

„Pszeniczna rewolucja” a zdrowotne aspekty konsumpcji

„Wheat revolution” and the health aspects of consuming

Ewa Plażuk¹, Iwona Mystkowska²

¹ Centrum Badań nad Innowacjami, Akademia Bialska im. Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, ul. Sidorska 107, 21-500 Biała Podlaska

² Wydział Nauk o Zdrowiu, Zakład Dietetyki, Akademia Bialska 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 jakości 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 uprawie tego zboża, zaś podstawowy pod względem wartości i przydatności w produkcji spożywczej jest gluten pszeniczny.

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

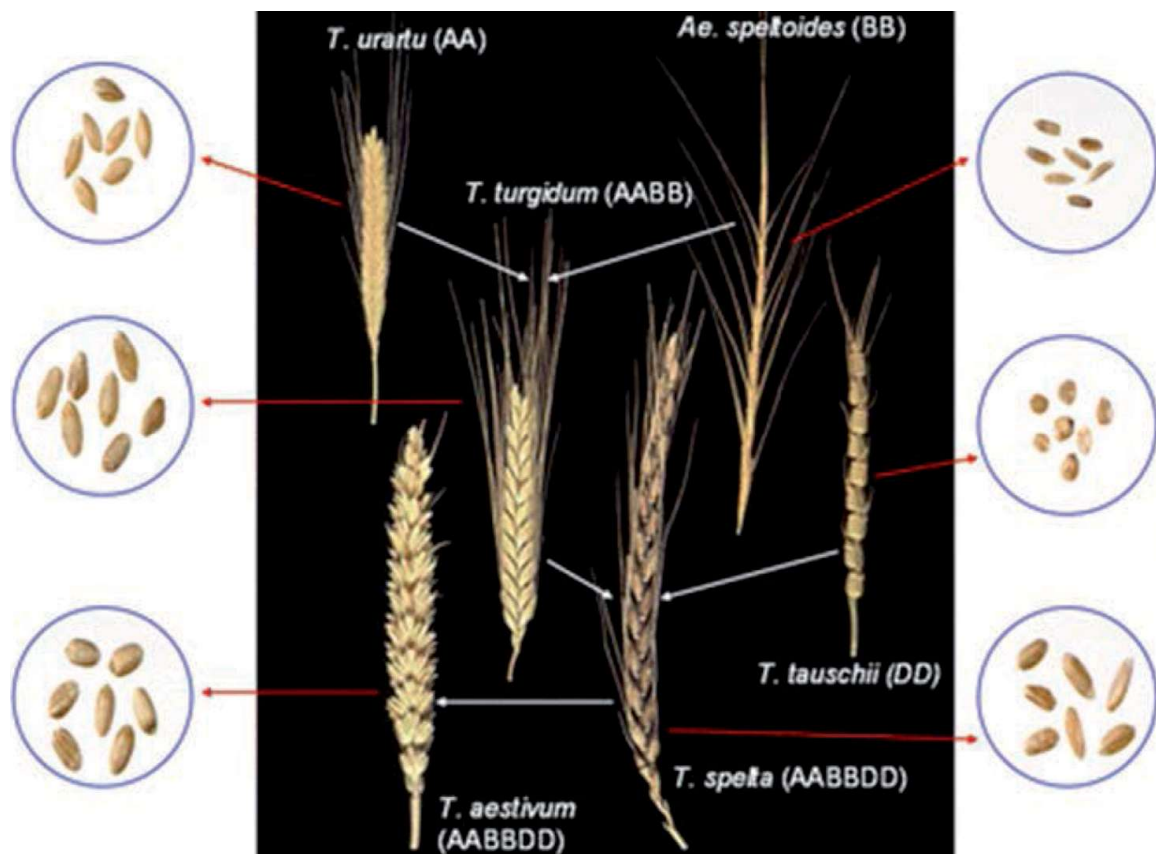
fertility and resistance to unfavorable growing conditions, both the phenotype and genotype of most crops have been altered. Today, wheat cultivation is at a very high level on a large scale, as the volume of the crop in 2022/2023 was about 800 million tons, of which about 95% of the wheat produced is *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. Żyznym 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].



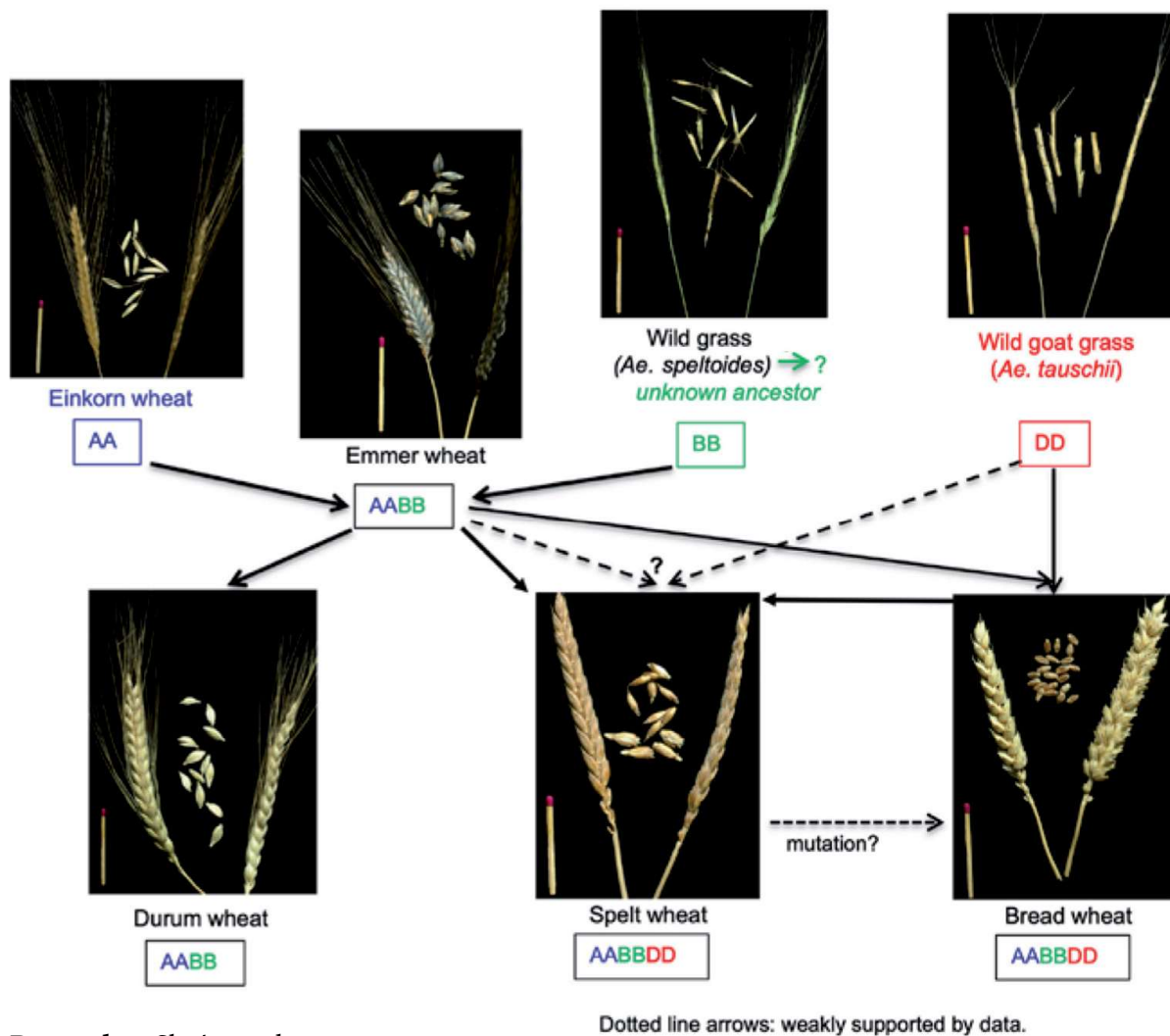
Rysunek 1. Kłosy i ziarna ukazujące ewolucyjne i genomowe powiązania między uprawianą pszenicą chlebową i durum a pokrewnymi dzikimi trawami diploidalnymi.

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, orkiszu, 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 kłosek 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 orkisz 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 starożytne) 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 plennność [14, 15].

Oprócz tzw. syndromów udomowienia pszenicy, zadbane o inne pożądane cechy tej rośliny, które umożliwiły podniesienie produktywności upraw, tak by zbiory 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 stresy 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].

Zróżnicowana 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% seleniu (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 mikrobioty jelitowej, działając jako prebiotyk. Prebiotyki są odporne na kwasowość żołądka i hydrolizę przez enzymy. Mogą być fermentowane w okrężnicy, zmieniając w ten sposób skład mikrobioty 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 zbytnio 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 wątpienia 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 pszennego, 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 Alzheimera 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* (Schränk 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, seleniu 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 wyższy poziom związków przeciwutleniających, takich jak: α - i β -karoten, 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 pszennych 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 nierozdzielnie związane ze zdolnością białek ziarna – glutenu do tworzenia lepkością 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 Genetetics*, 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 Keyser 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, 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 α -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., Bindselev-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 feral 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 Technology*, 2010, 21, s. 106–113.