

Substancje antyżywniowe w wybranych roślinach rolniczych Anti-nutritional substances in selected agricultural plants

Anna Sikorska¹, Marek Gugala², Krystyna Zarzecka², Łukasz Domański²

¹ Państwowa Uczelnia Zawodowa im. Ignacego Mościckiego w Ciechanowie, Wydział Inżynierii i Ekonomii, Zakład Rolnictwa, ul. Narutowicza 9, 06-400 Ciechanów, e-mail: anna.sikorska@puzim.edu.pl

² Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, Wydział Agrobiotechnologii i Nauk o Zwierzętach, Instytut Rolnictwa i Ogrodnictwa, ul. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: marek.gugala@uph.edu.pl; krystyna.zarzecka@uph.edu.pl; ld36@stud.uph.edu.pl

Słowa kluczowe: substancje antyodżywcze, *Brassicaceae*, *Solanaceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*

Key words: antinutritional substances, *Brassicaceae*, *Solanaceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*

Streszczenie

Substancje antyodżywcze (*antinutritional substances*, nieodżywcze, antyżywniowe, przeciwżywniowe) są to związki naturalnie występujące w roślinach, które mogą ograniczać lub uniemożliwiać wykorzystanie składników odżywczych lub szkodliwie wpływać na organizm człowieka. Substancje pierwotne, takie jak: białka, węglowodany (polisacharydy nieskrobiowe) oraz tłuszcze roślinne stanowią materiał zapasowy, budulcowy oraz energetyczny dla roślin. Wtórne substancje antyżywniowe to związki o charakterze białkowym, do których zaliczane są produkty przemian biochemicznych. Związki te nie pełnią żadnych funkcji o charakterze odżywczym. Ich rolą jest ochrona roślin przed szkodnikami, drapieżnikami, drobnoustrojami, grzybami i pleśniami oraz niekorzystnymi warunkami hamującymi ich wzrost i rozwój. Niniejszy artykuł stanowi przegląd dostępnej literatury, dotyczący naturalnie występujących wtórnych substancji antyżywniowych, takich jak: glikozynolany, glikoalkaloidy, inhibitory trypsyny i chymotrypsyny, taniny, saponiny sterolowe, lektyny, glikozydy cyjanogenne alkilozorcynole. Substancje te występują w wybranych roślinach rolniczych należących do rodzin: *Brassicaceae* (*Cruciferae*), *Solanaceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*. Pokarmy pochodzenia roślinnego charakteryzują się wysokim potencjałem zdrowotnym, dlatego nie należy wykluczać ich z diety mimo obecności substancji antyodżywczych.

Summary

Antinutritional substances (non-nutritional substances) are compounds naturally occurring in plants that can limit or prevent the use of nutrients or have a harmful effect on the human body. Primary substances such as proteins, carbohydrates (non-starch polysaccharides) and vegetable fats are reserve, building and energy material for plants. Secondary anti-nutritional substances are protein compounds, which include products of biochemical changes. These compounds do not perform any nutritional functions. Their role is to protect plants against pests, predators, microorganisms, fungi and moulds as well as unfavourable conditions that inhibit their growth and development. This article is a review of the available literature on naturally occurring secondary anti-nutritional substances such as: glucosinolates, glycoalkaloids, trypsin and chymotrypsin inhibitors, tannins, sterol saponins, lectins, cyanogenic glycosides, alkylresorcinols occurring in selected agricultural plants belonging to the families: *Brassicaceae* (*Cruciferae*), *Solanaceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*. Plant-based foods have a high health potential, so they should not be excluded from the diet despite the presence of anti-nutritional substances.

Wstęp

Substancje antyodżywcze (*antinutritional substances*, nieodżywcze, antyżywniowe, przeciwżywniowe) są to związki naturalnie występujące w roślinach, które mogą ograniczać lub uniemożliwiać wykorzystanie składników odżywczych albo szkodliwie wpływać na organizm człowieka [1]. Substancje te wzajemnie współdziałając z procesem trawienia, wchłaniania oraz innymi etapami metabolizmu substancji odżywczych, obniżają ich wykorzystanie jako składników energetycznych i budulcowych. Szkodliwe substancje pochodzenia roślinnego wpływają również na żywienie zwierząt. Toksyczne związki występują w trawach, roślinach strączkowych oraz pastewnych, a te z kolei wchodzą w skład wielu pasz, wpływając na ogólne zdrowie zwierząt.

Substancje o działaniu antyżywniowym to grupa związków o zróżnicowanej budowie chemicznej, spełniająca wiele ważnych funkcji w roślinie. Związki te można sklasyfikować pod względem sposobu powstania w roślinie: na pierwotne oraz wtórne. Substancje pierwotne, takie jak: białka, węglowodany (polisacharydy nieskrobiowe) oraz tłuszcze roślinne stanowiące materiał zapasowy, budulcowy oraz energetyczny dla roślin. Wtórne substancje antyżywniowe to związki o charakterze białkowym, do których zaliczane są produkty przemian biochemicznych, takie jak: związki fenolowe, glukozynolany, glikozydy, związki fitynowe, alkaloidy i inne. Hanczakowski i wsp. [2] podkreślają, że substancje wtórne nie pełnią żadnych funkcji o charakterze odżywczym. Ich rolą jest ochrona roślin przed szkodnikami, drapieżnikami, drobnoustrojami, grzybami i pleśniami oraz niekorzystnymi czynnikami hamującymi ich wzrost i rozwój [3].

Artykuł stanowi przegląd dostępnej literatury, dotyczącej naturalnie występujących wtórnych substancji antyżywniowych, takich jak: glukozynolany, glikoalkaloidy, inhibitory trypsyny i chymotrypsyny, taniny, saponiny sterolowe, lektyny, glikozydy cyjanogenne alkilorezorcynole występujące w wybranych roślinach rolniczych należących do rodzin: *Brassicaceae* (*Cruciferae*), *Solanaceae*, *Fabaceae*, *Poaceae*.

***Brassicaceae* (*Cruciferae*)**

Warzywa kapustowate stanowią źródło wielu składników odżywczych, w tym składników mineralnych, witamin rozpuszczalnych w wodzie oraz naturalnych przeciwutleniaczy. Spośród substancji biologicznie czynnych występujących w roślinach z rodziny *Brassicaceae* dominują glukozynolany (GLS). Są to wtórne metabolity roślin występujące m.in. w kapuście białej, kapuście czerwonej, kapuście włoskiej, kapuście pekińskiej, brukselce, kalafiorze, brokułach, rzodkwi, rzodkiewce, kalarepie, jarmużu, rzeżusze, rukoli, chrzanie oraz gorczycy, rzepiku i rzepaku [4, 5]. Związki te są rozpuszczalne w wodzie i występują w formie siarkowych tioglikozydów, zawierających cząsteczkę β -D-glukozy, siarkę oraz łańcuch boczny o strukturze alifatycznej lub aromatycznej [6]. W roślinach występuje kilkanaście rodzajów glukozynolanów. Zukałova i Vasak [7] podają, że glukozynolany syntetyzowane są z aminokwasów, takich jak: metionina, alanina, walina, leucyna, izoleucyna, tyrozyna, fenyloalanina i tryptofan [6]. Stężenie i skład tych związków różni się w zależności od morfotypu, organu, fazy rozwojowej, zasobności gleby w azot i siarkę oraz warunków środowiskowych [8] i wynosi średnio od kilku do nawet kilkuset mikromoli substancji na 100 gram świeżego produktu.

Wzrost stężenia glukozynolanów, szczególnie u roślin krzyżowych, determinowany jest dostępnością wody [9]. Badania McNaughton i Marks [10] wykazały, że największą zawartość glukozynolanów zawierały świeże warzywa. Autorzy stwierdzili, że ich stężenie zmniejsza się wraz z czasem przechowywania, pod wpływem rozdrabniania oraz gotowania.

Największą różnorodnością pod względem składu glukozynolanów wyróżnia się kapusta biała, która zawiera osiem różnych glukozynolanów. W dojrzałych nasionach rzepaku w największych stężeniach występują glukozynolany alkenowe: progoitryna, glukonapina, glukobrassikanapina, napoleiferyna oraz glukozynolany indolowe: 4-hydroksy glukobrassicyna i glukobrassicyna. Natomiast w gorczycy w największym stężeniu jest obecna sinalbina, która stanowi ponad 70% całkowitej ilości tych związków. Najmniejsze stężenie glukozynolanów posiada kalafior, w którym całkowita zawartość tych związków wynosi średnio 13 $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ świeżej masy.

Rask i wsp. [11] podają, że glukozynolany występują łącznie z rozkładającym je enzymem zwanym mirozynazą, tworząc fizjologiczny system obrony roślin. W nienaruszonej komórce tkanki roślinnej glukozynolany są oddzielone od enzymu znajdującego się w komórkach mirozynowych. Gdy komórka roślinna zostanie uszkodzona

w sposób mechaniczny (krojenie, żucie) lub w wyniku ataku roślinożerców, dochodzi do kontaktu enzymu z glukozynolanami. Wówczas uwalniane zostają produkty hydrolizy glukozynolanów o właściwościach toksycznych, takie jak: izotiocyjaniany, winyloooksazolidynetiony i nitryle [12]. Należy podkreślić, że w żwaczu krów i innych zwierząt przeżuwających następuje proces ich neutralizacji, co powoduje, że nie stanowią zagrożenia dla zdrowia [13].

Glukozynolany ogólnie nazywane są składnikami antyżywniowymi pasz. Ich obecność w wyłokach i śrucie rzepakowej, szczególnie u odmian tradycyjnych, ogranicza wykorzystanie tych produktów poolejarskich w żywieniu zwierząt i jest jednym z kluczowych kryteriów przy rejestracji i uprawie odmian podwójnie ulepszonych w Unii Europejskiej. W Polsce norma dla zawartości glukozynolanów jest najniższa na świecie i wynosi 15 mikromoli na gram nasion. Norma ta obejmuje sumę glukozynolanów alkenowych i indolowych.

Nadmierna konsumpcja glukozynolanów powoduje działania niepożądane, tj. wolotwórcze i mutagenne, prowadzące do niekontrolowanego wzrostu komórek nowotworowych. Spożywanie dużych ilości roślin kapustnych wiąże się z hamowaniem produkcji tyroksyny, powodując spadek aktywności tarczycy i prowadząc do jej przerostu. Należy podkreślić, że stosowanie zróżnicowanej diety wyklucza występowanie takiego zjawiska i może nastąpić tylko przy poważnych niedoborach jodu. Według Śmiechowskiej i wsp. [14] istotne jest, aby spożywanie warzyw kapustowatych wiązało się z obecnością jodu w pożywieniu.

Glukozynolany występujące w roślinach kapustnych wykazują również prozdrowotne właściwości. He i wsp. [15] wykazali, że największe znaczenie przeciwnowotworowe mają indolowe pochodne glukozynolanów zwane izotiocyjanianami. Związki te hamują kancerogenezę na wczesnych jej etapach [16, 17]. Kusznierecz i wsp. [18] dowiedli, że związki te przyczyniają się do aktywacji białek działających przeciwutleniająco, chroniąc komórki przed stresem oksydacyjnym. Wielu autorów [19, 20] podkreśla, że obecnie produkowane są suplementy diety oraz leki stosowane w walce z nowotworami zawierające wyizolowane pochodne glukozynolanów.

Solanaceae

Składnikami decydującymi o wartości odżywczej ziemniaka są węglowodany, białko, witaminy oraz mikro- i makroelementy. Naturalnymi substancjami antyodżywczyymi występującymi w bulwach ziemniaka, które stanowią potencjalne zagrożenie dla konsumentów są toksyczne glikozydy sterydowe zwane glikoalkaloidami (TGA – *Total Glyco Alkaloids*). Związki te występują w liściach, łodygach, kwiatach, bulwach i kiełkach. Głównymi alkaloidami występującymi w ziemniaku są: α -, β -, γ -solanina oraz α -, β - i γ -chakonina [21]. Sotelo i Serrano

[22] podają, że związki te stanowią aż 95% glikoalkaloidów, a przeciętne proporcje zawartości tych dwóch związków to 3:2. Jednak autorzy podkreślają, że nie jest to wartość stała.

Mitchen i wsp. [23] wskazują, że biologiczną funkcją tych związków w tkance ziemniaka jest rola ochronna, o czym świadczą ich wzmożona synteza w pobliżu uszkodzonej czy zakażonej tkanki. Potwierdzają to badania Zgórskiej i wsp. [24], które wykazały, że uszkodzenia mechaniczne i ekspozycja bulw na światło podczas zbioru, transportu, sortowania wpłynęły na istotny wzrost zawartości glikoalkaloidów w bulwach wszystkich badanych odmian. Zgórska i wsp. [24] po zbiorze otrzymali $48 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej masy glikoalkaloidów, a w uszkodzonych, po przechowywaniu średnio $80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ św.m.

Wroniak i Mazurczyk [25] oraz Hase [26] stwierdzili, że zawartość substancji antyodżywczych w bulwach ziemniaka determinowana jest również przez czynniki genetyczne i środowiskowe, tj. warunki pogodowe w trakcie wegetacji, dojrzałość bulw oraz warunki przechowywania. Haddadin i wsp. [27], na podstawie przeprowadzonych badań, doszli do wniosków, że w bulwach przechowywanych w ciemności średnia zawartość solaniny wynosiła ok. $195 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ św.m, zaś po wystawieniu ich na działanie światła słonecznego, zawartość TGA w skórce zwiększyła się 10-krotnie. Hase [26] wykazał, że większe stężenie glikoalkaloidów występuje w małych bulwach ziemniaka. Tajner-Czopek i wsp. [28] otrzymali większą koncentrację tych związków w bulwach o niepełnej dojrzałości w porównaniu do bulw zebranych w późniejszym terminie. Według wielu autorów [25, 26, 29] najwięcej glikoalkaloidów znajduje się w zewnętrznej warstwie skórki ziemniaka. Lachman i wsp. [30] podają, że w skórce występuje od 83% do 96% glikoalkaloidów. Proces obierania ziemniaków zmniejsza ich stężenie średnio od 60 do 90%, zaś gotowania średnio o 20% [30]. Mięsz bulwy nie stanowi zagrożenia dla zdrowia człowieka, ponieważ zawiera od 1 do 3% TGA [30]. Maksymalne dopuszczalne stężenie glikoalkaloidów w świeżych bulwach ziemniaka nie powinno być większe niż $200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ świeżej masy, ale zawartość TGA powyżej $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ w świeżej masie bulw może już pogarszać ich smak [31].

Wysoka kumulacja tych związków w bulwach ziemniaka obniża ich wartość pokarmową, dlatego glikoalkaloidy określane są jako substancje antyżywniowe mogące mieć niekorzystny wpływ na zdrowie ludzkie. Spożycie ziemniaków z nadmierną zawartością tych związków powoduje uszkodzenia przewodu pokarmowego i układu nerwowego [32]. Barceloux [33] podaje, że objawy zatrucia u ludzi występują najczęściej po 7-19 godzinach od momentu spożycia, zaś Hellenäs i wsp. [34] twierdzą, że pierwsze symptomy, takie jak: wymioty, bóle głowy, gorączka, zaburzenia świadomości i halucynacje mogą wystąpić po 30 minutach. Dłuższe utrzymywanie się stężenia we krwi prowadzi do tachykardii, sztywnienia

karku, częściowego paraliżu lub śpiączki [33]. Według Lachmana i wsp. [30] nadmiar związków, których organizm nie jest w stanie wydalić, gromadzi się w wątrobie, nerkach lub sercu.

Ze względu na toksyczność glikoalkaloidów, zalecane jest dokładne analizowanie zawartości glikoalkaloidów w odmianach ziemniaka, wpisywanych do Krajowego Rejestru Odmian Roślin Rolniczych [35].

Fabaceae

Rośliny bobowate należące do rodziny *Fabaceae*, obok składników zdrowotnych, zawierają substancje antyodżywcze charakteryzujące się wysoką aktywnością biologiczną [36].

Taniny ze względu na budowę i właściwości dzielą się na: hydrolizujące (poliestry kwasu galusowego i jego pochodne z monosacharydami) oraz niehydrolizujące – skondensowane (proantocyjanidyny), zbudowane z cząsteczek katechin połączonych wiązaniami węgla, nie ulegają rozerwaniu w procesie hydrolizy. Są to rozpuszczalne w wodzie związki fenolowe. Goluch-Koniuszy i Salmanowicz [37] podają, że w grochu średnia zawartość tych związków wynosi od 0,43-0,47%, bobiku od 0,75 do 1,92%, ciecierzycy – od 0,03 do 0,22%, soi – 0,045%, zaś w fasoli średnio 0,77%. Taniny pełnią funkcję ochronną przed patogenami, roślinożercami i niekorzystnymi warunkami środowiska. Związki te wchodzi w reakcje z białkami, tworząc ciężkostrawne kompleksy, oraz upośledzają działanie enzymów trawiennych. Wpływa to ujemnie na wykorzystanie składników pokarmowych, głównie białka. Związki te również powodują cierpki smak paszy oraz pogorszenie jej strawności.

Inhibitory trypsyny i chymotrypsyny występują głównie w fasoli, bobiku, bobie, grochu, ciecierzycy. Związki te ograniczają wykorzystanie białek w paszach dla zwierząt poprzez blokowanie enzymów proteolitycznych (trypsyny, chymotrypsyny, elastazy, trombiny), tworząc nieaktywne kompleksy [38].

Lektyny (hemaglutyniny) są to glikoproteidy o specyficznym powinowactwie do niektórych cukrów, tj. reagują one z błonami komórkowymi zbudowanymi z charakterystycznych kompleksów węglowodanowych. Mają zdolność aglutynacji erytrocytów zarówno u ludzi, jak i u zwierząt. Związki te występują w bobiku, soczewicy i grochu. Ich rolą jest magazynowanie cukrów oraz ochrona roślin przed fitopatogenami i roślinożercami. Ponadto wykazują działanie grzybobójcze, owadobójcze i pasożytnicze.

Saponiny sterolowe lub terpenowe glukozydy występują w formie glikozydów. Są to związki o charakterze triterpenoidów lub steroli, tworzące wielopierścieniowy aglikon, określanym mianem sapogeniny [37]. Stężenie saponin waha się średnio od 2,3 do 60 g·kg⁻¹ w ciecierzycy, od 1,1 do 1,8 g·kg⁻¹ w grochu, od 1,1 do 5,1 g·kg⁻¹

soczewicy oraz $3,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ w bobie. Związki te charakteryzują się gorzkim smakiem. Po przedostaniu się do krwioobiegu powodują hemolizę krwinek czerwonych oraz wywierają niekorzystny wpływ na ośrodkowy układ nerwowy [13]. Saponiny na skutek antagonizmu z witaminą D mogą być przyczyną osteomalacji (rozmiękczenie kości). Pod wpływem obróbki technologicznej stężenie saponin w żywności ulega częściowemu zmniejszeniu [37].

Fityniany są to sole kwasu fitynowego, związki cykliczne zawierające 6 reszt fosforanowych. Wykazują one zdolność do chelatowania grup elektrono-dodatnich. Najczęściej chelatowane są dwu- i trójwartościowe metale, takie jak: Cu (miedź), Zn (cynk), Mg (magnez), Ca (wapń), Mn (mangan), Fe (żelazo), Co (kobalt) [39, 40]. Fityniany mogą także chelatować białka, inaktywując enzymy trawienne, tj: pepsynę, tripsynę, chymotrypsynę czy α -amylazę. Zawartość kwasu fitynowego waha się od 0,3 do 2%, a największe stężenie wykazano w bobiku i soi. Fityniany mogą mieć wpływ na ograniczenie procesów nowotworowych, co związane jest z ich właściwościami antyoksydacyjnymi [41].

Glikozydy cyjanogenne występują w nasionach bobu, bobiku oraz w niektórych gatunkach fasoli. U ludzi z genetycznie uwarunkowanym niedoborem enzymu dehydrogenazy-6-fosforanowej związki te wywołują tzw. fawizm, czyli chorobę „fasolową” objawiającą się zawrotami głowy, zaburzeniami ze strony przewodu pokarmowego, prowadzącą do niedokrwistości hemolitycznej. Choroba ta występuje najczęściej po spożyciu niedogotowanego lub surowego bobu.

Poaceae

Ziarna zbóż zawierają niewielkie ilości substancji antyżywniowych, jednak nie stwarzają one poważnego zagrożenia.

Alkilorezorcynole (AR) są pochodnymi fenolu. Cechą charakterystyczną tych związków jest występowanie w aromatycznym pierścieniu bocznego łańcucha alkilowego o nieparzystej liczbie atomów węgla, którego długość jest zróżnicowana w zależności od gatunku [42]. Evans i wsp. [43] wykazali, że największą zawartość tych związków stwierdza się w ziarnie żyta – średnio od $360 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ do nawet $2180 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ według Sałek [44], pszenżyta od $294 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [45] do $950 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [46], ziarnie pszenicy od $268 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [47] do $943 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [48] oraz jęczmienia od $32 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [49] do $119 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [50]. Związki te pełnią funkcję ochronną oraz mają działanie bakteriobójcze i grzybobójcze. Wpływają na zmniejszenie pobrania paszy i pogorszenie jej strawności. Ross [51] stwierdził, że alkilorezorcynole, z uwagi na dużą ich zawartość w otrębach i całym ziarnie pszenicy, żyta i innych zbóż wykorzystywanych najczęściej do produkcji żywności oraz ze względu na ich brak w innych produktach roślinnych, zostały wskazane jako biomarker ilości spożycia produktów zbożowych.

Inhibitory proteaz (trypsyny i chymotrypsyny) występują głównie w życie i pszenżycie. Zboża zawierają niwielkie ilości **tanin**. Największą zawartość wykazano w pszenicy, zaś w mniejszym stopniu w pozostałych zbożach. Ich negatywne działanie polega na pogorszeniu walorów smakowych paszy. W większości uprawianych obecnie odmian ich zawartość jest niska, nie pogarszająca wartości odżywczej zbóż.

Podsumowanie

Naturalne substancje nieodżywcze o charakterze wtórnym występują w roślinach w niewielkich stężeniach i zaliczane są do substancji, które nie dostarczają organizmowi składników odżywczych. Ich główną rolą jest ochrona roślin przed szkodnikami, drapieżnikami, drobnoustrojami, grzybami i pleśniami oraz niekorzystnymi czynnikami hamującymi ich wzrost i rozwój. Substancje te tworzą mechanizm obronny skierowany przeciw czynnikom zagrażającym przetrwaniu gatunku w niesprzyjających dla niego warunkach zewnętrznych. Zwykle ilość tych związków jest większa na skutek wzmożonej syntezy w wyniku mechanicznego uszkodzenia lub obrony przed nadmiernym napromieniowaniem.

Pokarmy pochodzenia roślinnego charakteryzują się wysokim potencjałem zdrowotnym, dlatego nie należy wykluczać ich z diety mimo obecności substancji antyodżywczych. W zależności od ilości spożycia substancji antyżywniowych mogą one niekorzystnie wpływać na stan zdrowotny i produktywność zwierząt. Zawartość tych związków, a tym samym ich niekorzystny wpływ na stan odżywienia i zdrowie można ograniczyć, stosując takie techniki jak: moczenie, gotowanie w wodzie czy obróbka termiczna.

Literatura

- [1] Czerwińska D., Bezpieczne i niebezpieczne związki, *Przegląd Gastronomiczny*, 2006, 11, s. 10-11.
- [2] Hanczakowski P., Koreleski J., Wolski T., Składniki pokarmowe i antyodżywcze występujące w roślinach, Instytut Zootechniki, Kraków 2001.
- [3] Schuhmayer R., *Odżywianie bioaktywne, Jedzenie może leczyć*, Wydawnictwo Biblioteka zdrowego życia, Warszawa 2003.
- [4] Fahey J.W., Zalcmann A.T., Talalay P., The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants, *Phytochemistry*, 2001, 56, s. 5-51.
- [5] Sawicka B., Kotiuk E., Gorczyce jako rośliny wielofunkcyjne, *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura*, 2007, 6(2), s. 17-27.
- [6] Troczyńska J., System mirozynaza – glukozynolany – charakterystyka i funkcje w roślinie, *Rośliny oleiste – Oilseed Crops*, 2005, 26, s. 51-64.

Substancje antyżywniowe w wybranych roślinach rolniczych

- [7] Zúkalová H., Vašák J., The role and effects of glucosinolates of *Brassica* species – a review, *Plant Soil and Environment*, 2002, 48, s. 175-180.
- [8] Patyra E., Kwiatek K., Glukozynolany – składniki antyżywniowe pasz, *Życie Weterynaryjne*, 2015, 90(10), s. 674-677.
- [9] Bouchereau A., Clossais-Besnard N., Bensaoud A., Lepout L., Renard M., Water stress effects on rapeseed quality, *European Journal of Agronomy*, 1996, 5(1), s. 19-30.
- [10] McNaughton S.A., Marks G.C., Development of a food composition database for the estimation of dietary intakes of glucosinolates, the biologically active constituents of cruciferous vegetables, *British Journal of Nutrition*, 2003, 90, s. 687-697.
- [11] Rask L., Andréasson E., Ekblom B., Eriksson S., Pontoppidan B., Meijer J., Myrosinase: gene family evolution and herbivore defense in *Brassicaceae*, *Plant Molecular Biology*, 2000, 42(1), s. 93-113.
- [12] Kissen R., Rossiter J., Bones A., The 'mustard oil bomb': not so easy to assemble?! Localization, expression and distribution of the components of the myrosinase enzyme system, *Phytochemistry Reviews*, 2009, 8, s. 69-86.
- [13] Czerwiecki L., Rośliny jako źródło naturalnych substancji szkodliwych dla zdrowia, *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 2005, 3, s. 215-227.
- [14] Śmiechowska A., Bartoszek A., Namieśnik J., Przeciwrakotwórcze właściwości glukozyolanów zawartych w kapuście (*Brassica oleracea var. capitata*) oraz produktów ich rozpadu, *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 2008, 62, s. 125-140.
- [15] He H., Liu L., Song S., Tang X., Wang Y., Evaluation of glucosinolate composition and contents in chinese brassica vegetables, *Acta Horticulturae*, 2003, 620, s. 85-92.
- [16] Szwejda-Grzybowska J., Antykancerogenne składniki warzyw kapustnych i ich znaczenie w profilaktyce chorób nowotworowych, *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 2011, 4, s. 1039-1046.
- [17] Patyra E., Kowalczyk E., Kwiatek K., Antyżywniowe i prozdrowotne właściwości glukozyolanów, *Życie Weterynaryjne*, 2016, 91(7), s. 515-520.
- [18] Kusznierewicz B., Piasek A., Lewandowska J., Śmiechowska A., Bartoszek A., Właściwości przeciwnowotworowe kapusty białej, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2007, 6(55), s. 20-34.
- [19] Sikorska-Zimny K., Wybrane glukozyolany i ich pochodne: źródła, właściwości oraz działania na organizm człowieka, *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 2016, XLIX, 1, s. 96-105.
- [20] Cieślík E., Cieślík I., Borowski M., Charakterystyka właściwości prozdrowotnych glukozyolanów, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2017, 588, s. 3-14.
- [21] Leszczyński W., Żywnościowa wartość ziemniaka i przetworów ziemniaczanych (Przeгляд literatury), *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin IHAR*, 2012, 266, s. 5-20.
- [22] Sotelo A., Serrano B., High-performance liquid chromatographic determination of glycoalkaloids α -solanine and α -chaconine in 12 commercial varieties of Mexican potato, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48, s. 2472-2475.
- [23] Mithen R.F., Dekker M., Verkerk R., Rabot S., Johnson I.T., The nutritional significance, biosynthesis and bioavailability of glucosinolates in human foods, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2000, 80, s. 967-984.

- [24] Zgórska K., Czerko Z., Grudzińska M., Wpływ wybranych czynników na zawartość glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2006, 1(46), s. 229-234.
- [25] Wroniak J., Mazurczyk W., Odmianowe różnice zawartości glikoalkaloidów w zależności od przeciętnej masy bulw ziemniaka, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2006, 511, s. 189-195.
- [26] Hase N., Glicoalcaloids in potato tubers related to storage and consumer offering, *Potato Research*, 2010, 53, s. 297-3010.
- [27] Haddadin M.S.Y., Humeid M.A., Qaroot F.A., Robinson R.K., Effect of exposure to light on the solanine content of two varieties of potato (*Solanum tuberosum*) popular in Jordan, *Food Chemistry*, 2001, 73, s. 205-208.
- [28] Tajner-Czopek A., Leszczyński W., Lisińska G., Prośba-Białczyk U., Zawartość glikoalkaloidów w ziemniakach w zależności od terminu zbioru, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 2006, 511, s. 379-387.
- [29] Wierzbicka A., Some quality characteristics of potato tubers grown in the ecological system depending on irrigation, *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2011, 56(4), s. 203 -207.
- [30] Lachman J., Hamous K., Orsak M., Pivec V., Potato glycoalkaloids and their significance in plant protection and human nutrition – review, *Series Rotlinna Vyroba*, 2001, 47, s. 181-191.
- [31] Mazurczyk W., Lis B., Zawartość azotanów i glikoalkaloidów w dojrzałych bulwach ziemniaka jadalnego, *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 2000, 51(1), s. 37-41.
- [32] Percival G., Dixon G.R., Sword A., Glycoalkaloid concentration of potato tubers following exposure to daylight, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1996, 71, s. 5.
- [33] Barceloux D.G., Potatoes, tomatoes and solanine toxicity, [w:] *Medical toxicology of natural substances: foods, fungi, medicinal herbs, toxic plants, venomous animals*, (red.) D.G. Barceloux, Wiley, 2008, s. 77-83.
- [34] Hellenäs K.E., Nyman A., Slanina P., Loof L., Gabriellson J., Determination of potato glycoalkaloids and their aglycones in blood serum by high performance liquid chromatography. Application to pharmacokinetic studies in human, *Journal of Chromatography A*, 1992, 573, s. 69-78.
- [35] Trawczyński C., Wierzbicka A., Odmianowe i środowiskowe zróżnicowanie zawartości glikoalkaloidów w bulwach ziemniaka, *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 2011, 262, s. 119-126.
- [36] Champ M.M., Non-nutrient bioactive substances of pulses, *British Journal of Nutrition*, 2002, 88(3), s. 307-319.
- [37] Goluch-Koniuszy Z., Salmanowicz M., Wybrane substancje antyodżywcze występujące w żywności, *Biuletyn Okręgowej Izby Lekarskiej w Szczecinie*, 2017, 1(226), s. 9-13.
- [38] Lipiec A., Pisarski R.K., Substancje antyżywniowe w paszach, *Medycyna Weterynaryjna*, 50(4), s. 152-155.
- [39] Kulasek G., Leontowicz H., Krzemiński R., Bioaktywne substancje w pokarmach dla ludzi i zwierząt (cz. I). Czynniki antyżywniowe, *Magazyn Weterynaryjny*, 1995, 1, s. 39-25.

Substancje antyżywniowe w wybranych roślinach rolniczych

- [40] Gupta R.K., Gangoliya, S.S., Singh N.K., Reduction of phytic acid and enhancement of bioavailable micronutrients in food grains, *Journal of Food Science and Technology*, 2013, 52(2), s. 676-84.
- [41] Graf E., Eaton J.W., Antioxidant function of phytic acid, *Free Radical Biology & Medicine*, 1990, 8, s. 61-69.
- [42] Kozubek A., Tyman J.H.P., Resorcinolic lipids, the natural non-isoprenoic amphiphiles and their biological activity, *Chemical Reviews*, 1999, 99, s. 1-26.
- [43] Evans L.E., Dedio W., Hill R.D., Variability in the alkylresorcinol content of rye grain, *Canadian Journal of Plant Science*, 1973, 53, s. 485-488.
- [44] Sałek M., Oznaczanie zawartości 5-alkilorezorcyn w ziarnie i produktach przemiału żyta, *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 1978, 29, s. 205-211.
- [45] Hengtrakul P., Lorenz K., Mathias M., Alkylresorcinols in U.S. and Canadian wheats and flours, *Cereal Chemistry*, 1990, 67, s. 413-417.
- [46] Verdeal K., Lorenz K., Alkylresorcinols in wheat, rye and triticale, *Cereal Chemistry*, 1977, 54, s. 475- 483.
- [47] Andersson A.A.M., Kamal-Eldin A., Fraś A., Boros D., Åman P., Alkylresorcinols in wheat varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56, s. 9722-9725.
- [48] Kulawinek M., Jaromin M., Kozubek A., Żarnowski R., Alkylresorcinols in selected Polish rye and wheat cereals and whole-grain cereal products, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56, s. 7236-7242.
- [49] Andersson A.A.M., Lampi A-M., Nyström L., Piironen V., Li L., Ward J., Gebruers K., Courtin C.M., Delcour J.A., Boros D., Fraś A., Dynkowska W., Rakszegi M., Bedo Z., Shewry P.R., Åman P., Phytochemical and Fibre Components in Barley Varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56, s. 9767-9776.
- [50] Boros D., Fraś A., Gołębowska K., Gołębowski D., Paczkowska O., Wiśniewska M., Wartość odżywcza i właściwości prozdrowotne ziarna odmian zbóż i nasion rzepaku zalecanych do uprawy w Polsce, [w:] *Monografie i Rozprawy Naukowe*, (red.) D. Boros, A. Fraś, 2015, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, 49, s. 1-119.
- [51] Ross A.B., Alkylresorcinols in cereal grains. Occurrence, absorption, and possible use as biomarkers of whole grain wheat and rye intake. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences., Uppsala, 2003.

Do cytowania:

Sikorska A., Gugąła M., Zarzecka K., Domański Ł., Substancje antyżywniowe w wybranych roślinach rolniczych, *Herbalism*, 2022, 1(8), s. 119-129.