fotoreceptora w siatkówce oka [19]. Innym negatywnym aspektem działania światła niebieskiego na organizm jest penetracja przez skórę i oddziaływanie prozapalne na tarczycę, która jest położona jedynie 0,5 centymetra pod warstwą skóry [20].

Naturalne światło słoneczne, w przeciwieństwie do jednostajnego sztucznego oświetlenia, zmienia spektrum swojego promieniowania w ciągu doby. Początkowo jest bogate w barwę niebieską, co jest potrzebne do wspierania czujności w ciągu dnia. Kluczowa okazuje się pora jego emisji, czyli od godzin porannych do popołudniowych. Ekspozycja na niebieskie światło pochodzenia słonecznego jest ważna, ponieważ tłumia wydzielanie melatoniny, pobudza organizm, poprawia samopoczucie oraz wspomaga utrzymywanie zdolności poznawczych. Człowiek każdego dnia potrzebuje kontaktu z pełnym spektrum światła. Spadek energii, chęci do działania i gorsze samopoczucie w okresie jesienno-zimowym wynika z ograniczonej ekspozycji na światło słoneczne [12].

Na kilka godzin przed zachodem słońca dominuje światło czerwone. Działa ono regenerująco na tarczycę, obniża poziom kortyzolu, wycisza stany zapalne, wspomaga odporność organizmu, relaksuje wzrok, inicjuje wydzielanie melatoniny. Z tą barwą światła ostatnią w ciągu dnia oko powinno mieć kontakt, aby proces snu przebiegł poprawnie, a jego jakość była efektywna. W obecnych czasach, a zwłaszcza w okresie zimowym, jest to bardzo trudne do osiągnięcia [15].

W obliczu tych zagrożeń bardzo ważne jest wdrożenie działań profilaktycznych. Jedną z najskuteczniejszych metod jest zaprzestanie używania urządzeń elektronicznych emitujących światło niebieskie (takich jak telefon, komputer, telewizor,

tablet, czytelnik) na dwie godziny przed snem. Bardzo dobre efekty daje założenie czerwonej żarówki, np. w lampce nocnej w sypialni czy jako dodatkowe źródło światła w łazience, aby w godzinach wieczornych oświetlać te pomieszczenia takim światłem. Okulary blokujące niebieskie światło, wyposażone w pomarańczowe soczewki, są skutecznym środkiem zaradczym, gdy musimy używać ekranów lub oświetlenia LED w godzinach wieczornych lub nocnych, np. w związku z wykonywaną pracą. Warto używać filtrów chroniących wzrok czy też specjalnych aplikacji, które automatycznie dostosowują barwę emitowaną przez ekran do pory dnia, np. Twilight [11]. Podjęcie tego typu działań profilaktycznych w perspektywie długofalowej może uchronić przed wieloma zaburzeniami czy chorobami, które mogą rozwinąć się na podłożu zaburzeń rytmu okołodobowego czy też długotrwałej ekspozycji na światło niebieskie.

### **Fitoterapia w zaburzeniach snu**

Postępowanie terapeutyczne w zaburzeniach snu można podzielić na metody farmakologiczne i niefarmakologiczne. Te drugie obejmują następujące działania: higienę snu, psychoterapię, fototerapię, encefalofonię („muzyka mózgu”), akupunkturę, biofeedback, fizjoterapię oraz homeopatię. W postępowaniu lekowym można stosować leki syntetyczne lub preparaty oparte na surowcach roślinnych. Leki ziołowe zajmują szczególne miejsce wśród środków terapeutycznych stosowanych w przypadku problemów ze snem. Fitoterapia była stosowana w leczeniu bezsenności w krajach na całym świecie od wieków. Właściwości uspokajające i nasenne roślin leczniczych opisywano już w czasach starożytnych. Główną zaletą fitoterapii jest jej wysoka skuteczność terapeutyczna przy braku skutków ubocznych, z wyjątkiem przypadków indywidualnej wrażliwości na poszczególne składniki leku. Pierwszą substancją stosowaną ze względu na właściwości nasenne i odurzające było opium, pozyskiwane z soku niedojrzałych makówek maku lekarskiego. Było ono używane aż do początku XX w., jednak ze względu na swoje działanie uzależniające było stopniowo wycofywane [21].

W piśmiennictwie najwięcej pozytywnych opinii na temat skutecznego efektu terapeutycznego dotyczy preparatów zawierających wyciąg z kozłka lekarskiego (waleriana) oraz chmielu zwyczajnego. Kozłek lekarski, znany ze swoich właściwości nasennych, jest stosowany od ponad 1 tys. lat. Zawiera m.in. argininę, glutaminę, alaninę i kwas gamma-aminomasłowy (GABA). Kozłek lekarski działa także na receptory adenozynowe i wspomaga działanie melatoniny. Inhalacja z olejków eterycznych uzyskanych z korzeni kozłka lekarskiego skraca czas latencji snu i wydłuża całkowity czas odpoczynku nocnego. Ponadto kozłek lekarski, nazywany „walerianą”, zmniejsza stres, dzięki czemu ułatwia zasypianie [22]. Dowodami na

skuteczność działania tej rośliny są wyniki badań przeprowadzonych na ochotnikach obu płci, cierpiących na bezsenność i stosujących walerianę w celu jej łagodzenia. W podwójnie ślepych kontrolowanym placebo badaniu zdrowym ochotnikom podawano ekstrakt z waleriany w dawce 400 mg. Nie wpływało to na ogólną charakterystykę snu, ale zaobserwowano tendencję do skracania czasu zasypiania [23]. Tradycyjne zastosowanie chmielu zwyczajnego jako środka nasennego wywodzi się z obserwacji nadmiernej senności i zmęczenia u osób zbierających chmiel. Preparaty zawierające ekstrakt chmielu cieszą się dużą popularnością wśród osób z bezsennością, chociaż badań potwierdzających jego działanie sedatywne jest znacznie mniej niż w przypadku kozłka lekarskiego. Mówiąc o roślinach o działaniu sedatywnym, wymienia się również melisę lekarską.

Roślina ta wykorzystywana jest w ziołolecznictwie od ponad 2 tys. lat. Charakteryzuje się łagodnym działaniem uspokajającym oraz wspomagającym zasypianie i sen. Jej stosowanie opiera się bardziej na tradycji niż na solidnych, udokumentowanych dowodach naukowych [22]. W otwartym badaniu prospektywnym 15-dniowe stosowanie ekstraktu z melisy wykazało zmniejszenie objawów lękowych o 18%, zmniejszenie objawów związanych z lękiem o 15% i redukcję objawów bezsenności o 42%. Ponadto badanie wykazało, że długotrwałe stosowanie melisy eliminuje skutki związane ze stresem, gdyż roślina ta ma również właściwości przeciwłękowe i przeciwdepresyjne [24].

Rumianek pospolity jest jednym z najstarszych ziół wykorzystywanych w medycynie, stosowanym jako środek ściągający, rozkurczowy, przeciwzapalny, uspokajający i nasenny. Uważa się, że uspokajające i nasenne właściwości ma zarówno herbata z kwiatów rumianku, jak i wdychany olejek eteryczny. Wodny ekstrakt używany bywa w leczeniu napadów hysterii, koszmarów nocnych, bezsenności i nadpobudliwości [22]. Uważa się, że wpływ rumianku na sen wynika z jego wiązania z receptorami benzodiazepiny i kwasu gamma-aminomasłowo-GABA, które mają działanie nasenne w cyklach snu i czuwania. Dodatkowo infuzja rumianku ma wysoką zawartość melatoniny, a jego właściwości przeciwutleniające mogą przyczyniać się do promowania snu. Przewlekły stres oksydacyjny zakłóca kluczowe mechanizmy regulacji rytmów okołodobowych i homeostazy snu [25].

W badaniu przeprowadzonym w grupie 34 dorosłych pacjentów cierpiących na przewlekłą bezsenność, którzy przyjmowali 270 mg preparatu z rumianku 2 razy dziennie lub placebo, nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic pomiędzy podgrupami w zakresie całkowitego czasu snu, efektywności snu, latencji snu ani w liczbie przebudzeń w ciągu nocy. Pomimo tradycyjnego przekonania o uspokajających i nasennych właściwościach rumianku konieczne są dalsze badania, które pozwolą potwierdzić lub obalić tę hipotezę.

Wśród roślin, którym przypisuje się właściwości nasenne, znajduje się męczennica cielista, która wykazuje powinowactwo do układu GABA-ergicznego, działająca głównie uspokajająco, a nie nasennie. Istnieje jednak zbyt mało badań klinicznych potwierdzających jednoznacznie jej skuteczność. Na poprawę nastroju i redukcję stresu pozytywnie wpływają również rośliny dostępne w rejonie wysp Pacyfiku i w USA, takie jak pieprz metystynowy, rózeniec górski, a także rośliny działające łagodnie uspokajająco: dziurawiec zwyczajny, tarczycza bocznokwiatowa i wąkrota azjatycka. Niemniej jednak nie leczą one bezsenności. Zioła inne niż kozłek lekarski, chmiel i ewentualnie melisa lekarska nie mają dobrze udokumentowanej skuteczności działania w leczeniu zaburzeń snu. W ostatnich latach pojawiły się publikacje wskazujące na nasenne działanie soku z wiśni pospolitej. Owoce wiśni zawierają polifenole, takie jak kwas elagowy, chlorogenowy, kawowy, flawonoidy, m.in. kwercetynę, katechinę, epikatechinę i antocyjany oraz melatoninę. Tę ostatnią wykryto również w czerwonych winogronach, czerwonym winie, czerwonej papryce i pomidorach. Prawdopodobnie to właśnie melatonina odpowiedzialna jest za umiarkowaną poprawę parametrów snu u ochotników pijących regularnie sok z wiśni, co wykazano w badaniu przeprowadzonym w stanie Nowy Jork w USA. W randomizowanej próbie osoby pijące sok z wiśni rzadziej budziły się po zaśnięciu i uzyskiwały niższe wyniki w skali nasilenia bezsenności w porównaniu z grupą przyjmującą placebo [22].

Dobór fitopreparatów, dawkowanie, łączenie z innymi ziołami lub lekami syntetycznymi zależy nie tylko od charakteru, ale także od głębokości tych zaburzeń. W przypadku łagodnych i krótkotrwałych zaburzeń snu leki ziołowe są zalecane jako monoterapia oraz w połączeniu z innymi terapiami nefarmakologicznymi (np. łączy się olejki aromatyczne z ziołami czy wykorzystuje ziołowe poduszki do spania). W przypadku ciężkich, długotrwałych zaburzeń snu ziołowe środki nasenne mogą być łączone ze sobą, a także z terapiami nefarmakologicznymi oraz z lekami syntetycznymi (np. Melaxenem, Donormilem). W okresie rekonwalescencji i rehabilitacji fitopreparaty mogą być stosowane w celu zastąpienia lub ograniczenia przyjmowania nasennych leków syntetycznych.

Praktyka wykazała, że wpływ ziół leczniczych na ludzi jest zróżnicowany i zależy od indywidualnych czynników, m.in. od stylu życia, stanu odżywienia, diety, charakteru pracy, przebiegu choroby. Fitoterapia ma też wiele zalet:

- wykazuje łagodne działanie terapeutyczne,
- nie wywołuje uzależnienia, nawet przy długotrwałym stosowaniu lub po zaprzestaniu ich przyjmowania,
- daje możliwość stosowania fitopreparatów w różnej formie, np. w postaci tabletek, wywarów, naparów,
- wykazuje dobrą kompatybilność z większością leków nasennych syntetycznych,

- ma ogólne działanie prozdrowotne, stymulując mechanizmy obronne organizmu,
  - daje możliwość zastąpienia nietolerowanego składnika ziołowego składnikiem z innej grupy gatunkowej o podobnym działaniu,
- a przy tym:
- zioła są łatwe w przygotowaniu i stosowaniu,
  - fitopreparaty tworzone są na bazie roślin ekologicznych [21].

## Wnioski

1. Sen ma fundamentalne znaczenie dla zdrowia i dobrego samopoczucia. Kluczowe korzyści płynące z odpowiedniej ilości i jakości snu to wzmocnienie odporności, ochrona serca, regulacja gospodarki hormonalnej, wsparcie funkcjonowania mózgu i układu nerwowego oraz poprawa ogólnej kondycji organizmu.
2. Aby utrzymać prawidłowy rytm okołodobowy, ważne jest przestrzeganie regularnych pór snu i czuwania, zapewnienie dostępu do światła dziennego, odpowiednie oświetlenie wewnątrz oraz unikanie ekspozycji na jasne światło w nocy.
3. Preparaty ziołowe zwykle zawierają złożoną mieszkankę związków, które wpływają na procesy metaboliczne, zarówno ponadkomórkowe, jak i wewnątrzkomórkowe, co utrudnia pełne wyjaśnienie ich działania.
4. W leczeniu zaburzeń snu stosuje się ziołowe środki uspokajające i nasenne, których efekt senności uzyskiwany jest głównie poprzez wpływ na układ GABA-ergiczny, mający istotny udział w patogenezie zaburzeń nerwicowych wywołanych stresem i bezsennością.

## Literatura

- [1] Fuller P.M., Gooley J.J., Saper C.B., Neurobiology of the Sleep-Wake Cycle: Sleep Architecture, Circadian Regulation, and Regulatory Feedback, *Journal of Biological Rhythms*, 2006, 21(6), s. 490–493.
- [2] Finc K., Fizjologia snu oraz jej znaczenie dla konsolidacji śladów pamięciowych, 8. Poznańskie Forum Kognitywistyczne, Teksty pokonferencyjne nr 7, Poznań 2013, s. 37–38.
- [3] Siegel J.M., Rogawski M.A., A function for REM sleep: regulation of noradrenergic receptor sensitivity, *Brain Research Reviews*, 2008, 13, s. 3213–3223.
- [4] Siemiątkowska K., Wpływ rytmu okołodobowego na homeostazę organizmu, *Acta Salutem Scientiae*, 2021, 2, s. 33–38.
- [5] Di Chiara K., Zdrowy mikrobiom, zdrowy organizm, *Vital*, Białystok 2021, s. 130–131.

- [6] Szymańska-Czechór M., Kędra E., Ocena wpływu pracy zmianowej na stan zdrowia personelu pielęgniarskiego wybranego podmiotu leczniczego, *Problemy Pielęgniarstwa*, 2017, 25(3), s. 192.
- [7] Błońska B.K., Gotlib J., Występowanie zaburzeń snu wśród studentów, *Przegląd Medyczny Uniwersytetu Rzeszowskiego i Narodowego Instytutu Leków w Warszawie*, 2012, 4, s. 485–497.
- [8] Joško J., Lau K., Zaburzenia snu jako problem zdrowia publicznego, *Zdrowie Publiczne*, 2010, 120 (2), s. 200.
- [9] Mądra H., Życ w zgodzie z zegarem biologicznym. Smak zdrowia, 2018, 5, s. 2–3.
- [10] Pei Z., Pang S.F., Cheung R.T., Administration of melatonin after onset of ischemia reduces the volume of cerebral infarction in a rat middle cerebral artery occlusion stroke model, *Stroke*, 2003, 34, s. 770–775.
- [11] Owczar L., Melatonina, Wydawnictwo Szare Geny, Gniewkowo 2020, s.10–28, 67–77.
- [12] Wierzbicka I., Jak wzmocnić odporność, Wydawnictwo Zwierciadło, Warszawa 2020, s. 117, 127.
- [13] Rahman S.A., Marcu S., Kayumov L., Altered sleep architecture and higher incidence of subsyndromal depression in low endogenous melatonin secretors, *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 2010, 260, s. 327–335.
- [14] Zawilska J.B., Nowak J.Z., Rytmika okołodobowa i zegar biologiczny, *Sen*, 2022, 2(4), s. 128.
- [15] Skalski M., Zaburzenia snu, *Fizjologia snu i rytmu sen – czuwanie*, Urban & Partner, Wrocław 2017, s. 22.
- [16] Cho Y., Ryu S.H., Lee B.R., Kim K.H., Lee E., Choi J., Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment, *Chronobiology International*, 2015, 32(9), s. 1294–1310.
- [17] Bauer M., Glenn T., Monteith S., Gottlieb J.F., Ritter P.S., Geddes J., Whybrow P.C., The potential influence of LED lighting on mental illness, *The World Journal of Biological Psychiatry*, 2018, 1, s. 59–73.
- [18] Kawalec A., Pawlas K., Czynniki środowiskowe wpływające na sen oraz zachowywanie higieny snu, *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 2013, 94(1), s. 3–5.
- [19] Lin C.W., Yang C.M., Yang C.H., Effect of the Emitted Light Spectrum of Liquid Crystal Displays on Light – Induced Retinal Photoreceptor Cell Damage, *International Journal of Molecular Sciences*, 2019, 20(9), s. 2318.
- [20] Tarttelin E.E., Bellingham J., Hankins M.W., Foster R.G., Lucas R.J., Neuropsin (Opn5): a novel opsin identified in mammalian neural tissue, *FEBS Letters*, 2003, 554(3), s. 410–416.
- [21] Корабельникова А.Е., Данилов Ал.Б., Применение препаратов лекарственных трав для лечения инсомнии, *Медицинский алфавит*, 2019, 2(19), s. 11–18.
- [22] Grabska-Kobyłecka I., Nowak D., Sleep, insomnia and its treatment – a brief review of current knowledge on the subject with a special attention to herbal medicine, *Pediatrics i Medycyna Rodzinna*, 2014, 10(3), s. 270–277.

- [23] Leathwood P.D., Chauffard F., Quantifying the effects of mild sedatives, *Journal of Psychiatric Research*, 1983, 17(2), s. 115–122.
- [24] Cases J., Ibarra A., Feuillère N., Roller M., Sukkar S.G., Pilot trial of *Melissa officinalis* L. leaf extract in the treatment of volunteers suffering from mild-to-moderate anxiety disorders and sleep disturbances, *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 2011, 4(3), s. 211–218.
- [25] Morris G., Stubbs B., Köhler C.A., Walder K., Slyephenko A., Berk M., Carvalho A.F., The putative role of oxidative stress and inflammation in the pathophysiology of sleep dysfunction across neuropsychiatric disorders: Focus on chronic fatigue syndrome, bipolar disorder and multiple sclerosis, *Sleep Medicine Reviews*, 2018 (41), s. 255–265.

## **Zielnik osobisty. Ekslibrisy - małe formy graficzne Krzysztofy Lachtary**

### **Personal herbarium. Ekslibrises - small graphic forms by Krzysztofa Lachtara**

Katarzyna Tulik, Cagliari

---

**Słowa kluczowe:** Krzysztofa Lachtara, ekslibris, bibliofilstwo, grafika, akwaforta, akwatinta  
**Keywords:** Krzysztofa Lachtara, bookplate, bibliophilia, graphics arts, etching, aquatint

---

### **Streszczenie**

Ekslibris to znak własnościowy książki, na którym umieszcza się imię i nazwisko posiadacza oznaczonego woluminu. Niegdyś bardzo popularny, miał on chronić księgi przed kradzieżą i świadczył o wysokiej kulturze właściciela. W XX w. zmienił formę i przeznaczenie. Ekslibris stał się sztuką graficzną, znakiem ozdobnym, pożądanym przez bibliofilów i miłośników książek, przedmiotem kolekcjonerskim i luksusowym.

Pochodząca z Rzeszowa Krzysztofa Lachtara jest jedną z nielicznych artystek w Polsce, specjalizujących się w tworzeniu tych małych form graficznych. Pracuje w trudnych technikach akwaforty i akwatinty, a swój artystyczny warsztat opanowała do perfekcji. Jej twórczość to głównie ekslibrisy tworzone dla przyjaciół lub instytucji. Najczęstszym motywem jej prac są rośliny i owady, bowiem to świat przyrody fascynuje artystkę.

### **Summary**

Bookplate is the ownership mark of a book, which bears the name and surname of the volume's owner. It was supposed to protect the books against theft and showed the high culture of the owner. Once very popular, in the 20th century it changed its form and purpose. The bookplate has become a graphic art, a decorative sign, desired by bibliophiles and book lovers, a collector's item and a luxury item.

Krzysztofa Lachtara, who comes from Rzeszów, is one of the few women artists in Poland who specializes in creating these small graphic forms. She works in the difficult technique of etching and aquatint, and she has mastered the artistic technique to perfection. Her work mainly consists of bookplates created for friends or institutions. The most common motifs in her works are plants and insects, because the natural world is the artist's fascination.

Historia ekslibrisów wiąże się z historią rozwoju drukarstwa. Wraz z wynalazkiem Johanna Gutenberga, który opracował nową technikę odbijania książek (tzw. technikę ruchomej czcionki), druk stał się szybszy, a książki bardziej dostępne. Zrodziło się wówczas zapotrzebowanie na ekslibrisy – dekoracyjne znaki własnościowe, które miały identyfikować właściciela woluminu. Pierwsze księgoznaki, będące dekoracyjnym napisem lub pieczęcią, były tworzone przez anonimowych artystów, którzy księgi zdobili lub przepisywali. Taka forma wypowiedzi artystycznej szybko znalazła zainteresowanie wśród twórców specjalizujących się w grafikach. Do dziś inspiracją dla artystów pozostaje Albrecht Dürer, który jako pierwszy wykonywał ekslibrisy, nadając im indywidualny charakter.

Artyści, posługując się uniwersalnym językiem sztuki, od zawsze utrwalali piękno przyrody. Rzeszowska graficzka Krzysztofa Lachtara, zafascynowana światem roślin, wokół swego domu stworzyła piękny ogród, dający wrażenie tajemniczego i nieokiełzanego żywiołu, rządzonego siłami natury. Nie znajdziemy w nim egzotycznych gatunków roślin, lecz jedynie popularne niegdyś w przydomowych ogrodach: prymulki, żonkile, tulipany, anemony, dalie, lilie, liliowce, przebiśniegi oraz wiele gatunków drzew owocowych, m.in.: jabłonie, grusze, wiśnie czy derenie. Przyroda stała się także głównym bohaterem jej prac.

\*\*\*

Krótką i zwięzłą definicję ekslibrisu podaje internetowy słownik języka polskiego PWN: „artystyczna nalepka z imieniem i nazwiskiem lub godłem właściciela umieszczana na wewnętrznej stronie okładki; *ex libris*, ekslibrys, księgoznak, znak własnościowy” [1]. Natomiast czym jest znak własnościowy, dokładniej wyjaśnia *Słownik terminologiczny sztuk pięknych*, wskazując nie tylko na funkcję informacyjną ekslibrisu, ale też na wartość estetyczną, podając przy tym jego genezę. Według tej definicji ekslibris to

[...] zwykłe kartka z wyobrażeniem graficznym i nazwiskiem właściciela książki lub nazwą instytucji, wklejana do dzieła na wewnętrznej stronie przedniej okładziny dla zadokumentowania przynależności egzemplarza do księgozbioru; typowy ekslibris od poł. XV w. ma formę heraldyczną, rzadko z portretem, częściej z rysunkiem alegorycznym, dewizami, sentencjami i mottami. [...] W Europie znany już w okresie feudalizmu w postaci herbów malowanych na rękopisach, najczęściej na dolnym marginesie pierwszej karty tekstu. W Polsce najstarszy datowany ekslibris pochodzi z pocz. XVI w. W poł. XV w. pojawiła się forma naklejanej, graf. opracowanej naklejki. Ekslibrisy są często przedmiotem kolekcjonerstwa [2].

Oprócz imienia i nazwiska właściciela księgoznaku i łacińskiego napisu *ex libris*, artysta może umieścić inne zwroty, które określą charakter kolekcji, tj.: *ex dono* – z daru, *ex libris et collectione* – z książek i zbioru, *ex libris et musicis* – z książek i muzykaliów, *ex libris archeologiae* – z książek archeologicznych, *ex libris diplomaticis* – z książek dyplomatycznych, *ex libris exlibrisologicis* – z książek o znakach książko-

wych, *ex libris poeticis* – z poezji, *ex bibliotheca Conventus* – z biblioteki zgromadzenia, *Cracoviana*, *Leopolitana*. Nie brakuje oczywiście sentencji w języku polskim, np. *ta książka należy do, z księgozbioru* [3].

Na dawnych ekslibrisach znajdowały się również motta i sentencje ostrzegające przed zniszczeniem lub kradzieżą, np.: „Kto karty zagina, czy latem, czy wiosną, / Niech uszy mu długie jak osłu wyrosną!”, „Kto tę książkę ukradnie, niech mu ręka odpadnie, / A kto ją schowa pod futro, tego obwieszają jutro”, „*Hic liber mihi est* – ta książka jest moja”, lub „Kto tę książkę świesnie, niech na gałęzi zawiesnie!” [3].

Typowy ekslibris służył do zabezpieczenia książki przed kradzieżą lub zagubieniem, czasem zamiast ekslibrisu właściciel woluminu umieszczał na nim własnoręczny podpis lub/i pieczętkę. Pewnym reliktem tego są dziś pieczętki przybijane w książkach bibliotecznych, będące formą znaku własnościowego spełniającego jedynie funkcję informacyjną.

Współcześnie ekslibris jest przede wszystkim rysunkiem o konkretnej tematyce, przyciągającym wzrok oglądającego i będącym elementem dekoracyjnym książki. Takie podejście do grafiki użytkowej pojawiło się po raz pierwszy na przełomie XIX i XX w., kiedy to nowy nurt w sztukach – secesja – położył, nacisk na dekoracyjność każdego przedmiotu [4].

Ilustracje umieszczane na księgoznakach były odzwierciedleniem estetyki danej epoki: mamy tu oświeceniowe pejzaże i portrety, romantyczne scenki rodzajowe i przedstawienia ruin, klasycystyczne elementy architektoniczne, młodopolskie kwiaty i ozdobne bordiury czy współczesne zgeometryzowane kompozycje.

Artysta przed przystąpieniem do pracy stara się poznać osobę, dla której ma zostać wykonany księgoznak – jej pochodzenie, zainteresowania, wykonywany zawód, miejsce zamieszkania czy hobby. Dopiero na tej podstawie przygotowuje projekt, a następnie gotowy ekslibris w jednej z technik graficznych czy malarskich. Zdarza się (i tak jest często w przypadku rzeszowskiej graficzki Krzysztofy Lachtary), że artysta nie realizuje ekslibrisów na zamówienie, lecz dla osoby, którą zna, z którą łączy go szczególna więź, przyjaźń czy artystyczne bądź intelektualne zainteresowania.

Pod koniec XIX w. wśród miłośników sztuki i bibliofilów wzrosło zainteresowanie ekslibrisami. Wyszukiwali je oni w antykwariatach i bibliotekach, nie tylko prywatnych. Niestety, wyrывая ekslibrisy z wiekowych woluminów, ci miłośnicy książek niweczyli szansę na odtworzenie historii dawnych bibliotek [5].

Choć biorąc pod uwagę pełnioną funkcję i zgodnie z definicją słownikową znak własnościowy stanowi grafikę użytkową, z czasem stał się on autonomicznym i indywidualnym dziełem sztuki, poszukiwanym przez kolekcjonerów. Dlatego też obecnie spotkać się można z pojęciami „ekslibris artystyczny” lub „ekslibris luksusowy”. Dotyczą one znaków własnościowych zaprojektowanych i wykonanych przez artystów w niewielu egzemplarzach. Takie ekslibrisy nie są przeznaczone do wklejania

do książki, ale do podziwiania i dawania satysfakcji jego posiadaczowi. Współczesny księgoznak jest swobodną formą wypowiedzi artystycznej, wolną od reguł i rygorów formalnych, a artyści tworzą ekslibrisy w dowolnych technikach plastycznych.

\*\*\*

Krzysztofa Lachtara urodziła się w 1937 r. we wsi Święty Józef niedaleko Kołomyi, tam też spędziła dzieciństwo. Po wojnie Lachtarowie zamieszkali w Rzeszowie, w pobliżu rodzinnych stron ojca artystki, którego krewni pochodzili z kolbuszowskiego przysiółka Mazury.

Krzysztofa Lachtara artystycznego fachu uczyła się w krakowskiej Akademii Sztuk Pięknych, była studentką m.in. Hanny Rudzkiej-Cybisowej. Dyplom uzyskała w 1964 r. w pracowni miedziorytu prof. Mieczysława Wejmana oraz w pracowni plakatu prof. Macieja Makarewicza. Po studiach wróciła do Rzeszowa, gdzie współpracowała m.in. z etnografem Franciszkiem Kotulą, dokumentując swymi rysunkami elementy architektoniczne budownictwa ludowego Rzeszowszczyzny, oraz z rzeszowskim teatrem dla dzieci „Maska”, gdzie projektowała scenografię, plakaty oraz lalki do przedstawień.

Pierwsze dziesięciolecie po ukończeniu studiów było dla artystki czasem poszukiwania własnej drogi twórczej. W tym okresie jej grafiki były utrzymane w czarno-białej kolorystyce, może dlatego, że Krzysztofa Lachtara pozostawała jeszcze pod wpływem swoich nauczycieli z krakowskiej ASP. Jednocześnie oprócz grafik tworzyła nieliczne obrazy olejne – w większości zgeometryzowane portrety zbiorowe. Jej charakterystyczny styl ostatecznie ukształtował się w drugiej połowie lat 70. XX w., kiedy to w jej grafikach zagościł kolor.

Prace artystki to przede wszystkim grafiki, których przewodnim motywem są rośliny. Szczególne miejsce w jej twórczości zajmują ekslibrisy, które wykonuje dla przyjaciół, osób związanych z życiem kulturalnym i artystycznym, autoekslibrisy, ekslibrisy okolicznościowe przeznaczone dla instytucji oraz tematyczne, wykonywane na konkursy graficzne. Dla osób szczególnie jej bliskich, np.: Anny Budzińskiej, Pawła Knothe, Stanisława Kuci, Józefa Krydy, Barbary Smoczeńskiej czy siostry artystki – Janiny Lachtary, wykonała po dwa–trzy różne księgoznaki. W wielu pracach artystki widoczne są inspiracje literackie. Przykładem jest seria grafik pt. *Harfa traw*, stworzona pod wpływem lektury opowiadania Trumana Capote o tym samym tytule, czy *Ex libris Jerzego J. Fafary*, w którym każdy z przedstawionych elementów kompozycji stanowi detal wywodzący się z powieści tego pisarza.

Krzysztofa Lachtara jest laureatką licznych nagród i wyróżnień (jak Nagroda Miasta Rzeszowa w 1997 r.). Jej prace oglądać można w muzeach w Izraelu i Finlandii. W Polsce obecne są m.in. w zbiorach wrocławskiego Ossolineum, w muzeach w Poznaniu i Krakowie. Prace artystki były prezentowane na wielu wystawach w Polsce i za granicą (Belgia, Hiszpania, Dania, Francja, Niemcy, Szwecja, Szwajcaria, Wielka Brytania). Twórczyni mieszka i pracuje w Rzeszowie [6].

Artystka wykonuje ekslibrisy, łącząc dwie techniki druku wklęsłego – akwafortę i akwatintę. Obie wymagają od twórcy dużej precyzji, a przede wszystkim doświadczenia, cierpliwości oraz umiejętności stworzenia ciekawego motywu i narysowania go na metalowej blaszce.

Akwaforta (z wł. *acquaforte* dosł. ‘mocna woda’), nazywana też kwasorytem, została wynaleziona w XVI w. Polega na wykonaniu odbitki z płytki miedzianej lub cynkowej, na której uprzednio nakreślono rysunek:

Wypolerowaną płytę pokrywa się werniksem akwafortowym (wosk, asfalt, żywica); rysunek wykonuje się igłą, nacinając werniks i odsłaniając powierzchnię metalu. Następnie płytę poddaje się trawieniu w wodnym roztworze kwasu azotowego lub chlorku żelazowego; natężenie kreski zależy od głębokości trawienia, tj. od czasu trawienia, dlatego albo dorysowuje się sukcesywnie kreski od (pierwszych najdłuższych trawionych) najciemniejszych, do najdelikatniejszych (najkrócej trawionych) [2].

Następnie wytrawioną płytkę oczyszcza się z werniksu, po czym nakłada farbę. Wytrawione linie są bardzo cienkie, dlatego należy dobrze wetrzeć barwnik, tak aby dotarł w każde, nawet najdrobniejsze wgłębienie. Czynność tę należy wykonać bardzo dokładnie. Następnie usuwa się z płytki nadmiar farby (pozostawia tylko tę w zagłębieniach) i wykonuje odbitki na papierze, używając prasy.

Akwatinta (z wł. *acquatinta* dosł. ‘barwiona woda’), technika graficzna bardzo popularna w XVII i XVIII w., jest zbliżona do opisanej wyżej akwaforty, różni się od niej tym, że na metalowej płytce wytrawia się nie linie, ale całe płaszczyzny.

Mistrzami w technice akwatinty byli: Jean Baptiste Le Prince, Francisco Goya, Thomas Rowlandson, Per Gustaf Floding, Johann Adam Schweickart, Andrea Scacciati, Pablo Picasso [2]. Natomiast w technice akwaforty osiągnęli mistrzostwo: Albrecht Dürer, Rembrandt i Francisco Goya, zaś w Polsce prace w tej technice wykonywali m.in.: Jan Piotr Norblin, Jan Płoński, Józef Mehoffer, Józef Pankiewicz.

Należy pamiętać, że wszystkie odbitki są oryginałami, a artysta podpisuje każdą odbitkę, nadając jej kolejny numer w serii\*.

Krzysztofa Lachtara jest wielką miłośniczką roślin. Wokół swego rzeszowskiego domu wyczarowała wspaniałą i niespotykany ogród w stylu angielskim. To obszar,

\* Spotyka się kilka typów numeracji grafik. Krzysztofa Lachtara stosuje zapis cyframi arabskimi (tzw. *arabic numerals*). Polega on na tym, że w systemie ułamkowym notuje się numer odbitki, np. 5/100, przy czym 5 oznacza numer odbitki, a 100 liczbę wszystkich zaplanowanych do wykonania. Zatem artystka podpisuje swoje grafiki w następujący sposób: tytuł pracy, numer, rok, inicjał imienia i nazwisko, np. *Moje modele*, 5/100, 1987, K. Lachtara. Inaczej podpisuje ekslibrisy, jest to zawsze rok, inicjał imienia oraz nazwisko, np. 1983 K. Lachtara. Bardzo rzadko zdarza się, aby Lachtara podpisała swoją pracę pełnym imieniem i nazwiskiem. Jej księgoznaki nie są numerowane, ponieważ powstaje tylko kilka odbitek. Dzięki temu te małe arcydzieła są pracami unikatowymi.

który tylko z pozoru wygląda na tajemnicze i niesamowite miejsce, nietknięte ręką człowieka. Jak przystało na ogrodniczkę, artystka wykonuje swe grafiki najczęściej jesienią i zimą – kiedy ogród odpoczywa. W jej pracach dominują motywy przyrody, wśród których można znaleźć m.in.: liście, sezonowe owoce (jabłka, wiśnie, pigwy, derenie), które w graficznych kompozycjach są zawsze mocnym akcentem kolorystycznym, grzyby, ozdobne dynie, skorupki ślimaków, owady czy bukiety, na które składają się: makówki, kwiaty ostu, kasztany, strąki fasoli, suche kwiaty. W kompozycjach tych rozpoznać można kwiaty z jej przydomowego ogrodu: ozdobne trawy, prymulki, śnieżyczki, dalie, dzwoneczki, irysy, hiacynty, kosańce, kwiaty magnolii, a także rośliny zbierane na łąkach.

Dynie ozdobne, zwane przez artystkę zdrobniale „dyńkami”, zajmują szczególne miejsce w jej grafikach tworzonych w latach 80. i 90. Brzydkie, ze względu na guzowatą powierzchnię, są nieprzydatne w gospodarstwie domowym, a jednak intrygują swym wyjątkowym kształtem. Zostały utrwalone przez graficzkę z hiperrealistyczną wręcz precyzją, a botanik mógłby rozpoznać ich gatunek. Szpetne dyniowate, ciernie ostów, kolczaste łupinki kasztanów przypominają o przemijaniu, starości, chorobie czy ludzkich ułomnościach.

Rośliny w grafikach Krzysztofy Lachtary są zaaranżowanymi kompozycjami wspomnień, śladem chwil ulotnych i szczęśliwych, odbiciem dzieciństwa spędzonego w ogrodzie pełnym kwiatów i drzew owocowych. W ten sposób artystka zarejestrowała momenty, które wydarzyły się wcześniej i gdzie indziej, są próbą uchwycenia i zapamiętania przeszłości. Świat roślin i zwierząt zaczyna nabierać znaczenia symbolicznego, nie zawsze oczywistego dla odbiorcy. Przyroda w pracach artystki jest nostalgicznym zapisem tego, co już nie wróci. Kwiaty, owoce, robaczki, gąsienice, chrabąszcze są tylko środkiem do zatrzymania ulotnych wspomnień i relacjonują przeszłość, w ten sposób zaczynają nabierać nowego znaczenia i zdaje się, że tylko artystka jest w stanie rozszyfrować ich sens.

[W ekslibrisach Krzysztofy Lachtary] odnajdujemy nawiązanie do średniowiecznego symbolu *Liber Mundi* – Księgi Świata. Wedle świętego Tomasza z Akwinu całą naturę przenika Boże pismo i każdy jej element świadczy o Bożej Opatrzności. Zwrócić się ku naturze, poznać i zrozumieć ją to przybliżyć się do Boga. [...] Odpryski tych koncepcji można odkryć w pełnym pietyzmu i szacunku stosunku artystki do natury widocznym w jej pracach oraz w fenomenie ich pozytywnego oddziaływania na widza [7].

Łączność ze światem przyrody podkreśla dodatkowo monochromatyczna paleta barw, w której dominują odcienie brązów, ochry, zieleni, kolor granatowy i czerni. W ostatnim dwudziestolecu artystka wykonała wiele grafik jednokolorowych – zielonych i ciemnobrązowych.

Częstym motywem są muszle, w których zamknięta jest dodatkowa przestrzeń – świat równoległy. Muszle ślimaków odnajdywane na wiosnę pod warstwą liści i gałązek są jak amonity – prehistoryczne odciski życia, świadectwa innego istnienia.

Biorąc pod uwagę kompozycje Lachtary – przemyślany sposób ułożenia przedmiotów – można odnieść wrażenie, że między rzeczami ułożonymi na płaszczyźnie istnieje jakaś interakcja, a każdy obiekt ma znaczenie symboliczne. Szczególny sposób zapisania przez artystkę motywu przemijania, nietrwałości i ulotności ciekawie opisuje prof. Magdalena Rabizo-Birek:

Uwiecznienie nietrwałego piękna kruchych form przyrody było w sztuce siedemnastego wieku alegorycznym przedstawieniem idei *Vanitas* – marność wszystkiego, co pochodzi z doczesnego świata. Ale kosze owoców, mięso, ryby, napoczęte bochny chleba, wino w kielichach symbolizowały również Obfitość – pojęcie określające zmysłowy, sensualny, życiodajny aspekt natury. W swoich pracach artystka łączy te dwa symboliczne motywy, eksponując ich kontrasty kolorem. Znakiem obfitości i powracania życia są w jej grafice motywy czerwonych kwiatów i owoców oraz świeża, wiosenna zieleń traw [7].

Ważne miejsce w twórczości Lachtary zajmują drzewa. Czasem stanowią centrum kompozycji, gdzie bujna korona drzewa staje się makrokosmosem dla innej przestrzeni (*Autoekslibris*), innym razem szeroko rozpostarte ramiona konarów dają schronienie kwiatom, kępcę grzybów, muszłom ślimaków (*Ex libris P. Knothe*). W jej dorobku znaleźć można wiele prac, w których drzewa są głównym motywem, m.in. serie *Leśne katedry* i *Zimowe wspomnienia*, grafiki: *Ptasie drzewo*, *Miraż*, *Jesienne róże*, *Dary lasu*, *Leśna modlitwa*, *Czas oczekiwań*.

Artystka często inspirowała się pejzażami Pietera Bruegela, w których drzewa odgrywały bardzo ważną rolę. W obrazach niderlandzkiego malarza dzielą one kompozycję na kilka planów, dzięki czemu może on pokazać, co rozgrywa się na pierwszym planie, a co w tle, i opowiedzieć nam historię bardziej złożoną. Ten sam zabieg w wielu swych księgoznakach stosuje Krzysztofa Lachtara. Bezlistne drzewa przecinają horyzont, łamią szachownicę zaoranych jesiennych pól. W każdej z wydzielonych płaszczyzn artystka umieszcza elementy swojego świata: kwiaty, trawy, owoce, muszle, kamienie, drzewa, owady, niewielkie budynki. Stają się one osobnymi anegdotami, tworząc w ten sposób szkatułkę, w której ukryta jest następna kompozycja i kolejna opowieść. Jakbyśmy zaglądali zza drzewa w głąb lasu, w poszukiwaniu ukrytej polany, na której rozgrywa się sekretne przedstawienie. W ten sposób artystka zaprasza nas do zapoznania się z jej wizją świata oraz odkrycia symboliki jej własnego uniwersum.

Pomimo tak mocno zindywidualizowanych cech swojego stylu, graficzka, przygotowując znak własnościowy, nie zapomina o adresacie i przyszłym właścicielu. W tworzone przez siebie poetyckie kompozycje potrafi wpleść „znak lub system

znaków charakteryzujących osobę, budując często intymne osób tych portrety, tworząc psychologiczne ich studia”, które „można nawet traktować jako coś w rodzaju osobistych listów autorki do poszczególnych osób, rodzaj poetyckich impresji o życiu i o człowieku, konkretnym, a nierzadko człowieku w ogóle” [9].

W pracach artystki widoczna jest hieratyczność przedstawianych przedmiotów. Budowanie planów podobne jest do perspektywy stosowanej w scenach z malarstwa średniowiecznego czy wczesnorenansowego, z typowym dla nich brakiem perspektywy. Kompozycję obserwujemy z góry, z dołu lub *en face*.

Każda z prac ma punkt centralny, a w tle umieszczone są dalsze plany. Takie przedstawienie świata i charakterystyczne skupienie uwagi na szczególe przywodzi na myśl XVII-wieczne holenderskie martwe natury lub iluzjonistyczne malarstwo sztalugowe (fr. *trompe l'oeil*). Motywy z natury niewielkie sprawiają tu wrażenie gigantycznych, wręcz monstrualnych. Przedmioty z jej ekslibrisów i grafik są odpowiednio zaaranżowanymi kompozycjami, każdy najmniejszy kamień, kwiat, owoc czy owad to bohaterowie świata wykreowanego przez artystkę.

Duże skupienie elementów na małej przestrzeni wynika z formy ekslibrisu, gdyż są to grafiki niewielkich rozmiarów. Mają one różne wymiary, często nietypowe dla księgoznanu, co zbliża je do małych form. Artystka podczas wykonywania kompozycji na metalowej płycie używa szkła powiększającego, bez niego wykonanie drobiazgowego i precyzyjnego rysunku jest wręcz niemożliwe.

\*\*\*

Artystka perfekcyjnie opanowała warsztat grafika, dzięki temu każdy, nawet najmniejszy fragment dzieła jest dopracowany w najdrobniejszym szczególe.

Lachtara nie jest pierwszą artystką – miłośniczką roślin. Znane są ogrody będące miejscami pracy twórczej. Dla Claude’a Moneta było to Giverny, dla Wassilego Kandinsky’ego ogród w Murnau, zaś dla Fridy Kahlo Casa Azul w Mexico City. Polska graficzka-ogrodniczka zorganizowała wokół swego domu w Rzeszowie wyjątkowe i niezwykle miejsce. Stworzyła obszar intymny, dający schronienie i wytchnienie. Enklawę, w której można przeczekać niefortunny czas, na wzór roślin i zwierząt czekających zimą na przyjscie wiosny. Człowiek jest częścią świata przyrody i działa zgodnie z jej rytmem, który wyznaczają jesienny zbiór plonów, zimowe odpoczywanie i wiosenne przebudzenie. W taki też sposób pracuje Krzysztofa Lachtara – latem pielęgnuje ogród, aby zimą przedstawiać w swoich kompozycjach otaczającą ją przyjazny świat przyrody. Jak zauważył Jan Wolski:

Artystka tworzy coś w rodzaju zielnika, gdzie umieszcza rośliny i komponuje z nich jakiś niezwykle ogród botaniczny, ogród tajemniczy a zarazem realny. Kreuje własny świat, zazwyczaj, lecz niewyłącznie, zbudowany z motywów natury, także tej nieożywionej. Dzięki temu przenosi widza w inne wymiary, zaś autentyczny krajobraz zyskuje rejestr czegoś trudno wytłumaczonego, niezwykle, metafizycznego [8].

Perfekcyjne opanowanie trudnych technik akwaforty i akwatinty oraz indywidualny i niepowtarzalny styl stawia Krzysztofę Lachtarę w szeregu najciekawszych artystek swego pokolenia.

Podsumowaniem rozważań o roli natury w graficznych miniaturach rzeszowskiej artystki jest jej praca o znaczącym tytule *Moje modele*. Przedstawione w tej kompozycji fragmenty natury są częstymi modelami jej prac oraz wrażliwymi i przychylnymi towarzyszami życia. Znajdziemy tu suche rośliny, strączki fasoli, makówki na rozłożonym arkuszu papieru, w tle pola i wzgórza a na nich bezlistne drzewa, zaś akcentem kolorystycznym jest mała kępa żółtych kwiatów.

Powyzsza analiza niektórych aspektów ekslibrisów Krzysztofy Lachtary zwraca również uwagę na miejsce księgoznaku we współczesnej kulturze. Polski ekslibris pozostaje nadal przemyślaną formą wypowiedzi o wysokich wartościach artystycznych, sprawiających, że ta forma plastycznej ekspresji wpisuje się w długie dzieje tych małych dzieł o wysokich i wyjątkowych walorach kulturowych, estetycznych i historycznych.

**Katarzyna Tulik** – absolwentka filologii polskiej i edytorstwa na Uniwersytecie Rzeszowskim; publikowała w „Podkarpackiej Historii”, „Czasopiśmie Aptekarskim”; uczestniczka międzynarodowej konferencji organizowanej przez IHN PAN pt. „Rośliny lecznicze w nauce i kulturze”. Interesuje się historią, kulturą i literaturą Sardynii, literaturą regionu, historią książki. e-mail: katarzyna.tulik@gmail.com

## Literatura

- [1] ekslibris, <https://sjp.pl/ekslibris> (dostęp 27.09.2023).
- [2] Słownik terminologiczny sztuk pięknych, (red.) K. Kubalska-Sulkiewicz, M. Bielska-Łach, A. Manteuffel-Szarot, PWN, Warszawa 2003, s. 6, 99–100.
- [3] Wojciechowski M.J., Ekslibris. Godło bibliofila, Ossolineum, Wrocław 1978, s. 10, 64–65.
- [4] Czubińska M., Podnieszńska K., Ekslibris polski. Między herbem a obrazem, Muzeum Narodowe, Kraków 2016, s. 61.
- [5] Dunin J., Przemiany ekslibrisu i jego znaczenie dla bibliologii i bibliofilstwa, Acta Universitatis Lodzianis, Folia Librorum, 2005, 97–104, s. 99.
- [6] Lachtara Krzysztofa, Serwis Informacyjny Urzędu Miasta Rzeszowa, <https://www.erzeszow.pl/43-kultura-i-sport/7215-ludzie-kultury/8820-lachtara-krzysztofa.html> (dostęp 20.09.2023).
- [7] Rabizo-Birek M., Piękno przemijania. O twórczości K. Lachtary, [za:] Krzysztofa Lachtara. Grafiki, Rzeszów 2003, s. 4, [w:] M. Rabizo-Birek, Piękno przemijania. O twórczości K. Lachtary, Fraza, 2001, 1–3(31–32), s. 287–291.
- [8] Wolski J., Exlibris, [w:] Ekslibrisy Krzysztofy Lachtary, Rzeszów 2010, s. 8–12.

## **Etymologia polskich nazwisk pochodzących od nazw roślin zielarskich (cz. 1)**

### **Etymology of polish surnames derived from the name of herbal plants (part 1)**

Zbigniew Dobrzański<sup>1</sup>, Barbara Krochmal-Marczak<sup>2</sup>, Jolanta Witkoś<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Otwarty Uniwersytet Trzeciego Wieku, ul. Chełmońskiego 37B, 51-630 Wrocław, e-mail: zbigniew.dobrzanski@upwr.edu.pl

<sup>2</sup> Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie, Rynek 1, 38-400 Krosno

---

**Słowa kluczowe:** nazwy, nazwiska polskie, rośliny zielarskie

**Keywords:** polish names, surnames, herbal plants

---

### **Streszczenie**

Według bazy danych PESEL w Polsce zarejestrowanych jest 395 128 nazwisk męskich i 411 012 nazwisk żeńskich (osób żyjących, stan na 22 stycznia 2025 r.). Polskie nazwiska pochodzą od: nazw geograficznych, miejsca zamieszkania, kraju pochodzenia przodków, wykonywanego zawodu, przezwiska wynikającego z cech wyglądu i charakteru oraz przezwiska związanego z nazwami zwierząt i roślin (tzw. nazwiska odapelatywne). Przedstawimy w kilku częściach nazwiska pochodzące od nazw roślin zielarskich, opierając się na bazach nazwisk dostępnych w portalu ISNP, rejestrze PESEL i zagranicznej platformie Forebears. Nazwisk tych w formie podstawowej (prymarnych) jest około 50, a kilka razy więcej pochodnych (derywowanych lub podobnych fonetycznie). W pierwszej części artykułu przedstawiamy krótką historię nazwisk w Polsce oraz etymologię nazwisk pochodzących od słowa „ziele”/„zioła”.

### **Summary**

According to the PESEL database, there are 395 128 male surnames and 411 012 female surnames registered in Poland (living persons, as of 22.01.2020). Polish surnames derive from: geographical names, place of residence, origin of ancestors, profession, nickname resulting from the features of appearance and character of the nickname related to the names of animals and plants (the so-called appellate surnames). We will present in several parts surnames derived from the names

of herbal plants, based on the databases of surnames available on the ISNP portal, the PESEL register and the foreign Forebears platform. There are about 50 of these surnames in the basic (primary) form, and several times more derivatives (derivated or phonetically similar). In the first part of the article, we present a brief history of surnames in Poland and the etymology of surnames derived from the words: „herb”.

## Wstęp

Polskie nazwiska mają bogatą historię i genezę, co odzwierciedla różnorodność i złożoność kultury naszego kraju. Nazwiska często niosą informacje o pochodzeniu, zawodach i osobistościach, które są uważane za bohaterów narodowych. Samo posiadanie nazwiska jest związane z przynależnością do społeczności i kultury danego kraju.

Etmologia polskich nazwisk jest dziedziną szeroką i rozbudowaną. Polskie nazwiska, podobnie jak te w innych krajach, pochodzą od: nazw geograficznych (Mazowiecki), miejsca zamieszkania (Zarzeczny), kraju pochodzenia przodków (Czech, Szwed), wykonywanego zawodu (Młynarz, Kołodziej), przezwiska wynikającego z cech wyglądu i charakteru (Krzywy), przezwiska związanego z nazwami zwierząt (Kogut, Baran) i roślin (Sosna, Gruszka). Są to tzw. nazwiska odapelatywne [1]. Nazwy roślin, zjawisk przyrody, nazwy terenowe, a także nazwy zwierząt są dobrym materiałem do tworzenia antroponimów, czyli wszelkiego rodzaju nazwisk, imion, pseudonimów i przydomków, które identyfikują daną osobę [2].

Badaniem nazewnictwa osobowego (imion, nazwisk, przezwisk, pseudonimów i przydomków) zajmuje się antroponimia (gr. *ánthrōpos* ‘człowiek’ + *ónoma* ‘imię’). Jest ona jedną z gałęzi onomastyki (gr. *onomastikós* ‘związany z imieniem’) – działu językoznawstwa zajmującego się nazwami własnymi. Natomiast nauka o nazwach własnych roślin to fitonimia. Czasopismem poświęconym teorii i interpretacji nazw własnych jest rocznik „Onomastica”, wydawany przez Instytut Języka Polskiego Polskiej Akademii Nauk (IJP PAN) w Krakowie [3].

## Rys historyczny

Nadawanie nazwisk zgodnie z określonym systemem zapoczątkowali starożytni Rzymianie. Nosili oni imię oraz nazwisko, będące nazwą rodu (np. Tytus Flawiusz Wespazjan, syn Wespazjana). Imiona i nazwiska były przywilejem mężczyzn, kobiety otrzymywały jedynie żeńską wersję nazwiska rodowego ojca (np. Klaudia – córka Klaudiusza). W czasach przedchrześcijańskich Słowianie nosili jedynie imiona, które zazwyczaj wiązały się z ich cechami osobowymi (np. Sławomir to sławiący pokój), później zaczęto dodawać do nich przezwiska dotyczące cech wyglądu, osiągnięć itp. (np. Bolesław Chrobry). W Polsce jeszcze w XII w. daną osobę określano tylko jed-

nym słowem, **nie** istniało pojęcie imienia i nazwiska. Był to tzw. okres przednazwiskowy. Określenia, nazwania ludzi były jednowyrazowe i nie były dziedziczne. Ówczesne nazwania to m.in. Bogdan, Sulen, Micherz, Matuł, Suluj, Gęba itd. W Polsce pierwsze ślady słów, które z czasem mogły stać się nazwiskami, znaleźć można w bulli gnieźnieńskiej z 1136 r. Wymienia ona około 300 nazwań, m.in. Będziech, Dobek, Pozdziech, Witosza itd.

Formacja nazwisk zaczęła się w Polsce na dobre rozwijać dopiero około XIV w. Trend ten początkowo objął szlachtę i stopniowo rozprzestrzenił się na mieszczaństwo i chłopstwo. Z czasem nazwiska stawały się coraz popularniejsze. Dopiero jednak pod koniec XVIII i na początku XIX w. wszyscy zaborcy Polski wprowadzili obowiązek noszenia nazwisk i zakaz zmieniania ich formy [4].

### **Aspekty prawne (zmiana nazwiska)**

Kwestię zmiany nazwiska (i imienia) w Polsce reguluje ustawa o zmianie imienia i nazwiska [5]. Zmiany imienia lub nazwiska można dokonać wyłącznie z ważnych powodów, np. gdy posiada się nazwisko ośmieszające albo nieliczące z godnością człowieka. Zmiana nazwiska i imienia jest możliwa w Polsce zarówno dla obywateli naszego kraju, jak i cudzoziemców – tych, którzy uzyskali status uchodźcy w Polsce, i tych, którzy nie mają obywatelstwa żadnego państwa i mieszkają na naszym terytorium (apatrydzi). W przypadku posiadania podwójnego obywatelstwa można jednocześnie nosić dwa różne nazwiska.

Obywatel polski może wystąpić o zmianę swojego imienia lub nazwiska na pisemny wniosek złożony wybranemu kierownikowi urzędu stanu cywilnego. Osoba zamieszkała za granicą może złożyć taki wniosek za pośrednictwem konsula, wskazując kierownika urzędu stanu cywilnego, któremu wniosek ma zostać przekazany.

Nowe nazwisko nie może być historyczne, wślawione w dziedzinie kultury, nauki, działalności politycznej, społecznej albo wojskowej, chyba że osoba ubiegająca się o zmianę posiada członków rodziny o tym nazwisku (w rozumieniu ustawy o zmianie imienia i nazwiska – małżonka oraz wstępnych). Opłata za wydanie decyzji o zmianie imienia lub nazwiska wynosi 37 zł (opłata skarbową) lub 50 euro (opłata konsularna) przy składaniu wniosku za granicą. Nazwisko zaliczane jest do dóbr osobistych człowieka (art. 23 Kodeksu cywilnego) i jest objęte ochroną prawną [6].

### **Liczebność nazwisk w Polsce**

Według bazy danych PESEL w Polsce jest aktualnie zarejestrowanych 395 128 nazwisk męskich i 411 012 nazwisk żeńskich (osób żyjących, stan na 22 stycznia 2025 r.). Najpopularniejszym nazwiskiem w Polsce jest obecnie **Nowak** – używa go aż

199 178 os. Drugim nazwiskiem jest **Kowalski** (-ska), a liczba osób noszących to nazwisko wynosi 135 129. Na trzecim miejscu w rankingu jest **Wiśniewski** (-ska) – posiada je 107 997 os., a prawie 97 tys. os. to użytkownicy nazwiska **Wójcik** i podobna liczba osób (96 tys.) nosi nazwisko **Kowalczyk**. Następne nazwiska to: **Kamiński** (-ska), **Lewandowski** (-ska), **Zieliński** (-ska), **Szymanski** (-ska) i **Woźniak** [7].

Zwraca uwagę kilkuprocentowa przewaga kobiet (żyją dłużej niż mężczyźni) oraz brak w pierwszej dziesiątce nazwisk „przyrodniczych” (od nazw roślin i zwierząt).

### Przegląd literatury onomastycznej

Do niedawna niewiele było opracowań onomastycznych i etymologicznych, czyli badań nad pochodzeniem nazwisk. Dopiero IJP PAN podjął się monumentalnego dzieła, w ramach Narodowego Programu Rozwoju Humanistyki, pt. *Najczęstsze nazwiska w Polsce – współczesność i historia. Słownik elektroniczny*. W ramach tego projektu opracował ogólnodostępny antroponomastykon „Internetowy słownik nazwisk w Polsce”. Zawiera on około 30 tys. najczęstszych form nazwisk i cieszy się ogromnym zainteresowaniem w kraju i za granicą [8].

Świat przyrody widziany z perspektywy nazwisk pochodzenia gwarowego na Opolszczyźnie i Górnym Śląsku był przedmiotem badań Magdy-Czekaj [2], a nazwiska pochodzące od nazw zwierząt w figurujących w XIX-wiecznych księgach parafialnych dekanatu wadowickiego opracował Kolber [9]. Z najnowszej publikacji Karczewskiej [10] wynika, że nazwisk „odzwierzęcych” (pochodzących od nazw ptaków, ssaków, ryb, owadów) w Polsce jest sporo, nosi je około 1782 tys. osób, co stanowi 5% populacji. Ostatnio też Dobrzański i wsp. [11, 12] opracowali (i publikują w częściach) polskie nazwiska pochodzące od zwierząt gospodarskich i dziko żyjących, w tym osobno te pochodzące od drobiu. Brakuje natomiast prac etymologicznych z drugiego ogniwa przyrodniczego, jakim są rośliny, szczególnie z grupy uprawnych. Na przykład nie analizowano, w jakim stopniu nazewnictwo roślin ozdobnych i leczniczych (w tym zielarskich) wpłynęło na kształtowanie się nazwisk Polaków, a przecież są one uprawiane i towarzyszą nam od początku naszej historii.

### Własne badania etymologiczne

Niniejsza publikacja przynajmniej częściowo powinna dać odpowiedź, ile jest nazwisk pochodzących od nazw roślin zielarskich w Polsce. Posługiwaliśmy się dostępnymi w Internecie pięcioma bazami nazwisk polskich: portalem ISNP [13],

rejestrze PESEL [7], danymi z agencji informatycznej Acta Flow [14] oraz z zagranicznej platformy Forebears [15], a także z katalogu imion i nazwisk (Nazwiska.net) [16].

W części 1 artykułu, poza zagadnieniami ogólnymi, krótką historią nazwisk oraz aspektami prawnymi (zmiana nazwiska), omówiono nazwiska pochodzące od słów: „zioło”, „ziele”, „ziółko”, „herba” (‘zioło’ po łac.). W następnych częściach przedstawimy nazwiska pochodzące od nazw poszczególnych gatunków roślin zielarskich w kolejności alfabetycznej, korzystając z oficjalnej listy polskich roślin zielarskich, zawierającej wykaz 184 gatunków (i podgatunków) [17]. Oczywiście jest, że tylko popularne nazwy botaniczne były źródłem tworzenia nazwisk, a zatem nazwiska pochodzą od niewielu nazw botanicznych, co jest zrozumiałe, tym bardziej że lista ziół i roślin leczniczych się wydłuża. Światowa produkcja ziół obejmuje około 2 tys. gatunków roślin aromatycznych i leczniczych, a Europie uprawia się około 130 gatunków roślin zielarskich [18].

Uzyskane dane przedstawiono w układzie tematycznym, uwzględniając nazwiska związane z nazwami roślin zielarskich bezpośrednio (takimi jak perz, rdest) bądź pośrednio (np. zielnik). Podano nazwiska bazowe (prymarne) i od nich pochodne (nazwiska derywowane i fonetycznie podobne), uwzględniono zarys historyczny, etymologię i geografę danego nazwiska w Polsce i na świecie oraz liczbę użytkowników – posiadaczy danego nazwiska.

## Nazwiska pochodzące od nazwy botanicznej „zioła, ziółka, ziele”

**ZIOŁO** (f. żeńskie: **Ziołowa**, **Ziołówna**) – nazwisko przezw.\*, poch. ap. „zioło (lub sproszkowane części roślin leczniczych”. Brak danych o czasie i miejscu pierwszego zapisu. Według bazy IJP PAN (ISNP) [13] najwięcej osób o tym nazwisku mieszka w woj. podk. (394 os.) i ślsk. (320 os.). Nie występuje ono w ogóle w woj. podl. Najwięcej kobiet i mężczyzn o tym nazwisku mieszka w pow. sandomierskim (166 os.) i tarnobrzeskim (139 os.), a z gmin: w m. Sandomierzu (139 os.) i m. Tarnobrzegu (48 os.). Ogółem nazwisko **Zioło** nosi w Polsce 1886 os., a jego ranga (częstość występowania) to 2994. Według bazy Acta Flow [14] w Polsce żyło 2053 os. z tym nazwiskiem. Różnica ta wynika z faktu, iż zawarte w tej bazie dane pochodzą z 2002 r. Nazwisko Zioło funkcjonuje w: Niemczech (32 os.) oraz w Danii i Norwegii (razem 11 os.). Natomiast według zagranicznej bazy Forebears (Fbs) [15] nazwisko to nosiło w Polsce (dane z 2014 r.) 2190 os., a formy podobne fonetycznie to: **Ziolo** – występujące w USA i Nowej Zelandii (razem 396 os.), **Ziojło** – występujące w Brazylii (13 os.) i **Ziollo** – występujące w Niemczech. Te zmodyfikowane formy nazwiska Zioło wskazują zapewne na kierunki geograficzne polskiej emigracji.

**ZIOŁA** (f. żeńska: **Ziolina** lub **Ziolanka**) – nazwisko odim., pochodzące od nazwy wł. Ziolo. Brak danych o czasie i miejscu pierwszego zapisu. Najwięcej osób o tym nazwisku mieszka w woj. doln. (276 os.) i wlkp. (227 os.). Nie występuje ono w ogóle w woj. podl. Najwięcej kobiet i mężczyzn o tym nazwisku mieszka w powiatach: konińskim (81 os.) i ząbkowickim (59 os.), a z gmin w gm. Stare Miasto (81 os.) i Bolesławiec (38 os.). Ogółem nazwisko **Zioła** nosi w Polsce 998 os., a jego ranga to 5808, a więc należy ono do kategorii bardzo rzadkich. Według bazy ISNP [13] nazwisko Ziola funkcjonuje w Niemczech, gdzie nosi je 176 os. Natomiast według bazy Fbs [15] nazwisko to nosiło w Polsce 1042 os., a formy podobne fonetycznie to: **Ziolla** – nosi je 1032 os. (USA i Kanada) i **Ziolla** – 15 os. (Brazylia i Włochy).

**ZIÓŁKO** (f. żeńska: **Ziółkowa**, **Ziółkówna**) – nazwisko przezw., pochodzące od ap. *ziółko* ‘ziele’; lub gw. ‘zły podstępny człowiek’. Może też pochodzić od nazwy wł. Ziolo (odimienne nazwisko). Pierwszy historyczny zapis poch. z 1881 r. – *Johann Ziolk*. Najwięcej osób o tym nazwisku mieszka w woj. młp. (475 os.) i maz. (215 os.). Nie występuje ono w ogóle w woj. warm.-maz. Najwięcej kobiet i mężczyzn o tym nazwisku mieszka w pow.: nowosądeckim (195 os.) i radomskim (107 os.), a z gmin: w Grybowie (135 os.) i m. Krakowie (70 os.). Ogółem nazwisko **Ziółko** nosi w Polsce 998 os.; jego ranga to 6006, a więc należy ono do kategorii bardzo rzadkich. Według bazy ISNP [13] nazwisko Ziółko funkcjonuje w Niemczech (nosi je 152 os.) i w Norwegii (11 os.). Natomiast według bazy Fbs [15] istnieją formy podobne fonetycznie: Ziółko i Ziółek (130 os. w Polsce) oraz **Zaiko** i **Zuiko** (blisko 3 tys. os. na Ukrainie i w Łotwie). Natomiast w Grecji jest 1680 os. o nazwisku **Zikou**, a w Albanii i Egipcie żyje 9,3 tys. os. noszących nazwisko **Ziko**. Nie wiadomo, co oznacza ono w narodowych językach tych krajów. W bazie Nazwiska.net (naz.net) [15] figuruje też Ziolk (15 krajów, w tym Polska), **Ziolk** (11 krajów) i **Zielka** (5 krajów). Są to wariantowe, uproszczone formy nazwiska prymarnego.

**ZIÓLEK** (f. żeńska: **Ziółkowa**, **Ziółkówna**) – nazwisko pochodzące od nazwy wł. „ziolo”. Brak wiarygodnych danych historycznych o pierwszym zapisie. Najwięcej osób noszących to nazwisko mieszka w woj. maz. (1090 os.) i wlkp. (220 os.). Występuje ono we wszystkich województwach. Najwięcej kobiet i mężczyzn o tym nazwisku mieszka w m.st. Warszawie (265 os.), w m. Radomiu (178 os.) i m. Lublinie (55 os.). Ogółem nazwisko **Ziólek** nosi w Polsce 2649 os., a jego ranga to 2043, a więc należy ono do kategorii rzadkich. Według bazy ISNP [13] nazwisko **Ziółko** funkcjonuje w Niemczech (nosi je 84 os.) i w Norwegii (5 os.). Natomiast według bazy Fbs [15] istnieją formy podobne fonetycznie: **Ziólek** i **Ziułek** (380 os. w Polsce) oraz **Ziek** (98 os. w USA i PNG).

**ZIÓŁKOWSKI** (-ska) – nazwisko odm., wskazujące pierwotnie na pochodzenie z danej miejscowości lub jej posiadanie. Są to miejscowości: Ziółkowo (gm. Gostyń) lub Ziółków (gm. Spiczyn). Z pewnością miejscowości te słynęły z ziołarstwa, stąd ich nazwy. W Polsce mieszka 25 502 os. o tym nazwisku, jego ranga – 85 – wskazuje, że jest ono często spotykane, i to we wszystkich województwach. Najwięcej Ziółkowskich mieszka w woj. kuj.-pom. (5,0 tys. os.) i maz. (4,9 tys. os.), a z miast w m. Warszawie (1370 os.) i m. Bydgoszczy (667 os.). Ponadto w kraju żyje 130 os. o nazwisku Ziulkowski (-ska) oraz 250 os. o nazwisku Ziołkowski (-ska), 114 os. o nazwisku Ziołeczki (-cka) i 7 os. o nazwisku Zioloński (-ska) [Acta Fl.]. Według bazy nazw.net [16] w 23 krajach występuje nazwisko Ziolkowski, uproszczona gramatycznie i graficznie forma nazwiska prymarnego (Ziółkowski). Najwięcej (ponad 3 tys.) osób o tym nazwisku mieszka w USA, następnie w Niemczech (blisko 10 tys.), we Francji (540 os.) i Kanadzie (260 os.). Natomiast według bazy Fbs [15] istnieją formy fonetycznie podobne: Ziulkowski (108 os. w USA i Izraelu) i Ziokowski (4 os. w Islandii).

**ZIÓŁKIEWICZ** (f. żeńska: Ziółkiewiczowa, Ziółkiewiczówna) – nazwisko pochodzi od nazwy osobowej: *Ziółek* lub *Ziółko*. Brak wiarygodnych danych historycznych o pierwszym zapisie. W Polsce mieszka 321 osób o tym nazwisku, najwięcej w woj. wlkp. – 96 os. i maz. – 75 os., a z miast w m. Poznaniu – 43 os. i w gm. Witkowo – 27 os. Ponadto w Niemczech jest 12 osób o tym nazwisku. Ranga nazwiska – 17 390 – wskazuje, że należy ono do bardzo rzadkich [13]. Według bazy Fbs [15] istnieją formy podobne fonetycznie: Zielętkiewicz (30 os. w Polsce) i Zielatkiewicz (7 os. w Niemczech) oraz Golankiewicz (5 os. w USA i Anglii).

**ZIELAK** (f. żeńska: Zielakowa, Zielakówna) – nazwisko pochodzi od nazwy apelatywnej „Ziele”. Brak danych o czasie i miejscu pierwszego zapisu. W Polsce mieszka 388 os. o tym nazwisku; jego ranga – 14 690 – wskazuje, że należy ono do kategorii bardzo rzadkich. Najwięcej osób o tym nazwisku mieszka w woj. maz. (168 os.), i łdzk. (135 os.). Z powiatów nazwisko to najliczniej występuje w pow. gostyński (54 os.) i łódzkim (52 os.), a z gmin – w gm. Gąbin (34 os.). Ponadto w Niemczech jest 16 osób o tym nazwisku [13]. Według bazy Fbs [15] istnieją formy fonetycznie podobne: Ziliak (328 os. w USA), Żelak (296 os. w Rosji), Zilak (41 os. w Brazylii i Słowacji). Także w Brazylii (i w Polsce) występuje nazwisko Zelak (w obu tych krajach noszą je 102 os.).

**ZIELSKI** (-a) – nazwisko pochodzi od nazwy apelatywnej „Ziele”. Brak danych o czasie i miejscu pierwszego zapisu. Poza granicami Polski nazwisko to jest obecne także w formie adaptacji graficznej Zielsky. Występuje w całej Polsce (poza

woj. śwtk.), najliczniej w woj. maz. – 351 os. i warm-maz. – 109 os., w Warszawie żyje 101 os. o tym nazwisku oraz w gm. Czosów – 69 os. i m. Toruniu – 30 os. Łącznie w kraju żyje 971 Zielskich, ranga nazwiska to 6691. Ponadto 60 os. o tym nazwisku mieszka w Niemczech [13]. Według bazy Fbs [15] istnieją formy fonetycznie podobne: Zielske (580 os. w Niemczech), Zelskij (45 os. w Ukrainie), a ponadto w Polsce, USA i Niemczech żyje około 160 os. o nazwiskach: Zilski i Zelski. Z bazy tej można się dowiedzieć, że Zielscy mieszkają też w USA (181 os.) i w Australii (13 os.), zapewne są to osoby polskiego pochodzenia. Natomiast baza nz.net [15] podaje, że w Polsce żyje 1156 kobiet i mężczyzn o tym nazwisku, a ponadto występuje ono w 7 krajach.

**ZIELEWICZ** (f. żeńska: Zielewiczowa, Zielewiczówna) – nazwisko pochodzi od nazwy apelatywnej „Ziele”. Brak danych o czasie i miejscu pierwszego zapisu. W Polsce mieszka tylko 191 os. o tym nazwisku, jego ranga – 24 498 – wskazuje, że należy ono do kategorii bardzo rzadkich. Występuje w 10 województwach, najwięcej osób o tym nazwisku mieszka w woj. wlkp. (116 os.), a z miast: w Poznaniu (42 os.) i Opalenicy (19 os.) [13]. W bazie Fbs [15] figurują podobne nazwiska: Zelewicz i Ziłowicz (nosi je łącznie 110 os. mieszkających w USA, Izraelu i Polsce).

**ZIELEWSKI (-a)** – nazwisko pochodzi od nazwy apelatywnej „Ziele”. Brak danych o czasie i miejscu pierwszego zapisu. W Polsce mieszka tylko 363 os. o tym nazwisku, jego ranga – 15 614 – wskazuje, że należy ono do kategorii rzadkich. Najwięcej osób o tym nazwisku mieszka w woj. łdzk. – 16 os. i kuj.-pom. – 74 os., z powiatów: w pow. święckim – 50 i łódzkim – 43 os., a z gmin: w gm. Zgierz (43 os.) [13]. W bazie Fbs [15] figurują podobne nazwiska: Zielowski, Zielawski i Zilewski (nosi je 64 os. w Polsce).

**ZIELNIK** (f. żeńska: Zielnikowa, Zielnikówna) – nazwisko odzaw., ap. „zielarz, zbieracz ziół”, lub przezwiskowe ap. „zeszyt z zasuszonymi ziołami, plantacja ziół”. Brak danych o czasie i miejscu pierwszego zapisu. W Polsce mieszka tylko 360 os. o tym nazwisku, jego ranga to 15 710. Najwięcej osób o tym nazwisku mieszka w woj. młp. – 94 os. i lub. – 68 os, a z miast: w m. Krakowie – 72 os. Według bazy ISNP [13] za granicą mieszkają tylko 24 os. noszące to nazwisko (Niemcy i Dania), natomiast według bazy Fbs [15] występuje ono także w USA (31 os.), Kanadzie (15 os.) i Izraelu (13 os.).

**HERBASZ** (f. żeńska: Herbszowa, Herbaszówna) – nazw. przezw., od apelatywu „herbarz” ‘zielnik’, później ‘zbiór i opis herbów’. Pierwszy zapis „Herbasz” figuruje w słowniku historyczno-etymologicznym Rymuta [19]. W Polsce mieszkają tylko 193 os. o tym nazwisku; jego ranga to 24 028, a więc należy ono do niezwykle rzadkich. Najwięcej osób o tym nazwisku mieszka w woj. pom. (193 os.) i wlkp. (4 os.), a z miast: w Kartuzach (31 os.) i m. Gdyni (27 os.).

W Niemczech zaś mieszkają 44 os. noszące to nazwisko [13]. Według bazy Fbs [15] istnieje wiele odmian tego nazwiska, spośród których najpowszechniejsze to Herbas (15,6 tys. os. w Boliwii), następne w kolejności: Herbaz (247 os. w Maroku), Herbacz (70 os. w Kanadzie), Horbasz (30 os. w Niemczech i Mongolii), Cherbas (17 os. w USA). Według bazy PESEL [7] w Polsce żyje obecnie (stan na 22 stycznia 2025 r.) 30 os. o nazwisku Herbasch. Noszone przez mieszkańców Boliwii nazwisko Herbas znaczy po hiszpańsku „zioła”, a występujące w Maroku nazwisko Herbaz nie ma tłumaczenia na j. arabski.

**HERBA** (f. żeńska: Herbina, Herbianka) – nazwisko o złożonej etymologii, według bazy ISNP [13] pochodzi od gw. ap. herba, erba ‘spadkobierca, spadkobierczyni’, także ‘herbata’, lub Herba, od ap. herb ‘godło rodowe’. Autorzy artykułu zakwalifikowali je do „nazwisk zielarskich”, gdyż jest wariantem nazwiska Herbasz, figuruje w tym samym akapicie w słowniku etymologiczno-historycznym [19], a ponadto *Herba* (j. łac.) znaczy po polsku „zioło”. Występuje we wszystkich województwach (z wyjątkiem warm.-maz.); najwięcej osób o tym nazwisku żyje na Dolnym Śląsku (305 os.) i w woj. kuj.-pom. (96 os.), a z miast: w Oławie (84 os.) i Świdnicy (24 os.). Łącznie w kraju mieszka 885 kobiet i mężczyzn o tym nazwisku. Jego ranga to 6580. Natomiast w Wielkopolsce 2 osoby noszą to nazwisko w skróconej formie, a mianowicie Erba. W krajach UE najwięcej ludzi o tym nazwisku żyje w Hiszpanii (53 os.) i Francji (51 os.) oraz w Niemczech, Danii i Czechach (razem 25 os.) [13]. Według bazy nazw.net [16] poza Polską nazwisko Herba (powyżej 2 os.) występuje jeszcze w 16 krajach świata, m.in. w Maroku (409 os.), na Filipinach (166 os.), w USA (113 os.) oraz w Argentynie.

**Ziołkowscy** oraz **Ziołecy**, **Zielniccy**, **Ziołowscy**, **Ziołkowscy**, **Zieleccy**, **Zielscy** należeli do stanu szlacheckiego [20] [i legitymowali się herbami szlacheckimi (o nazwach: Doliwa, Dąbrowa, Gozdawa, Korczak, Pobóg)] [21]. Nazwiska te występują w Genealogii Potomków Sejmu Wielkiego [22] oraz monumentalnej Wielkiej Genealogii (Polaków) Mijakowskiej [23].

### Inne nazwiska „zielarskiego” pochodzenia

Według bazy PESEL [7] w Polsce mieszka 110 os. o nazwisku Zielas, 17 os. o nazwisku Zielniak i 16 os. o nazwisku Zielny. W bazie Fbs [15] figurują też pochodne nazwiska „ziołowe”: jak Zielarz, Zielar i Zielasz (razem 15 os. w Polsce). Natomiast za granicą występują: Ziela (119 os. w Kongo), Zilas (83 os. w Grecji), Zelas (91 os. w Niemczech i Nowej Zelandii), Zielny (51 os. w USA), Ziele (35 os. w Belgii). Greckie nazwisko Zilas znaczy po polsku „zazdrość”, zaś występujące w Kongo nazwisko Ziela nie ma tłumaczenia na j. francuski.

Co ciekawe, niektóre z tych nazwisk występują jako imiona. Na przykład **Ziela** obecne jest jako żeńskie imię np. w Malezji, na Filipinach, ZEA (Zjednoczone Emiraty Arabskie) czy Polinezji Fr. (noszą je łącznie 262 kobiety), **Ziele** to męsko-żeńskie imię w Burkina Faso, Brazylii, Izraelu, na Filipinach itd. (łącznie na świecie nosi to imię 105 os.). Natomiast imię **Zilas** noszą mężczyźni w Brazylii, Danii, RPA, Peru itd. (razem 46 os.). Także imię **Herba** noszą w 10 krajach mężczyźni (a sporadycznie również kobiety), najwięcej w Indonezji, USA, Filipinach i Rosji itd. (razem blisko 100 os.). Nie wiadomo, co oznaczają te imiona w danych językach; aby się tego dowiedzieć, należałoby przeprowadzić badania lingwistyczne.

### Podsumowanie

Należy podkreślić, iż od tych trzech prymarnych (bazowych, podstawowych) nazw („zioło”, „ziele”, „ziółko”) powstało kilkanaście nazwisk pochodnych (derywowanych, podobnych fonetycznie), a najbardziej popularne okazało się nazwisko Ziółkowski (-ska) (25,5 tys. os.), a na drugim miejscu jest Ziółek (2,65 tys. os.). Dwa nazwiska łacińsko brzmiące (Herba i Herbasz) także należą do „rodziny zielarskiej”, bo oznaczają po polsku „zioło, zioła”. Niespodzianką onomastyczną jest podwójne znaczenie kilku nazwisk (mogą oznaczać też imię), ale tylko za granicami Polski (najwięcej na Filipinach). Nie udało się ustalić miejsca i czasu pierwszego zapisu omawianych nazwisk (poza nazwiskiem Ziółkowsky); uzyskanie tych informacji wymaga dalszych badań genealogicznych i onomastycznych.

### Literatura

- [1] Cieslikowa A., Staropolskie odapelatywne nazwy osobowe. Proces animizacji, Prace Instytutu Języka Polskiego PAN, Wyd. Ossolineum, Wrocław 1990.
- [2] Magda-Czekaj M., Świat przyrody widziany przez nazwiska pochodzenia gwarowego, *Onomastica*, 2016, 60, s. 151–162.
- [3] *Onomastica*, Wydawnictwo PAN, <https://Onomastica – Wikipedia, wolna encyklopedia>.
- [4] Kowalik-Kaleta Z., Historia nazwisk polskich na tle społecznym i obyczajowym (XII–XV wiek), t. 1, Wyd. SOW, PAN, Warszawa 2007.
- [5] Ustawa z dnia 17 października 2008 r. o zmianie imienia i nazwiska (Dz.U. z 2021 r. nr 1988 – wersja obowiązująca od 3 listopada 2021 r.).
- [6] Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. – Kodeks cywilny (Dz.U. z 2024 r. nr 106 – wersja obowiązująca od 29 sierpnia 2024 r.).
- [7] Nazwiska występujące w rejestrze PESEL, 2025, <https://nazwiska.wystepujace.w.rejestrze.pestel – Otwarte Dane>.

- [8] Górny H., Internetowy słownik nazwisk w Polsce – historia, przyszłość, odbiór społeczny, *Onomastica*, 2024, 68, s. 333–345.
- [9] Kolber T., Nazwiska od nazw zwierząt w dziewiętnastowiecznych księgach parafialnych dekanatu wadowickiego, *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis*, 2008, 62, s. 156–176.
- [10] Karczevska M., Kozłowski, Zając, Wróbel – najpopularniejsze nazwiska odzwierzęce w Polsce. Analiza ilościowa i jakościowa, *Roczniki Humanistyczne*, 2023, 71(6), s. 163–180.
- [11] Dobrzański Z., Rogowska-Sobota K., Czplicka A., Drobiarskie nazwiska w Polsce i na świecie, cz. 1, *Polskie Drobiarstwo*, 2024, 11, s. 56–60.
- [12] Dobrzański Z., Czyż K., Wójcik A., Etymologia nazwisk polskich pochodzących od nazw zwierząt (cz. 1), *Przegląd Hodowlany*, 2025, XCIII, 1 (in press).
- [13] Internetowy słownik nazwisk polskich, (ISNP), Instytut Języka Polskiego PAN, Kraków 2025, <https://Nazwiska w Polsce> (dostęp 20.01.2025).
- [14] Agencja Informatyczna Acta Flow, <https://Rozkład występowania nazwisk> (dostęp 25.01.2025).
- [15] Internetowa platforma genealogiczna Forebears: Names & Genealogy Resources, <https://Nazwiska, znaczenie, pochodzenie i mapy rozmieszczenia> (dostęp 30.01.2025).
- [16] Katalog imion i nazwisk (nazwiska świata), <https://nazwiska.net> (dostęp 31.01.2025).
- [17] FoodForest, Polskie zioła (gatunki roślin leczniczych), 2023, [https://Polskie zioła \(ponad 180 gatunków!\)](https://Polskie zioła (ponad 180 gatunków!)) (dostęp 3.02.2025).
- [18] Osińska E., Pióro-Jabrucka E., *Uprawa i przetwórstwo roślin zielarskich*, Wyd. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Brwinów 2022.
- [19] Rymut K., *Nazwiska Polaków, Słownik historyczno-etymologiczny*, Wyd. IJP PAN, Kraków, t. 1, 1999, s. 303.
- [20] Siwik J., *Encyklopedia nazwisk i przydomków szlacheckich*, Wyd. Kastor, Warszawa 2010.
- [21] Gajl T., *Herbarz polski od średniowiecza do XX wieku. Ponad 4500 herbów szlacheckich. 37 tysięcy nazwisk. 55 tysięcy rodów*, Wyd. L&L, Gdańsk 2007.
- [22] Minakowska M.J., *Genealogia Potomków Sejmu Wielkiego, Baza genealogiczna potomków Sejmu Wielkiego*, <https://Potomkowie Sejmu Wielkiego> (dostęp 3.02.2025).
- [23] Minakowska M.J., *Wielka Genealogia Minakowskiej*, <https://Wielka Genealogia Minakowskiej – M.J. Minakowska> (dostęp 3.02.2025).

| Wykaz zastosowanych skrótów |   |  |                   |   |                     |
|-----------------------------|---|--|-------------------|---|---------------------|
| <b>poch.</b>                | → | pochodzi (pochodzenie)                         | <b>woj.</b>       | → | województwo (-a)    |
| <b>pocz.</b>                | → | początek                                       | <b>m.</b>         | → | miasto (-a)         |
| <b>wł.</b>                  | → | własny   | <b>gm.</b>        | → | gmina (-y)          |
| <b>ad.</b>                  | → | adepelatyw, adepelatywny                       | <b>dłsk.</b>      | → | dolnośląskie        |
| <b>odim.</b>                | → | odimienne (nazwisko)                           | <b>lubs.</b>      | → | lubuskie            |
| <b>odzaw.</b>               | → | odzawodowe                                     | <b>lubl.</b>      | → | lubelskie           |
| <b>przew.</b>               | → | przezwickowe                                   | <b>kuj.-pom.</b>  | → | kujawsko-pomorskie  |
| <b>f.</b>                   | → | forma (-y)                                     | <b>łdzk.</b>      | → | łódzkie             |
| <b>ISNP</b>                 | → | internetowy słownik<br>nazwisk polskich (baza) | <b>maz.</b>       | → | mazowieckie         |
| <b>nazw.net</b>             | → | nazwiska.net (baza)                            | <b>młp.</b>       | → | małopolskie         |
| <b>Fbs</b>                  | → | Forebears (zagraniczna<br>baza nazwisk)        | <b>opol.</b>      | → | opolskie            |
| <b>os.</b>                  | → | osoby (osób)                                   | <b>podk.</b>      | → | podkarpackie        |
| <b>gw.</b>                  | → | gwara, gwarowo                                 | <b>pdls.</b>      | → | podlaskie           |
| <b>j. gr.</b>               | → | język grecki                                   | <b>pom.</b>       | → | pomorskie           |
| <b>j. łac.</b>              | → | język łaciński                                 | <b>ślsk.</b>      | → | śląskie             |
| <b>USA</b>                  | → | Stany Zjednoczone<br>Ameryki Płn.              | <b>śwtk.</b>      | → | świętokrzyskie      |
| <b>PNG</b>                  | → | Papua-Nowa Gwinea                              | <b>włkp.</b>      | → | wielkopolskie       |
| <b>RPA</b>                  | → | Republika Południowej<br>Afryki                | <b>warm.-maz.</b> | → | warmińsko-mazurkie  |
|                             |   |  | <b>zach.-pom.</b> | → | zachodnio-pomorskie |



Państwowa Akademia  
Nauk Stosowanych  
w Krośnie

# STUDIA LICENCJACKIE i INŻYNIERSKIE

Państwowa  
Akademia  
Nauk Stosowanych  
w Krośnie zaprasza  
do studiowania  
na kierunkach

- inżynierskich
- humanistycznych
- kultury fizycznej
- pielęgniarstwa



- Kształcimy na bezpłatnych studiach stacjonarnych
- Praktyczny profil kształcenia
- Wysokie miejsca w konkursach i rankingach ogólnopolskich i regionalnych
- Nowoczesna baza dydaktyczna i sportowa
- Możliwość realizacji pasji naukowych (koła naukowe), artystycznych i sportowych (AZS)
- Możliwość studiowania na ponad 60 partnerskich uczelniach zagranicznych w 19 krajach
- Wewnętrzny Ośrodek Egzaminacyjny British Council
- Uczelnia przyjazna dla osób niepełnosprawnych

Nasze studia  
Nasza przyszłość

Samorząd  
Studencki  
**PANS**  
w Krośnie

Rynek 1, 38-400 Krosno  
tel. 13 43 755 30  
fax. 13 43 755 11  
pans@pans.krosno.pl



[WWW.PANS.KROSNO.PL](http://WWW.PANS.KROSNO.PL)

