

Marta Wyzińska, Jerzy Grabiński

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH SKŁADNIKÓW BIOAKTYWNYCH OBECNYCH W ZIARNIE ZBÓŻ*

Słowa kluczowe: składniki bioaktywne, zboża, substancje bioaktywne, ziarno zbóż

Wstęp

Ziarno zbóż stanowi podstawę w żywieniu ludzi i zwierząt. Jest ono znaczącym źródłem białka oraz witamin z grupy B. Produkty na bazie ziarna zbóż są również źródłem składników mineralnych i pierwiastków śladowych oraz związków biologicznie aktywnych. Substancje te mogą wpływać na poprawę zdrowia bądź odgrywają istotną rolę w profilaktyce wielu chorób (9, 12).

Składnikami bioaktywnymi w ziarnie zbóż są m. in. błonnik pokarmowy, z jego głównymi komponentami takimi jak arabinoksylany, oligosacharydy i lignina, następnie fityniany i cała pozostała po ligninie gama związków fenolowych (w tym kwasy fenolowe i alkilorezorcynole (7).

Związki bioaktywne zlokalizowane są głównie w okrywie owocowo-nasiennej ziarniaka, zarodku i warstwie aleuronowej. Przemiał ziarna powoduje, że substancje te są w dużym stopniu usuwane z frakcją otrąb. Wzrost zainteresowania związkami bioaktywnymi związany jest głównie z potencjalnymi możliwościami wykorzystania ich jako środków dodawanych do żywności.

Substancje bioaktywne i ich rola

Substancje bioaktywne to podstawowe składniki odżywcze, a także związki nieodżywcze, naturalnie występujące w surowcu lub w produkcie jego przerobu, które wpływają na funkcje metaboliczne i fizjologiczne organizmu. Związki te obniżają ryzyko zachorowania na wiele przewlekłych chorób niezakaźnych m. in. nowotworów, arteriosklerozy czy cukrzycy typu 2 (9, 12, 67). Substancje biologicznie

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

aktywne w ziarniakach zbóż w największych ilościach zlokalizowane są w okrywie owocowo - nasiennej i komórka aleuronowych, tak więc procesy przemiału znacznie redukują ich zawartości w jasnej mące, czyli produkcie końcowym przemiału. Mąki te charakteryzują się obniżoną zawartością błonnika pokarmowego (tab. 1) (szczególnie rozpuszczalnej frakcji), mniejszą zawartością minerałów (cynku, żelaza, selenu), witamin (B₆, kwasu foliowego), przeciwutleniaczy (tokotrienoli, kwasu ferulowego) oraz fosforu (24).

Tabela 1

Zawartość wybranych składników w całym ziarnie zbóż i typach jasnych mąk o niskim wyciągu

Składnik	Całe ziarna	Mąki typów jasnych
Frakcja aleurenowa	14%	<0,1%
Zarodek	3%	<0,1%
Całkowity błonnik	13,0%	3%
Nierozpuszczalny błonnik	11,5%	1,90%
Rozpuszczalny błonnik	1%	1,00%
Białko	14,0%	14%
Tłuszcz	3%	1,40%
Skrobia i inne cukry	70%	83%
Minerały (%)	2	0,6
Cynk (µg/g)	29	8
Żelazo (µg/g)	35	13
Selen (µg/g)	6	0,02
Witamina B6 (mg/g)	8	1,4
Kwas foliowy (mg/g)	57	0,11
Kwas ferulowy (mg/g)	5	0,4
B - tokotrienol (µg/g)	33	5,7
Fosfor (mg/g)	3	0,1

Źródło: Thompson, 1992 (60)

Narodowe instytuty USA (47) określiły substancje bioaktywne jako substancje chemiczne inne niż te niezbędne do zaspokojenia podstawowych potrzeb żywieniowych, które są odpowiedzialne za zmiany stanu zdrowia. Substancje te powstają w wyniku wielu przemian fizjologicznych, kwalifikowanych w nauce jako przemiany pierwszego (pierwotne) i drugiego stopnia (wtórne). Te pierwsze mają charakter metabolitów występujących w każdej roślinie, które pełnią podstawowe funkcje fizjologiczne, stanowiąc substancje energetyczne, budulcowe lub zapasowe (cukry proste, skrobia, tłuszcze, chlorofil, aminokwasy, białka, kwasy nukleinowe) Natomiast te drugie są wytworem wyspecjalizowanej przemiany materii i nie można im przypisać podstawowej funkcji w życiu rośliny (50).

Lista składników biologicznie aktywnych znajdujących się w żywności jest długa i stale się powiększa (58).

Kwasy fenolowe – występują one jako rozpuszczalne wolne kwasy oraz rozpuszczalne i nierozpuszczalne estry (45). Są to pochodne kwasów benzoesowego i cynamonowego, które powstają w szlaku kwasu szikimowego u roślin. W swojej strukturze zawierają grupę hydroksylową i karboksylową (24). Występują one w dwóch formach: hydroksybenzoesanów i hydroksycynamonianów. Najczęściej dla hydroksybenzoesanów spotyka się kwas p-hydroksybenzoesowy, wanilinowy, protokatechowy i syringinowy, natomiast dla hydroksycynamonianów: p-kumorowy, ferulowy, kawowy i synapinowy. Wolne kwasy występują najczęściej w niewielkich ilościach, a ich stężenie zależy od gatunku, jak również stopnia dojrzałości rośliny. Ogólną pulę kwasów fenolowych w ziarniakach zbóż tworzą kwasy fenylokarboksylowe (p-hydroksybenzoesowy, salicylowy, protokatechowy, wanilinowy, galusowy i elagowy) oraz fenylopropenowe (kawowy, p-kumorowy, ferulowy, synapinowy), tworzące tzw. fenolokwasy (1, 69). Dominującym kwasem fenolowym w ziarniakach zbóż jest kwas *trans*-ferulowy. Według literatury (30, 64) ziarniaki pszenicy, żyta, jęczmienia, owsa i gryki są zasobne w kwasy fenolowe. Zawartość kwasu ferulowego w ziarnie pszenicy i żyta jest największa i wynosi odpowiednio 3,62 µg/g s.m. oraz 16 µg/g s.m., równie istotna jest zawartość kwasu wanilinowego (żyto 0,82 µg/g s.m.) i p-kumarowego (pszenica 0,70 µg/g s.m., żyto 0,46 µg/g s.m.), natomiast kwasy kawowy i synapinowy występują w najmniejszych ilościach (1, 20, 41, 53, 68). Zawartość kwasów fenolowych w ziarnie zbóż zależy w dużym stopniu od odmiany (tab. 2, 3), technologii uprawy i warunków pogody w okresie dojrzewania ziarna (11, 14, 67). Mechanizm antyoksydacyjny fenylokwasy jest zależny od liczby grup hydroksylowych w cząsteczce. Pochodne kwasu cynamonowego są bardziej efektywnymi przeciwutleniaczami niż pochodne kwasu benzoesowego. Związki te odpowiedzialne są za wygaszanie rodników, ochronę lipidów przed peroksydacją, jak również mają zdolność do chelatowania jonów metali katalizujących reakcje utleniania. Związki fenolowe poprzez swoje właściwości chronią organizm człowieka przed stresem oksydacyjnym i zapobiegają rozwojowi przewlekłych chorób niezakaźnych m. in. miażdżycy naczyń oraz zmianom nowotworowym (10).

Tabela 2

Zawartość kwasów fenolowych (µg g⁻¹) w ziarnie odmian pszenicy jarej

Odmiana	FER	SYN	KAW	WAN	SYR	PRO	SAL
Bombona	677,74	23,17	2,96	18,19	14,52	1,78	0,38
Nawra	629,14	28,84	2,84	17,21	17,16	1,43	0,33
Raweta	601,15	23,37	2,08	19,84	14,64	1,63	0,32

FER – ferulowy, SYN – synapinowy, KAW – kawowy, WAN – wanilinowy, SYR – syringowy, PRO – protokatechowy, SAL - salicylowy

Źródło: Sułek, 2016 (57)

Tabela 3

Zawartość kwasów fenolowych ($\mu\text{g g}^{-1}$) w ziarnie odmian pszenicy ozimej

Odmiana	FER	SYN	KAW	WAN	SYR	PRO	SAL
Kris	757,5	54,31	2,11	11,68	9,13	1,25	0,33
Satyna	691,46	41,43	3,45	12,59	14,63	2,15	0,31
Tonacja	542,55	47,09	2,47	11,63	8,7	1,72	0,2

FER – ferulowy, SYN – synapinowy, KAW – kawowy, WAN – wanilinowy, SYR – syringowy, PRO – protokatechowy, SAL - salicylowy

Źródło: Sułek, 2016 (57)

Błonnik pokarmowy – w największym stopniu wpływa na gospodarkę lipidową i metabolizm węglowodanów, a także reguluje czynnością całego przewodu pokarmowego, co wpływa na zmniejszenie ryzyka wystąpienia np. miażdżycy, choroby niedokrwiennej serca, cukrzycy typu 2 czy też otyłości. Obecność błonnika w diecie zapobiega również powstawaniu nowotworów jelita grubego. Szczególnie cennymi pod względem żywieniowym składnikami błonnika pokarmowego są pentozany, fruktany i β -glukany, a zwłaszcza ich frakcje rozpuszczalne w wodzie. Wyniki badań jakie przeprowadziła Jasińska i in. (28) wskazują, że najwyższa ilość składników błonnika pokarmowego w życie występuje w okrywie owocowo-nasiennej i warstwie komórek aleurenowych, natomiast najmniejsza w wewnętrznych tkankach bielma. Są one głównie składnikami ścian komórkowych (5, 18, 25, 26, 43, 44). Z kolei badania przeprowadzone przez Nilssona i in. (48) wskazują, że występuje istotna korelacja między zawartością błonnika pokarmowego, a zawartością składników bioaktywnych – fitoestrogenów w ziarnie żyta.

Tokole – to grupa związków (witamina E) składająca się z 8 kongenerów: 4 tokoferoli (α -, β -, γ -, δ -) i 4 tokotrienoli (α -, β -, γ -, δ -). Związki te zbudowane są z pierścieni 6-chromanolu oraz łańcucha fitylowego, który u tokoferoli jest nasycony, a u tokotrienoli zawiera 3 wiązania podwójne. Różnice w budowie strukturalnej skutkują różną aktywnością biologiczną tych substancji. Tokoferole i tokotrienole to związki o właściwościach przeciwutleniających, występujące w ziarniakach zbóż (24). Według literatury (24, 57) tokoferole i β -tokotrienol występują głównie w zarodku, natomiast tokotrienole w większości zlokalizowane są w okrywie owocowo-nasiennej, z kolei tokotrienole występują w bielmie.

Fitoestrogeny – są to związki niesteroidowe o właściwościach estrogennych. Wśród nich można wyróżnić trzy główne grupy: izoflawonoidy, ligniany i kumestany (3). Mają one właściwości antywirusowe, antynowotworowe, bakteriobójczej przeciwgrzybicze (31).

Ligniany – należą do związków fenolowych, które są obecne w roślinach. Niektóre z nich przekształcane są w organizmie człowieka do lignianów typowych dla ssaków. Charakteryzują się one aktywnością fitoestrogenną. Właściwości te skutkują możliwością wykorzystania ich w terapii objawów menopauzalnych, raka

czy chorób serca (24). Wstępują w całych ziarniakach zbóż. Substancje te w ścianach komórkowych tworzą strukturalne bloki lignin. Ich źródłem są głównie rośliny zbożowe, a także nasiona lnu, owoce i warzywa (6, 56). Substancje te występują również w roślinach jako diglikozydy z dwoma resztami glukozowymi, przyłączonymi do grupy OH- pierścienia fenolowego lub łańcuchów bocznych. Jak podaje *Bingham i in.* (6) poziom lignianów w moczu wzrasta w sposób istotny po spożyciu posiłku zawierającego te substancje.

Alkilorezorcynole – uznane w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku za substancje nieporządane w ziarnie paszowym, a wręcz szkodliwe dla zwierząt monogastrycznych. W dzisiejszych czasach budzą duże zainteresowanie jako składnik bioaktywny żywności (7). Do najbardziej przebadanych i najlepiej poznanych należą alkilorezorcynole ziarna zbóż – pszenicy i żyta (38, 52, 62, 63). Ich zawartość w ziarnie zależy nie tylko od gatunku zboża ale również od technologii produkcji i odmiany (tab. 4). Według danych literaturowych ich zawartość w ziarnie zbóż mieści się w różnych przedziałach (tab. 5). Substancje te są pochodzenia roślinnego (36). Są one pochodnymi 1,3 dihydroksy-5-n-alkilobenzenu, a więc orcyny. Alkilorezorcynole są niezbędne do wzrostu, adaptacji, a także obrony roślin przed patogenami (7, 29).

Tabela 4

Zawartość alkilorezorcynoli w ziarnie pszenżyta ozimego w zależności od technologii produkcji oraz odmiany ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Lata badań/ Czynniki doświadczenia		Technologia produkcji	
		Integrowana	Intensywna
Rok	2011	287b	316ab
	2014	327ab	356a
Odmiana	Pigmej	331ab	353a
	Pizzaro	284b	319ab
Średnia		307b	336a

Źródło: Jaśkiewicz i Szczepanek, 2016 (29)

Po raz pierwszy w zbożach zostały one wyizolowane z otrąb pszennych (65). W kolejnych badaniach *Wierning* (66) odkryto takie same substancje w ziarnie żyta. Do cech charakterystycznych alkilorezorcynoli należy występowanie w aromatycznym pierścieniu, w pozycji 5, bocznego łańcucha alkilowego o nieparzystej liczbie atomów węgla (34, 35). Łańcuch ten jest zazwyczaj nasycony, ale występują również homologi nienasycone lub posiadające dodatkową grupę tlenową (35). Alkilorezorcynole znajdują się wyłącznie w zewnętrznych warstwach ziarniaka (7). Według *Tłusćika i in.* (61) część zarodkowa oraz bielmo są całkowicie pozbawione alkilorezorcynoli. W ziarnie żyta zawartość tych substancji waha się w granicach 360 mg/kg do 2180 mg/kg (13, 54) i jest ona na najwyższym poziomie w porównaniu do pozostałych gatunków zbóż.

Do tej pory w niewielkim stopniu poznano rolę alkilorezorcynoli w aktywności biologicznej i regulacji procesów fizjologicznych czy przemian metabolicznych. Wiadomo, że regulują procesami wzrostu komórkowego, hamują syntezę DNA i RNA, zaburzają aktywność enzymatyczną białek, oddziałują z błonami biologicznymi i regulują procesami utleniania lipidów. Wykazano również, że posiadają właściwości antymutagenne, antibakteryjne ale również grzybobójcze i cytotoksyczne. Zaliczane są do jednych z najbardziej skutecznych substancji zapobiegających chorobom nowotworowym czy chorobie niedokrwiennej serca. Opóźniają procesy starzenia (7).

Tabela 5

Zawartość alkilorezorcynoli w ziarnie podstawowych gatunków zbóż

Gatunek	Zawartość alkilorezorcynoli (mg·kg ⁻¹)
Pszenica	530-890
	620-670
	600
	406-712
	317-655
	489-642
	672-943
	268-674
	426-697
	386-668
Pszenżyto	660-950
	720
	394-1145
	294-357
	439-647
	381-706
Żyto	991
	360-1790
	1010-1240
	1140-2180
	1188-1238
	867-1424
	720-761
	1058-1152
	752-934

Tabela 5 cd.

Jęczmień	100
	121-152
	42-51
	41-74
	32-103
	47-119

Źródło: Boros, 2015 (7)

Benzoksazynoidy – występują powszechnie wśród gatunków jednoliściennych (m. in. u kukurydzy, pszenicy, żyta i dzikich gatunków jęczmienia). Są to metabolity wtórne, które pełnią wiele istotnych funkcji obronnych i adaptacyjnych: działają bakteriobójczo, grzybobójczo, allelopatycznie, ograniczają rozwój i liczbę jaj pasożytniczych nicieni (16, 46). Zostały one stosunkowo niedawno zidentyfikowane w życie i wypiekach z tego gatunku zboża. Poszczególne związki z tej grupy charakteryzują się właściwościami farmakologicznymi oraz prozdrowotnymi, ale również antydrobnoustrojowymi, antyalergicznymi, przeciwzapalnymi czy przeciwrakowymi (24).

Karotenoidy – są to związki nadające żółtą, pomarańczową i czerwoną barwę owocom, warzywom i ziarniakom niektórych zbóż. Związki te charakteryzują się cennymi właściwościami biologicznymi (17). Dzieli się je na dwie podstawowe grupy: karoteny – które zawierają w cząsteczce 11 sprzężonych wiązań podwójnych, ksantofile – zawierają w cząsteczce tlen w formie grup karbonylowych, epoksydowych i hydroksylowych. Karotenoidy to główne substancje barwne ziarniaków zbóż. Według literatury (32) występują w małych ilościach we wszystkich częściach anatomicznych ziarniaków, głównie w zarodkach. Do podstawowych barwników pszenicy zaliczana jest żółta luteina, a także jej mono- i diestry z kwasami tłuszczowymi. Jak podaje Konopka i in. (32) zawartość karotenoidów w bielmie skrobiowym pszenicy jarej wynosi około $3,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, a w ozimej $2,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. W ziarnie żyta frakcja karotenoidów składa się z α -karotenu, poli-cis-likopeny B, luteiny, epoksydów ksantofili (5,6-epoksyluteiny) oraz taraksantyny, która zlokalizowana jest głównie w zarodku, a jej ilość waha się od $2,8$ do $7,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (67). Natomiast w ziarnie owsa stwierdzono występowanie 5,6-epoksyluteiny i taraksantyny (19).

Flawonoidy – to związki, które w swojej cząsteczce zawierają układ difenylopropanowy złożony z dwóch pierścieni benzoesowych. Powszechnie występują w roślinach, przy czym różnią się względem struktury i właściwości. Związki te charakteryzują się wieloma prozdrowotnymi właściwościami farmakologicznymi i biologicznymi. W literaturze (33, 53) autorzy wskazują na działania przeciwzapalne, przeciwalergiczne, przeciwzakrzepowe, przeciwwirusowe oraz przeciwnowotworowe, przeciwtleniające, diuretyczne, detoksykacyjne. Substancje te mają zdolność modyfikowania enzymów odpowiedzialnych za

działanie immunologiczne, kancerogenezę i transformacje komórkowe (67). Jak podaje Rybka i in. (53) wiele flawonoidów hamuje preoksydację lipidów, poprawia czynność śródbłónka naczyniowego, hamuje agregację płytek krwi i napięcie mięśni otaczających tętnice w chorobach układu naczyniowego. W ziarniakach zbóż związki te występują w bardzo małych ilościach, a ich obecność została potwierdzona głównie w okrywie owocowo-nasiennej, komórkach aleuronowych, łusce (owsa) ale również w niektórych przypadkach w zarodku (19). Spośród gatunków zbóż jedynie jęczmień zawiera większe ilości flawonoidów, są to głównie katechiny oraz proantocyjanidyny (2, 59). Głównym polifenolem, który występuje w ziarnie pszenicy wyizolowanym już w latach 30 ubiegłego wieku jest trycyna (4). Gryka w odróżnieniu do podstawowych gatunków zbóż zdecydowanie wyróżnia się większą zawartością flawonoidów (27, 69). Zieliński i in. (69) wskazują, że w łusce gryczanej występuje 6 flawonoidów: rutyna, kwercetyna, orientyna, izorientyna, witeksyna oraz izowiteksyna, których zawartość może wynosić nawet 740 mg/kg suchej masy. Natomiast w kaszy gryczanej obecna jest jedynie rutyna i izowiteksyna w ilościach 188 mg/kg suchej masy.

Sterole roślinne – uznane są za bioaktywne składniki nie odżywcze o udowodnionych właściwościach prozdrowotnych, ale także o stwierdzonym niekorzystnym oddziaływaniu na organizm człowieka. Sterole zaliczane są do zróżnicowanej grupy roślinnych metabolitów wtórnych obecnych m. in. w orzechach, owocach i nasionach (24). Fitosterole występują zazwyczaj w postaci wolnej lub zestryfikowanej. Są one strukturalnymi i funkcjonalnymi analogami cholesterolu, syntetyzowanymi przez rośliny. Wchodzą w skład błon komórkowych roślin, zmniejszają płynność ich warstwy powierzchniowej. Są to 28- lub 29-węglowe wielopierścieniowe alkohole (4, 39). Sterole mają układ wielopierścieniowy taki jak cholesterol, z jedną grupą wodorotlenową. Różnica w ich budowie dotyczy łańcucha bocznego. Mogą one zawierać dodatkowo jedno lub dwa wiązania podwójne w tym łańcuchu, a także są bogatsze o grupę metylową lub estrową (39). W stanie naturalnym związki te występują w postaci wolnej oraz jako sterolowe lub stanolowe estry kwasów tłuszczowych, kwasu hydroksycynamonowego, glukozy oraz glikolipidów. Sterole roślinne mają status bezpiecznych i oświadczenia zdrowotne zawierające odwołania do korzystnego wpływu steroli na zdrowie człowieka są akceptowane dla różnych produktów przez FDA jak i EFSA. Według literatury zaledwie 15% steroli jest przyswajalnych z jelit, przez co aktywne stężenie w organizmie jest niskie (24). Dotychczas poznano blisko 40 form fitosteroli roślinnych, z których najlepiej znane i najczęściej spotykane są: sitosterol i sitostanol, kapesterol i kampestanol oraz stigmasterol, swą budową najbardziej podobne do pierścienia cholesterolowego (21, 22, 40 42). Sterolami roślinnymi nazywa się wszystkie związki zaliczone do tej grupy, jednak tak naprawdę sterolami są związki nienasycone, czyli posiadające w swym pierścieniu podwójne wiązania, natomiast stanolami ich formy nienasycone, bez podwójnych wiązań. Dość powszechnie fitosterole występują w produktach roślinnych, jednak ich ilość jest bardzo mała. Największe ilości tych związków stwierdza się w olejach roślinnych,

roślinach strączkowych, sezamie, słoneczniku i innych nasionach. Śladowe ilości zawierają warzywa, owoce oraz produkty zbożowe z pełnego przemiału (tab. 6). Do organizmu wraz z dietą możliwe jest dostarczenie zaledwie 200-400 mg fitosteroli. Jest to zdecydowanie zbyt mało aby zredukować skutecznie cholesterol frakcji LDL.

Zarówno sterole jak i stanole są słabo rozpuszczalne w tłuszczach i nierozpuszczalne w wodzie (23).

Tabela 6

Zawartość głównych fitosteroli i fitostanoli ogółem w niektórych produktach zbożowych (mg/100 g s.m.)

Materiał		β -Sitosterol	Kampesterol	Stigmasterol	Stanole	Suma
Pszenica	Zarodki pszenne	230,4	93,9	3,2	16,8	344,3
	Otręby	99,0	36,4	7,2	-	142,6
	Mąka pszenna	18,9	4,7	4,4	0,1	28,1
Żyto	Otręby	42,0	14,0	2,4	11,0	69,4
	Mąka żytnia	48,1	17,0	3,3	18,3	86,7
Owies	Otręby	36,3	6,3	1,7	2,0	46,3
	Mąka owsiana	28,0	5,0	-	3,0	36,0
Jęczmień	Mąka jęczmienna	32,8	12,7	1,9	-	47,4
Gryka	Mąka gryczana	26,0	8,8	2,2	14,5	51,5

Źródło: Bryngelsson i in., 2015; Parke, 1999; Quilez i in., 2003; Zieliński i in., 2012 (8, 49, 51, 67)

Na świecie w przetwórstwie żywności obserwuje się tendencje, które zmierzają w kierunku szerszego wykorzystania składników wartościowych z żywieniowego punktu widzenia w produktach powszechnie konsumowanych m. in. w pieczywie. Proponowane jest zwiększenie spożycia produktów zbożowych produkowanych z całego ziarna, gdzie występuje znaczny udział błonnika pokarmowego, witamin, składników mineralnych i przeciwutleniaczy.

Podsumowanie

Ziarno zbóż jest bogatym źródłem substancji biologicznie aktywnych. Substancjami tymi są błonnik pokarmowy, związki fenolowe, w tym kwasy fenolowe i alkilorezorcynole. W ziarniaku związki te zlokalizowane są w największych ilościach w okrywie owocowo-nasiennej i warstwie aleuronowej. Niektóre substancje bioaktywne działają jako naturalne przeciwutleniacze, a ich obecność w organizmie

zapobiega wielu chorobom cywilizacyjnym. Ze względu na ich lokalizację w ziarniaku konsumenci powinni wybierać produkty pełnoziarniste. Zawartość składników bioaktywnych w ziarnie zbóż jest cechą odmianową, uwarunkowaną genetycznie jednakże w różnym stopniu modyfikowaną warunkami siedliskowymi i czynnikami agrotechnicznymi.

Literatura

1. Andersen M. F., Christensen L. P., Meyer A. S., Hansen A.: Release of hydrocinnamic and hydrobenzoic acids in rye by commercial plant cell wall degrading enzyme preparations, *J. Sci. Food Agric.*, 1999, **79**: 411-413.
2. Andlauer W., Frust P.: Antioxidative power of phytochemicals with special reference to cereals, *Cereals Foods World*, 1998, **5**: 356-360.
3. Badowski P., Urbanek-Karłowska B.: Fitoestrogeny – występowanie w żywności. *Roczniki PZH*, 2001, **52(3)**: 203-2012.
4. Batta A. K., Xu G., Honda A., Miyazaki T., Salen G.: Stigmasterol reduces plasma cholesterol level and inhibits hepatic synthesis and intestinal absorption in the rat, *Metab. Clin. Exp.*, 2006, **55**: 292-299.
5. Bengtsson S., Andersson R., Westerlund E., Aman P.: Content, structure and viscosity of soluble arabinoxylans in rye grain from several countries, *J. Sci. Food Agric.*, 1992, **58(3)**: 331-337.
6. Bingham S. A., Atkinson C., Liggins J., Bluck L., Coward A.: Phyto-oestrogens: where are we now?, *Br. J. Nutr.*, 1998, **79**: 393-406.
7. Boros D.: Alkilorezorcynole ziarna zbóż – ich znaczenie w żywności i paszy. *Biuletyn IHAR*, 2015, **277**: 7-20.
8. Bryngelsson S., Johnsson M., Normen L., Dutta P., Andersson H.: Plant sterols in cereals products. W: *Bioactive inositol phosphates and phytosterols in foods*, 1997, COST 916, Second Workshop, Goteborg: 131-134.
9. Chu K. O., Chan K. P., Wang C. C.: Green tea catechins and their oxidative protection in the rat eye. *J. Agri. Food Chem.*, 2010, **58(3)**: 1523-1534.
10. Covas M. I.: Bioactive effects of olive oil phenolic compounds in humans: reduction of heart disease factors and oxidative damage, *Inflammopharmacology*, 2008, **16(5)**: 216-218. |
11. Czaban J., Sułek A., Pecio Ł., Żuchowski J., Podolska G.: Effect of genotype and crop management systems on phenolic acid content in winter wheat grain, *J. Food, Agriculture & Environment*, 2013, **11(3&4)**: 1201-1206.
12. Devlin J. P. A., Hargrave K. D.: Pulmonary and antiallergic drugs; design and synthesis. W: *Pulmonary and Antiallergic Drugs*, Devlin J.P.A. (red.), Wiley, Chichester, 1985.
13. Evans L. E., Dedio W., Hill R.D.: Variability in the alkylresorcinol content of rye grain. *Can. J. Plant Sci.*, 1973, **53**: 485-488.
14. Fardet A.: New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre? *Nutr. Res. Rev.*, 2010, **23**: 65-134.
15. Fresco, P.; Borges, F.; Marques, M. P.M.; Diniz, C.: The Anticancer Properties of Dietary Polyphenols and its Relation with Apoptosis, *Current Pharmaceutical Design*, 2010 **16(1)**: 114-134.
16. Frey M., Schullehner K., Dick R., Fiesselmann A., Gierl A.: Benzoxazinoid biosynthesis, a model for evolution of secondary metabolic pathways in plants, *Phytochem.*, 2009, **70**: 1645-1651.
17. Gajek W. (red.): *Przeciwutleniacze w żywności – aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne*, WNT, Warszawa, 2007.

18. Gąsiorowski H. (red): Żyto: chemia i technologia, PWRiL, Poznań, 1994.
19. Gąsiorowski H. (red.): Jęczmień – chemia i technologia, PWRiL, Poznań 1997.
20. Graf F.: Antioxidant potential of ferulic acid, *Free Rad Biol Med.*, 1992, **13**: 435-448.
21. Gylling H., Hallikainen M., Nissinen M. J., Simonen P., Miettinen T. A.: Very high plant stanol intake and serum plant stanols and non-cholesterol sterols, *Eur. J. Nutr.*, 2010, **49**: 111-117.
22. Gylling H., Hallikainen M., Nissinen M., Miettinen T. A.: The effect of very high daily plant stanol ester intake on serum lipids, carotenoids, and fat-soluble vitamins, *Clin. Nutr.*, 2010, **29**: 112-118.
23. Gylling H., Miettinen T. A.: Plants sterols in nutrition. *Scand. J. Nutr.*, 2000, **44**: 155-157.
24. Harasym J.: Wybrane substancje bioaktywne obecne w ziarnie żyta, *Przegląd Zboż.-Młyn.*, 2015, **4**: 5-7.
25. Härkönen H., Pessa E., Suortti T., Poutanen K.: Distribution and some properties of cell wall polysaccharides in rye milling fractions, *J. Cereal Sci.*, 1997, **26**: 95-104.
26. Henry R. J.: Pentosan and (1-3),(1-4)-beta-glucan concentrations in endosperm and whole grain of wheat, barley, oats and rye, *J. Cereal Sci.*, 1987, **6**: 253-258.
27. Holasova M., Fiedlerowa V., Smrcinova H., Orsak M.: Buckwheat – the source of antioxidant activity in functional foods, *Food Res. Int.*, 2002, **35**: 207-211.
28. Jasińska I., Kołodziejczyk P., Michniewicz J.: Ziarno żyta jako potencjalne źródło składników prozdrowotnychw diecie. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2006, **2(47)**: 85-92.
29. Jaśkiewicz B., Szczepanek M.: Crop management and variety have influence on alkyloresolcinol content in triticale grain, *Acta Agric. Scan., Section B*, 2016, **66**: 570-574.
30. Karamač M., Amarowicz R., Weider S.: Anioxidant activity of rye caryopses and embryoes extracts, *Czech J. Food Sci.*, 2001, **20(6)**: 209-214.
31. Knight D. C., Eden J. A.: Phytoestrogens – a short review, *Maturitas*, 1995, **22**: 167-175.
32. Konopka I., Czaplicki S., Rotkiewicz D.: Differences in content and composition of fee lipids and carotenoids in flour of spring and winter wheat cultivated in Poland, *Food Chem.*, 2006, **95**: 290-300.
33. Kozłowska K., Troszyńska A.: Rola naturalnych substancji nieodżywczych pochodzenia roślinnego jako składników żywności funkcjonalnej, *Żywność. Technologia. Jakość*, 1999, **4(21)**: 63-74.
34. Kozubek A., Tylman J. H. P.: Cereals grain resorcinolic lipids: mono and dirnoic homologues are present in rye grains, *Chem. Phys. Lipid.*, 1995, **78**: 29-35.
35. Kozubek A., Tylman J. H. P.: Resorcinolic lipids, the natural non-iso-prenoid phenolic amphiphiles and their biological activity, *Chem. Rev.*, 1999, **99**: 1-25.
36. Kozubek A., Pietr S., Czerwonka A.: Alkyloresorcinols are abundant lipid component in *Azotobacter* and *Pseudomonas* strains, *Journal Bacteriol*, 1996, **178**: 4027-4030.
37. Kris-Etherton P. M., Hacker K. D., Bonanome A., Coval, A.E., Binkoski, K.F., Hilpert-Griel, A.E., Etherton, T.D.: Bioactive compounds in food: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer, *Am. J. Med.*, 2002, **113**: 71-88.
38. Kulawinek M., Jaromin M., Kozubek A., Żarnowski R.: Alkylresorcinols in selected Polish rye and wheat cereals and whole-grain cereal products, *J. Food Chem.*, 2008, **56**: 7236-7242.
39. Lagarda M. J.: Analysis of phytosterols in food, *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 2006, **41**: 1486-1496.
40. Law M.: Plant sterol and stanol margarines and health. *BMJ*, 2000, **320**: 861-864.
41. Lempereur I., Rouaur X., Abecassis J.: Arabinoxylan and ferulic acid variation in durum wheat (*Triticum durum*) and distribution in miling fractions, *J. Cereal Sci.*, 1997, **25**: 103-107.
42. Marangoni F., Poli A.: Phytosterols and cardiovascular health, *Pharm. Res.*, 2010, **61**: 193-199.
43. Michniewicz J., Gąsiorowski H.: Beta-glukany zbożowe I ich rola w przemyśle I żywieniu człowieka, *Postępy Nauk Rolniczych*, 1994, **1(247)**: 41-49.
44. Michniewicz J.: Pentozany w technologii zbóż, *Roczniki AP w Poznaniu*, 1995: ss. 261.

45. Mpofu A., Sapirstein H. D., Beta T.: Genotype and Environmental Variation in Phenolic Content, Phenolic Acid Composition, and Antioxidant Activity of Hard Spring Wheat, *J. Agric. Food Chem.*, 2006, **54(4)**, 1265-1270
46. Niemeyer H. M.: Hydroxamic acids derived from 2-Hydroxy-2H-1,4-Benzoxazin-3(4H)-one: Key defense chemicals of cereals, *J. Agric. Food Chem.*, 2009, **57**: 1677-1696.
47. NIH, Office of Dietary Supplements Federal Register, **69, 179**, FR Dec 04-20892.
48. Nilsson M., Aman P., Harkonen H., Hallmans G., Knudsen K. E. B., Mazur W., Adlercreutz H.: Content of nutrients and lignans in roller milled fractions of rye, *J. Sci Food Agric.*, 1997, **73**: 143-148.
49. Parke D. V.: Nutritional antioxidants and disease prevention: mechanisms of action. W: *Antioxidants in Human Health and Disease*, 1999, Wallingford, UK: 1-13.
50. Piłat B., Zadernowski R.: Substancje bioaktywne pozytywne i negatywne skutki dodawania do żywności, *Przem. Spoż.*, 2017, **71**: 24-27.
51. Quilez J., Garcia-Lorda P., Salas-Salvado J.: Potential uses and benefits of phytosterols in diet: present situation and future directions, *Cili. Nutr.*, 2003, **22 (4)**: 343-351.
52. 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
53. Rybka K., Sitarska J., Raczyńska-Bojanowska K.: Feluric acid in rye and wheat grain and grain dietary fiber, *Cereal Chem.*, 1993, **70(1)**: 55-59.
54. Sałek M.: Oznaczanie zawartości 5-alkilresorcyn w ziarnie i produktach przemiału żyta. *Roczniki PZH*, 1978, **29**: 205-211.
55. Shepard M. J., Schupphaus M., Sinclair V., Alfaro B., Kamal-Eldin A., Aman P.: Alkylresorcinols in cereals and cereals products, *J. Agri. Food Chem.*, 2003, **51**: 4111-4118.
56. Strauss L., Santti R., Saarinen N., Streng T., Joshi S., Makela S.: Dietary phytoestrogens and their role in hormonally dependent disease, *Toxicol. Let.*, 1998, **102-103**: 349-354.
57. Sułek A.: Właściwości prozdrowotne wybranych substancji bioaktywnych obecnych w ziarnie zbóż, Aplikacyjne i teoretyczne i teoretyczne problemy w przemyśle rolno-spożywczym – postęp naukowo-technologiczny, 2016, **465**: 317-328.
58. Świdorski F., Kołanowski W.: Żywność funkcjonalna i dietetyczna. W: *Żywność wygodna i żywność funkcjonalna*, WNT, Warszawa, 1999: 28.
59. Tamagawa K., Izuka S., Ideka A., Koike H.: Antioxidative activity of proanthocyanidins isolated from barley bran, *J. Jap. Society Food Sci. Tech.*, 1999, **46**: 106-110.
60. Thompson L. U.: Potential health benefits of whole grains and their components, *Contemp. Nutr.*, 1992, **17**: 1-2.
61. Tłuścik F., Kozubek A., Mejbaum-Katzenellebogen W.: Alkylresorcinols in rye (*Secale cereale*L.) grains. VI. Colorimetric micromethod for the determination of alkylresorcinols with the use of diazonium salt, *Fast Blue B. Acta Soc. Bot. Polon.*, 1981, **50**: 645-651
62. Verdeal K., Lorenz K.: Alkylresorcinols in wheat, rye and triticale, *Cereal Chem.* 1977, **54**: 475-483.
63. Vinkx C. J. A., Delcour J. A.: Rye (*Secale cereal* L.) arabinoxylans: a critical review, *J. Cereal Sci.*, 1996, **24**: 1-14.
64. Weider S., Amarowicz R., Karamać M., Frączek E.: Changes in endogenous phenolic acids during development of *Secale cereale* cartopses and after dehydration treatment of unripe rye, *Plant Physiol. Biochem.*, 2000, **38**: 595-602.
65. Wenkert E., Loeser E. M., Mahapatra N., Schenker F., Wilson E. M.: Wheat grain phenols, *J. Org. Chem.*, 1964, **29**: 435-439.
66. Wieringa G. W. On occurrence of growth inhibiting substances in rye, *Ins. Storage Proc. Agric. Prod., Wageningen, Netherlands*. 1967, **156**.

-
67. Zieliński H., Achremowicz B., Przygocka M.: Przeciwutleniacze ziarniaków zbóż, Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 2012, **1(80)**: 5-26.
 68. Zieliński H., Ceglińska A.: Wpływ obróbki mechanicznej na zawartość przeciwutleniaczy w ziarniakach zbóż. W: Przeciwutleniacze w żywności – aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne, W. Gajek (red.), WNT, Warszawa 2007: 467-470.
 69. Zieliński H., Michalska A., Amigo-Benavent M., del Castillo M. D., Piskula M. K.: Changes in protein quality and antioxidant properties of buckwheat seeds and groats induced by roasting, J. Agric. Food Chem., 2009, **57**: 771-776.
-

Adres do korespondencji:

dr Marta Wyzińska
dr hab. Jerzy Grabiński, prof. IUNG-PIB
Zakład Uprawy Roślin Zbożowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 814, 81 4786 811
e-mail: mwyzinska@iung.pulawy.pl
jurek@iung.pulawy.pl

