

Skrajda Marta Natalia, Konopka Iwona Zofia. Związek między profilem składników bioaktywnych a potencjałem antyoksydacyjnym ziarna w zależności od gatunku pszenicy i warunków uprawy = The relationship between profile of bioactive compounds and antioxidant potential of grain depending on the species of wheat and growing conditions. Journal of Education, Health and Sport. 2016;6(7):309-318. e-ISSN 2391-8306. DOI <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.57878>  
<http://ojs.ukw.edu.pl/index.php/johs/article/view/3691>

The journal has had 7 points in Ministry of Science and Higher Education parametric evaluation. Part B item 755 (23.12.2015).  
755 Journal of Education, Health and Sport e-ISSN 2391-8306 7

© The Author(s) 2016;

This article is published with open access at Licensee Open Journal Systems of Kazimierz Wielki University in Bydgoszcz, Poland

Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited. This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.

This is an open access article licensed under the terms of the Creative Commons Attribution Non Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted, non commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the work is properly cited.

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this paper.

Received: 15.06.2016. Revised 09.07.2016. Accepted: 09.07.2016.

# ZWIĄZEK MIĘDZY PROFILEM SKŁADNIKÓW BIOAKTYWNYCH A POTENCJAŁEM ANTYOKSYDACYJNYM ZIARNA W ZALEŻNOŚCI OD GATUNKU PSZENICY I WARUNKÓW UPRAWY

## The relationship between profile of bioactive compounds and antioxidant potential of grain depending on the species of wheat and growing conditions

Marta Natalia Skrajda, Iwona Zofia Konopka

Katedra Przetwórstwa i Chemii Surowców Roślinnych  
Wydział Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
Katedra Przetwórstwa i Chemii Surowców Roślinnych  
Pl. Cieszyński 1, 10-726 Olsztyn  
e-mail: [marta.skrajda@uwm.edu.pl](mailto:marta.skrajda@uwm.edu.pl)

### Streszczenie

**Wprowadzenie i cel pracy:** Ziarno pszenicy, będące głównym surowcem zbożowym na świecie, zawiera szereg małocząsteczkowych związków o właściwościach prozdrowotnych. Celem pracy było scharakteryzowanie głównych związków bioaktywnych pszenicy oraz czynników wpływających na ich akumulację.

**Skrócony opis stanu wiedzy:** Małocząsteczkowe związki bioaktywne stanowią nawet do 2% masy ziarniaka pszenicy. Zalicza się do nich związki fenolowe (głównie kwas ferulowy), sterole (głównie  $\beta$ -sitosterol), tokole (głównie  $\alpha$ -tokoferol i  $\beta$ -tokotrienol), karotenoidy (głównie luteina) oraz lipidy fenolowe znane jako alkilorezorcynole. Związki te tworzą potencjał antyoksydacyjny pszenicy, który według danych literaturowych mieści się w zakresie od 1  $\mu\text{mol TE g}^{-1}$  do 140  $\mu\text{mol TE g}^{-1}$ . Różnice te zależą od odmiany, warunków środowiskowych, miejsca uprawy oraz interakcji między czynnikami środowiskowymi oraz genotypem.

**Podsumowanie:** Na całym świecie podejmowane są próby określenia czynników determinujących koncentrację związków biologicznie aktywnych w ziarnie pszenicy.

Uzyskiwane wyniki wciąż są jednak niejednoznaczne. Wskazuje się, że każdy składnik może reagować inaczej na warunki środowiskowe, przez co istnieje możliwość optymalizacji zawartości tych składników poprzez odpowiednią modyfikację warunków uprawy.

**Słowa kluczowe:** pszenica, aktywność antyoksydacyjna, związki bioaktywne, genotyp.

## Abstract

**Introduction and aim:** Food of plant origin contains a number of compounds with health-promoting properties. Wheat grain, which is the principal raw material grain throughout the world, is a good source of antioxidants. The aim of the study was to characterize the main bioactive compounds wheat and factors affecting their accumulation.

**Brief description of the state of knowledge:** Antioxidants in wheat grains account for as much as 2% of the kernel weight. Both hydrophilic and hydrophobic forms are included in this group. They include phenolic compounds (mainly ferulic acid), sterols (mainly  $\beta$ -sitosterol), tocopherols (mainly  $\alpha$ -tocopherol and  $\beta$ -tocotrienol), carotenoids (mainly lutein) and phenolic lipids known as alkylresorcinols. These compounds provide the antioxidant potential of wheat, which, according to the literature data, falls within the range from 1  $\mu\text{mol TE g}^{-1}$  to 140  $\mu\text{mol TE g}^{-1}$ . These differences depend on the variety, environmental conditions, place of cultivation and the interactions between environmental factors and the genotype.

**Summary:** All over the world, attempts are being made to identify factors determining the concentration of biologically active compounds in wheat. However, the obtained results are still inconclusive. Researchers have found that each component may react differently to environmental conditions, which allows them to see the possibility for the optimisation of the content of these components through the proper modification of environmental conditions.

**Key words:** wheat, antioxidant activity, phytochemicals, genotype.

## Wprowadzenie

Pszenica jest jednym z głównych surowców zbożowych na świecie i pełni niezwykle ważną rolę w żywieniu człowieka (Nurmi i in. 2008). Według danych COBORU (2015) w Polsce zarejestrowanych jest 125 odmian pszenicy zwyczajnej (*T. aestivum*), w tym 95 ozimej i 30 jarej, 2 odmiany pszenicy orkisz (*T. aestivum L. ssp. spelta*) oraz 1 odmiana pszenicy durum (*T. durum*). Na uwagę zasługują także stare odmiany pszenicy, do których zaliczamy samopszę (*T. monococcum L.*) oraz płaskurkę (*T. dicoccum L.*). Zboża te są lepiej przystosowane do trudnych warunków uprawy, takich jak słabe gleby czy niedobory wody. Z tego powodu są rekomendowane do uprawy ekologicznej (Engert i Honermeier 2011). Pomimo ograniczonej dostępności zwiększa się zainteresowanie konsumentów żywnością produkowaną z ziarna płaskurki, samopszy oraz orkisz (Ziegler i in. 2016). Najbardziej wartościowe są przetwory z pełnego przemiału bogate w błonnik i małowcząsteczkowe związki bioaktywne. Dane epidemiologiczne wskazują, że spożycie pełnoziarnistych produktów zbożowych obniża ryzyko występowania niezakaźnych chorób przewlekłych (Poutanen i in. 2008). W kontekście zdrowia publicznego najważniejsze z nich to otyłość, syndrom

metaboliczny, cukrzyca typu drugiego, choroby sercowo-naczyniowe (Cardio Vascular Disease – CVD) oraz nowotwory. Wykazano, że spożywanie pełnoziarnistych produktów zbożowych może obniżać śmiertelność związaną ze stanami zapalnymi, nowotworami oraz CVD (Fardet 2010). Ziarna zbóż są dobrym źródłem błonnika pokarmowego, witamin, minerałów oraz związków biologicznie aktywnych (Ward i in. 2008). Ziarno pszenicy zawiera co najmniej 2% związków biologicznie aktywnych, innych niż błonnik pokarmowy (Fardet 2010). Związki te znajdują się głównie w zewnętrznych warstwach ziarniaka (aleuronowej, okrywie owocowo-nasiennej oraz zarodku) (Di Silversto i in. 2012). Coraz więcej dowodów wskazuje na to, że korzyści zdrowotne wynikające ze spożycia produktów zbożowych związane są z naturalnie występującymi w nich hydrofilnymi oraz lipofilnymi antyoksydantami. Zalicza się do nich związki fenolowe (głównie kwas ferulowy), sterole (głównie  $\beta$ -sitosterol), tokole (głównie  $\alpha$ -tokoferol i  $\beta$ -tokotrienol), karotenoidy (głównie luteina) (Shewry i Ward 2012; Chen i in. 2015) oraz lipidy fenolowe znane jako alkilorezorcynole (Lv i in. 2015; Lachman i in. 2013).

### **Cel pracy**

Celem pracy było scharakteryzowanie małocząsteczkowych związków bioaktywnych występujących w ziarnie pszenicy takich jak: związki fenolowe, alkilorezorcynole, sterole, tokole oraz karotenoidy oraz opisanie wpływu odmiany oraz warunków uprawy na akumulację tych związków, a także potencjał antyoksydacyjny ziarna pszenicy.

### **Związki bioaktywne ziarna pszenicy**

Pełnoziarniste produkty zbożowe są bogatym źródłem związków polifenolowych, głównie kwasów fenolowych takich jak: ferulowy, sinapowy, p-kumarowy, kawowy, wanilinowy i syringowy (Fardet i in. 2008). Są one pochodnymi kwasu benzoowego oraz cynamonowego, wytwarzanymi w szlaku kwasu szikimowego (Bondia-Pons i in. 2009). Dominującym kwasem jest ferulowy, który stanowi ok. 90% ich ogółu (Konopka i in. 2014, Mazzoncini i in. 2015). Mogą występować w formie wolnej, skoniungowanej lub związanej, jednak dominują wiązania estrowe z polisacharydami ścian komórkowych (Vaher i in. 2010). Zawartość i skład kwasów fenolowych jest zależna od wielu czynników, takich jak gatunek, odmiana, warunki uprawy (czas siewu, technologia uprawy, sposób nawożenia, strategia ochrony roślin, miejsce uprawy oraz warunki klimatyczne) oraz część morfologiczna ziarna (Andersson i in. 2014, Mazzoncini i in. 2015). W badaniach Mpofo i in. (2006) wykazano większy wpływ czynników środowiskowych niż genetycznych na zawartość związków fenolowych. Badacze ci wykazali, że aż 96% wariacji w obrębie zawartości związków fenolowych jest wynikiem interakcji Środowisko x Genotyp. Z kolei Li i in. (2008) w ramach projektu HEALTHGRAIN określili różnice w zawartości kwasów fenolowych w zależności od odmiany. Najwyższą zawartość tych związków spośród wszystkich genotypów oznaczono w pszenicach zwyczajnych chlebowych (do 1171  $\mu\text{g/g}$ ), przy dużej zmienności międzyodmianowej (>3.5-krotne różnice zawartości). W pszenicach orkisz zmienność ta była najniższa (1.9-krotna), a ilość mieściła się w zakresie 382-726  $\mu\text{g/g}$ . Dla pozostałych pszenic te granice wynosiły 536–1086  $\mu\text{g/g}$  (durum), 449–816  $\mu\text{g/g}$  (samopsza) oraz 508–1161  $\mu\text{g/g}$  (płaskurka) (Shewry i in. 2013). Z kolei Belobrajdic i Bird (2013) wskazują na zakres 200-900  $\mu\text{g/g}$  kwasów fenolowych ogółem w ziarnie pszenicy. Korzyści zdrowotne kwasów fenolowych są powiązane z ich aktywnością antyoksydacyjną. Mogą one hamować oksydację lipoprotein o niskiej gęstości (LDL) oraz oksydację błon lipidowych i DNA (Andersson i in. 2014). W związku z tym, że ok. 90% kwasów fenolowych w ziarnie pszenicy występuje w formie związanej, nie są one wchłaniane w jelicie cienkim i docierają do jelita grubego w

stanie niezmiennym. Ich obecność w tym odcinku przewodu pokarmowego obniża ryzyko rozwoju raka jelita grubego (Fardet 2012, Vitaglione i in. 2015).

Alkilorezorcynole (AR) są związkami należącymi do grupy lipidów fenolowych. Są długołańcuchowymi pochodnymi orcynolu (1,3-dihydroksy-5-metylobenzen) o charakterze amfifilowym. Pod względem budowy składają się z pierścienia benzenowego z dwiema grupami hydroksylowymi w konfiguracji meta oraz łańcuchem alkilowym przyłączonym w pozycji 5 (Kozubek i Tyman 1995, 1999). Alkilorezorcynole posiadają wiele homologów łańcuchowych. Wyróżnia się wśród nich homologi nasycone, jednonienasycone, a także dwunienasycone. W każdej z tych grup występują homologi mające nieparzystą liczbę atomów węgla w łańcuchach alifatycznych – od 13 do 27 (Kozubek 1984). Zawartość tych składników w różnych odmianach pszenicy mieści się w granicach 300-700 mg/kg (Ameryka Północna) (Hengtrakul i in. 1990), 595-1429 mg/kg (kraje Europy Zachodniej) (Ross i in. 2001) oraz 200-1480 mg/kg (Szwecja) (Ross i in. 2001, Ross i in. 2003, Chen i in. 2004). Zawartość tych związków jest zależna od odmiany, warunków klimatycznych i nawożenia, jednak stosunek homologu C17:0 do C21:0 jest stały i wynosi 0.1 dla orkisz oraz pszenicy zwyczajnej, a dla pszenicy durum 0.01 (Andersson i in. 2010, Shewry i in. 2010). Ziegler i in. (2015) wykazali, że zawartość AR jest cechą zależną głównie od czynników genetycznych. Odmiany heksaploidalne (orkisz i pszenica chlebowa) miały wyższą koncentrację tych związków niż odmiany tetraploidalne durum, natomiast nie wykazano istotnych statystycznie różnic w koncentracji tych związków dla samopszy i płaskurki w porównaniu z wcześniej wymienionymi (Ziegler i in. 2015). Alkilorezorcynole ze względu na możliwość zmiatania wolnych rodników uważane są za związki mogące pełnić funkcję antyoksydantów *in vitro* (Lutharia i in. 2015). Badania Zhu i in. (2011 i 2012) na kulturach komórkowych (HCT-116 and HT-29) wykazały, że homologi AR C15:0 – C25:0 w koncentracji 5-50 mg/l wykazują właściwości inhibicyjne w stosunku do komórek raka jelita grubego. Homologi C15:0 oraz C17:0 mają ponadto aktywność hamowania kompleksu enzymów proteolitycznych komórki – jej proteasomu (Zhu i in. 2012). Informacje na temat aktywności AR *in vivo* są wciąż nie do końca poznane. Istnieją jednak badania pośrednio wskazujące na ich korzystne właściwości. W badaniach interwencyjnych prowadzonych przez Ross i in. (2012) stwierdzono spadek poziomu niezestryfikowanych kwasów tłuszczowych w osoczu po spożyciu produktów pełnoziarnistych bogatych w AR.

Fitosterole są grupą metabolitów wtórnych, do których zalicza się sterole oraz ich nasycone formy, czyli stanole (Andersson i in. 2014). W ziarnie pszenicy zawartość fitosteroli mieści się w bardzo szerokim zakresie od 344 do 2050  $\mu\text{g/g}$  ziarna (Onipe i in. 2015). Ich największą koncentrację stwierdzono w okrywie owocowo-nasiennej oraz w zarodku ziarniaka pszenicy. W badaniach Nurmi i in. (2008) wykazano zróżnicowanie zawartości fitosteroli w zależności od genotypu pszenicy. Ilość tych związków w poszczególnych gatunkach i formach pszenicy jest następująca: 670-959  $\mu\text{g/g}$  (pszenica ozima), 797-949  $\mu\text{g/g}$  (pszenica jara), 871-1106  $\mu\text{g/g}$  (pszenica durum), 893-963  $\mu\text{g/g}$  (pszenica orkisz), 976-1187  $\mu\text{g/g}$  (pszenica samopsza), 796-937  $\mu\text{g/g}$  (pszenica płaskurka). Dominującym związkiem zawsze jest  $\beta$ -sitosterol (około 50% ogółu), a następnie występują kampesterol, kampestanol oraz sitostanol (Nurmi i in. 2008). Fitosterole znane są z możliwości obniżania stężenia LDL-cholesterolu w osoczu poprzez hamowanie absorpcji w jelicie cienkim (Nurmi i in. 2008). Badania wskazują, że spożycie 2 - 2,5g fitosteroli dziennie skutkuje obniżeniem koncentracji LDL - cholesterolu o 10% (Katan i in. 2004; Baigent i in. 2010).

Kolejną grupą związków bioaktywnych ziarna pszenicy są tokole, na które składają się tokoferole oraz tokotrienole. Każda z tych grup występuje w postaci czterech homologów  $\alpha$ ,

$\beta$ ,  $\gamma$  i  $\sigma$  (Lampi i in. 2008; Lutharia i in. 2015). Średnia zawartość tokoli w ziarnie pszenicy mieści się w zakresie ok. 28 – 80  $\mu\text{g/g}$  ziarna (Lampi i in. 2008; Konopka i in. 2012). W badaniach Lampi i in. (2008) prowadzonych na odmianach pszenicy zwyczajnej (jarej i ozimej), durum, orkisz, samopszy i płaskurki nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy genotypami i formami pszenicy (Lampi i in. 2008). Pomimo relatywnie podobnej średniej zawartości tokoli w obrębie każdego gatunku pszenicy wykazano dużą zmienność wewnątrzgatunkową, mieszczącą się w granicach 1.3-2.9-krotności (Lampi i in. 2008). Hejtmankowa i in. (2010) wykazali natomiast dużą różnorodność, zarówno składu jak i ogólnej zawartości tokoli, między odmianami płaskurki, samopszy oraz pszenicy jarej. Dodatkowo badacze wykazali mniejszą koncentrację tych związków w pszenicy płaskurce i samopszy w porównaniu z pszenicą jarą (Hejtmankowa i in. 2010). Wśród tokoli dominują formy  $\alpha$  oraz  $\beta$  (Lampi i in. 2008, Okarter i in. 2010). Najważniejszą funkcją tokoli jest ich aktywność antyoksydacyjna. Jest ona związana z opóźnieniem etapu propagacji oksydacji lipidów. Działają one także jako wygaszacze tlenu singletowego oraz dezaktywują wolne rodniki (Lampi i in. 2008). Tokole obniżają ryzyko zachorowalności na nowotwory i choroby sercowo-naczyniowe (Tiwari i Cummins 2009).

Karotenoidy są grupą naturalnych żółto-pomarańczowych barwników. Zalicza się do nich karoteny, które zbudowane są tylko z atomów węgla i wodoru oraz ksantofile, które zawierają dodatkowo co najmniej jeden atom tlenu. W porównaniu z owocami oraz warzywami ziarno pszenicy zawiera małe ilości karotenoidów, jednak ze względu na stosunkowo duże spożycie jest cennym źródłem tych związków. Luteina jest głównym karotenoidem ziarna pszenicy, stanowiącym ok. 60-80 % całej puli tych związków. W mniejszych ilościach występują także zeaksantyna oraz  $\beta$ -karoten (Konopka i in. 2006, Anson i in. 2012, Lachman i in. 2013). Średnia zawartość karotenoidów w ziarnie pszenicy zwyczajnej mieści się w zakresie 0.70 -3.24  $\mu\text{g/g}$  (Di Silvestro 2012). Wyższe koncentracje zawiera pszenica durum (1.5 - 4.0  $\mu\text{g/g}$ ). Pszenica samopsza jest lepszym źródłem karotenoidów w porównaniu do płaskurki oraz pszenicy jarej (Lachman i in. 2013). Zawartość karotenoidów jest cechą silnie dziedziczną, a rok uprawy wpływa tylko w niewielkim stopniu (Lachman i in. 2013). Karotenoidy działają ochronnie na narząd wzroku. W badaniach epidemiologicznych skorelowano wysokie spożycie karotenoidów z mniejszym ryzykiem zwyrodnienia plamki żółtej. Luteina oraz zeaksantyna są głównymi pigmentami występującymi w plamce żółtej, gdzie poprzez wygaszanie wolnych rodników chronią oczy przed zmianami oksydacyjnymi.

### **Potencjał antyoksydacyjny pszenicy – wpływ warunków środowiskowych i genetycznych na akumulację związków bioaktywnych**

Potencjał antyoksydacyjny ziarna pszenicy mieści się w bardzo szerokim zakresie od 1  $\mu\text{mol TE g}^{-1}$  (Lavelli i in. 2009) do 140  $\mu\text{mol TE g}^{-1}$  (Chen i in. 2015). Różnice te zależą od odmiany, warunków środowiskowych, miejsca uprawy oraz interakcji między czynnikami środowiskowymi oraz genotypem (Fardet i in. 2008). Stwierdzono, że środowisko uprawy determinuje ok. 68–91% zmienności aktywności antyoksydacyjnej ziarna pszenicy (Lu i in. 2015). W warunkach stresu biotycznego lub abiotycznego, takiego jak promieniowanie UV, susza, ekstremalne temperatury, metale ciężkie, zanieczyszczenie powietrza, herbicydy, patogeny, w roślinie produkowane są reaktywne formy tlenu (ROS – Reactive Oxygen Species). Związki te są niezwykle toksyczne i powodują stres oksydacyjny. W wyniku ich działania następują zmiany kwasów nukleinowych, lipidów oraz białek wpływające na ich funkcjonalność. Roślina wykształciła mechanizmy obronne, którymi jest produkcja antyoksydantów – związków mających zdolność wygaszania ROS (Gil i Tuteja 2010). Lachman i in. (2012) badali poznanie genetycznej różnorodności w aktywności

antyoksydacyjnej pomiędzy płaskurką, samopszą oraz pszenicą chlebową. Aktywność antyoksydacyjna płaskurki mieściła się w zakresie 215 – 258 mg Trolox/kg, samopszy 150 – 256 mg Trolox/kg, a pszenicy chlebowej 196 – 210 mg Trolox/kg. Ziegler i in. (2016) przebadali 75 odmian pszenicy, należących do 5 gatunków pszenicy (pszenica chlebowa, durum, orkisz, samopsza, płaskurka) na zawartość antyoksydantów lipofilnych i wykazali największą ich koncentrację w ziarnie samopszy. Była ona jednak silnie determinowana przez lokalizację/warunki uprawy co daje możliwość produkcji żywności funkcjonalnej o zwiększonej wartości prozdrowotnej poprzez ukierunkowaną hodowlę (Ziegler i in. 2016). W badaniach Lu i in. (2015), prowadzonych na pszenicy ozimej (10 odmianach) wykazano znacznie większy wpływ środowiska (E), niż Genotypu (G), czy interakcji G x E na skład związków bioaktywnych i aktywność antyoksydacyjną. Wielkość wpływu E była największa dla tokoferoli (72%), związków fenolowych ogółem (43%) oraz dla kwasu ferulowego (40%). Zawartość oraz skład karotenoidów najbardziej była zależna od interakcji G x E (46%). W przekrojowych badaniach w ramach projektu HEALTHGRAIN określono wpływ genotypu m.in. na sterole, tokole, kwasy fenolowe ogółem, wolne kwasy fenolowe oraz alkilorezorcynole. Wyniki badań dowiodły, że G wpływa w 76% na tokole, w 57% na sterole i w 63% na alkilorezorcynole (Shewry i in. 2013). Z kolei badania Lv i in. (2013) wskazują, że na tokole największy wpływ ma interakcja G x E (72%). Zawartość i skład karotenoidów w tych badaniach była najbardziej różnicowana przez E.

### **Technologia uprawy a koncentracja związków bioaktywnych**

Na zawartość związków biologicznie aktywnych oprócz czynników klimatycznych wpływa także technologia uprawy (Jones i in. 2010). Składają się na nią: system nawożenia, stosowane środki ochrony, metody przygotowania gleby oraz praktyki uprawy, takie jak płodozmian czy czas zbioru (Kosik i in. 2014). Coraz większym zainteresowaniem wśród konsumentów cieszy się żywność z upraw ekologicznych. Uważana jest ona bowiem za zdrowszą niż ta pochodząca z uprawy konwencjonalnej (Di Silvestro i in. 2016). W badaniach Mazzoncini i in. (2015) prowadzonych na pszenicy zwyczajnej uprawianej ekologicznie oraz konwencjonalnie wykazano zwiększoną aktywność antyoksydacyjną pszenicy z uprawy ekologicznej. Konopka i in. (2012) wykazali jednak, że ziarno pszenicy z upraw ekologicznych i konwencjonalnych ma porównywalną zawartość tokoli i karotenoidów, a różni się głównie zawartością polifenoli. Żuchowski i in. (2011) sugerują, że zwiększona koncentracja związków fenolowych w pszenicy uprawianej ekologicznie jest wynikiem mniejszej wielkości ziarniaka. Z kolei w badaniach Ma i in. (2015) wykazano, że zwiększona dostępność azotu zwiększa koncentrację związków fenolowych. Suproniene i in. (2011) wykazali, że zwiększona ilość nawozów mineralnych sprzyja powierzchniowemu rozwojowi mikroflory z rodzaju *Fusarium* i *Penicillium*, które mogą stymulować roślinę do syntezy metabolitów wtórnych. Coraz większym zainteresowaniem cieszą się także nowoczesne metody uprawy, do których zaliczamy metody biologiczne i integrowane. Zgodnie z definicją zaproponowaną przez grupę specjalistów powołaną przez Międzynarodową Organizację Biologicznego i Integrowanego Zwalczenia Szkodliwych Zwierząt i Roślin (Boller i in. 2004) „integrowana produkcja jest systemem prowadzenia gospodarstw zabezpieczającym produkcję wysokiej jakości środków żywności i innych produktów, wykorzystując zasoby naturalne i mechanizmy regulujące w miejsce środków stanowiących zagrożenie oraz w celu zabezpieczenia zrównoważonego rozwoju”. Biologiczne, techniczne i chemiczne metody wykorzystuje się w sposób zbilansowany, biorąc pod uwagę ochronę środowiska, dochodowość i wymagania socjalne (Bereś i Pruszyński 2008). Przykładem takiej technologii jest zastosowanie w ochronie roślin bakterii *Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arnaud, która sprzyja akumulacji w ziarnie pszenicy lipofilnych fitozwiązków (Wachowska i in. 2016).

## Podsumowanie

Ziarno pszenicy jest bogatym źródłem związków o charakterze prozdrowotnym. Ich działanie antyoksydacyjne powoduje obniżenie ryzyka zachorowalności na niezakaźne choroby przewlekłe. Przeprowadzone dotychczas prace badawcze na całym świecie pokazują duże zróżnicowanie wpływu czynników genotypowych i środowiskowych na akumulację związków bioaktywnych. Pomimo coraz większej ilości badań ich wyniki wciąż nie są jednoznaczne. Niezbędne wydają się badania pozwalające poznać czynniki wpływające na akumulację związków bioaktywnych w polskich odmianach pszenicy. Wytypowanie odmian oraz metod uprawy pozwoli na produkcję żywności o zwiększonej wartości odżywczej, a być może o charakterze żywności funkcjonalnej.

## References

- Andersson A. A. Dimberg L. Åman, P. Landberg R. Recent Findings On Certain Bioactive Components In Whole Grain Wheat And Rye. *Journal of Cereal Science*. 2014; 59(3): 294-311.
- Andersson A.A.M. Kamal-Eldin A. Åma P. Effects of environment and variety on alkylresorcinols in wheat in the HEALTHGRAIN diversity screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010; 58(17): 9299-9305.
- Anson N. M. Hemery Y. M. Bast A. Haenen G. R. Optimizing the bioactive potential of wheat bran by processing. *Food & Function*. 2012; 3(4): 362-375.
- Baigent C. Blackwell L. Emberson J. Holland L.E. Reith C. Bhalra N. i wsp. Efficacy And Safety Of More Intensive Lowering Of LDL Cholesterol: A Meta-Analysis Of Data From 170,000 participants in 26 randomised trials. *Lancet*. 2010; 376(9753): 1670-1681.
- Bereś P. K. Pruszyński G. Ochrona kukurydzy przed szkodnikami w produkcji integrowanej. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*. 2008; 7(4): 19-32.
- Boller E. Avila J. Joerg E. Malavolta C. Wijnands F. Esbjerg P. Integrated Production. Principles and technical Guidelines. III ed., IOBC/WPRS Bulletin, Bulletin OILB Crop. 2004; 27(2): 1-49.
- Bondia-Pons I. Aura A.-M. Vuorela S. Kolehmäinen M. Mykkänen H. Poutanen K. Rye phenolics in nutrition and health. *Journal of Cereal Science*. 2009; 49(3): 323-336.
- Chen C.-Y. Kamil A. Blumberg J. B. Phytochemical composition and antioxidant capacity of whole wheat products. *International Journal of Food Sciences And Nutrition*. 2015; 66(1): 63-70.
- Chen Y. Ross A. B. Åman P. Kamal-Eldin A. Alkylresorcinols as markers of whole-grain wheat and rye in cereal products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2004; 52(26): 8242-8246.
- COBORU (2015) Lista Odmian Roślin Rolniczych Wpisanych Do Krajowego Rejestru W Polsce [Http://Www.Coboru.Pl/Polska/Rejestr/Listyodmian/Lista\\_Rolnicze\\_2015.Pdf](http://Www.Coboru.Pl/Polska/Rejestr/Listyodmian/Lista_Rolnicze_2015.Pdf) (dostęp 2015.05.05)
- Di Silvestro R. Di Loreto A. Bosi S. Bregola V. Marotti I. Benedettelli S. i wsp. Environment and genotype effects on antioxidant properties of organically-grown wheat varieties. A three year study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2016; In press
- Di Silvestro R. Marotti I. Bosi S. Bregola V. Carretero A. S. Sedej I. i wsp. Health-promoting phytochemicals of Italian common wheat varieties grown under low-input agricultural management. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012; 92(14): 2800-2810.

- Engert N. Honermeier B. Characterization of grain quality and phenolic acids in ancient wheat species (*Triticum* sp.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2012; 84(1): 33.
- Fardet A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre?. *Nutrition Research Reviews*. 2010; 23(01): 65-134.
- Fardet A. Rock E. Rémésy C. Is the *in vitro* antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected *in vivo*?. *Journal Of Cereal Science*. 2008; 48(2): 258-276.
- Gill S. S. Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology And Biochemistry*. 2010; 48(12): 909-930.
- Hejtmánková K. Lachman J. Hejtmánková A. Pivec V. Janovská D. Tocols of selected spring wheat (*Triticum aestivum* L.), einkorn wheat (*Triticum monococcum* L.) and wild emmer (*Triticum dicoccum* Schuebl [Schrank]) varieties. *Food Chemistry*. 2010; 123(4): 1267-1274.
- Hengtrakul P. Lorenz K. Mathias M. Alkylresorcinols in US and Canadian wheats and flours. *Cereal Chemistry*. 1990; 67(5): 413-417.
- Jones H. Clarke S. Haigh Z. Pearce H. Wolfe M. The effect of the year of wheat variety release on productivity and stability of performance on two organic and two non-organic farms. *The Journal of Agricultural Science*. 2010; 148(03): 303-317.
- Katan M. B. Grundy S. M. Jones P. Law M. Miettinen T. Paoletti R. i wsp. Efficacy and safety of plant stanols and sterols in the management of blood cholesterol levels. *Mayo Clinic Proceedings*. 2003; 78(8): 965-978
- Konopka I. Czaplicki S. Rotkiewicz D. Differences in content and composition of free lipids and carotenoids in flour of spring and winter wheat cultivated in Poland. *Food Chemistry*. 2006; 95(2): 290-300.
- Konopka I. Tańska M. Faron A. Czaplicki S. Release of free ferulic acid and changes in antioxidant properties during the wheat and rye bread making process. *Food Science and Biotechnology*. 2014; 23(3): 831-840.
- Konopka I. Tańska M. Faron A. Stępień A. Wojtkowiak K. Comparison of the phenolic compounds, carotenoids and tocopherols content in wheat grain under organic and mineral fertilization regimes. *Molecules*. 2012; 17(10): 12341-12356.
- Kosík T. Lacko-Bartosová M. Kobida L. Free Phenol Content and Antioxidant Activity Of Winter Wheat In Sustainable Farming Systems. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2014; 3(3): 247-249.
- Kováčik J. Klejduš B. Induction of phenolic metabolites and physiological changes in chamomile plants in relation to nitrogen nutrition. *Food Chemistry*. 2014; 142: 334-341.
- Kozubek A. Tyman J. H. Cereal grain resorcinolic lipids: mono and dienoic homologues are present in rye grains. *Chemistry And Physics Of Lipids*. 1995; 78(1): 29-35.
- Kozubek A. Tyman J. H. Resorcinolic lipids, the natural non-isoprenoid phenolic amphiphiles and their biological activity. *Chemical Reviews*. 1999; 99(1): 1-26
- Lachman J. Hejtmánková K. Kotíková Z. Tocols and carotenoids of einkorn, emmer and spring wheat varieties: selection for breeding and production. *Journal Of Cereal Science*. 2013; 57(2): 207-214.
- Lachman J. Orsák M. Pivec V. Jirů K. Antioxidant activity of grain of einkorn (*Triticum monococcum* L.), emmer (*Triticum dicoccum* Schuebl [Schrank]) and spring wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Plant Soil and Environment*. 2012; 58(1): 15-21.
- Lampi A. M. Nurmi T. Ollilainen V. Piironen V. Tocopherols and tocotrienols in wheat genotypes in the HEALTHGRAIN diversity screen. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*. 2008; 56(21): 9716-9721.



- Lavelli V. Hidalgo A. Pompei C. Brandolini A. Radical scavenging activity of eikorn (*Triticum Monococcum* L. Subsp. *Monococcum*) wholemeal flour and its relationship to soluble phenolic and lipophilic antioxidant content. *Journal Of Cereal Science*. 2009; 49(2): 319-321.
- Li L. Shewry P. R. Ward J. L. Phenolic acids in wheat varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*. 2009; 56(21): 9732-9739.
- Lu Y. Lv J. Hao J. Niu Y. Whent M. Costa J. i wsp. Genotype, environment, and their interactions on the phytochemical compositions and radical scavenging properties of soft winter wheat bran. *LWT-Food Science And Technology*. 2015; 60(1): 277-283.
- Luthria D. L. Lu Y. John K. M. Bioactive phytochemicals in wheat: extraction, analysis, processing, and functional properties. *Journal Of Functional Foods*. 2015; 18: 910-925.
- Lv J. Lu Y. Niu Y. Whent M. Ramadan M. F. Costa J. i wsp. Effect of genotype, environment, and their interaction on phytochemical compositions and antioxidant properties of soft winter wheat flour. *Food Chemistry*. 2013; 138(1): 454-462.
- Ma D. Sun D. Li Y. Wang C. Xie Y. Guo T. Effect of nitrogen fertilisation and irrigation on phenolic content, phenolic acid composition, and antioxidant activity of winter wheat grain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015; 95(5): 1039-1046.
- Mazzoncini M. Antichi D. Silvestri N. Ciantelli G. Sgherri C. (2015). Organically vs conventionally grown winter wheat: effects on grain yield, technological quality, and on phenolic composition and antioxidant properties of bran and refined flour. *Food Chemistry*. 2015; 175: 445-451.
- Mpofu A. Sapirstein H. D. Beta T. Genotype and environmental variation in phenolic content, phenolic acid composition, and antioxidant activity of hard spring wheat. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*. 2006; 54(4): 1265-1270.
- Nurmi T. Nystrom L. Edelmann M. Lampi A. M. Piironen V. Phytosterols in wheat genotypes in the HEALTHGRAIN diversity screen. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*. 2008; 56(21): 9710-9715.
- Okarter N. Liu C. S. Sorrells M. E. Liu R. H. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat. *Food Chemistry*. 2010; 119(1): 249-257.
- Onipe, O. O., Jideani, A. I., & Beswa, D. (2015). Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(12), 2509-2518.
- Poutanen K. Shepherd R. Shewry P. R. Delcour J. A. Björck I. Van Der Kamp J. W. Beyond whole grain: the european HEALTHGRAIN project aims at healthier cereal foods. *Cereal Foods World*. 2008; 53(1): 32-35.
- Rembiałkowska E. Quality of plant products from organic agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007; 87(15): 2757-2762.
- Ross A. B. Bourgeois A. Macharia H. N. U. Kochhar S. Jebb S. A. Brownlee I. A. i wsp. Plasma alkylresorcinols as a biomarker of whole-grain food consumption in a large population: results from the wholeheart intervention study. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2012; 95(1): 204-211.
- Ross A. B. Kamal-Eldin A. Jung C. Shepherd M. J. Åman P. Gas chromatographic analysis of alkylresorcinols in rye (*Secale cereale* L) grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2001; 81(14): 1405-1411.
- Ross A. B. Shepherd M. J. Schüpphaus M. Sinclair V. Alfaro B. Kamal-Eldin, A. i wsp. Alkylresorcinols in cereals and cereal products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003; 51(14): 4111-4118.

- Shewry P. R. Hawkesford M. J. Piironen V. Lampi A. M. Gebruers K. Boros D. i wsp. Natural Variation in grain composition of wheat and related cereals. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*. 2013; 61(35): 8295-8303.
- Shewry P. R. Ward J. L. Exploiting genetic variation to improve wheat composition for the prevention of chronic diseases. *Food and Energy Security*. 2012; 1(1): 47-60.
- Suproniene S. Mankeviciene A. Kadziene G. The effect of different tillage-fertilization practices on the mycoflora of wheat grains. *Agricultural and Food Science*. 2011; 20(4): 315-326.
- Tiwari U. Cummins E. Nutritional importance and effect of processing on tocols in cereals. *Trends in Food Science & Technology*. 2009; 20(11): 511-520.
- Vaher M. Matso K. Levandi T. Helmja K. Kaljurand M. Phenolic compounds and the antioxidant activity of the bran, flour and whole grain of different wheat varieties. *Procedia Chemistry*. 2010 2(1): 76-82.
- Vitaglione P. Mennella I. Ferracane R. Rivellese A. A. Giacco R. Ercolini D. i wsp. Whole-Grain Wheat Consumption Reduces Inflammation In A Randomized Controlled Trial On Overweight And Obese Subjects With Unhealthy Dietary And Lifestyle Behaviors: Role Of Polyphenols Bound To Cereal Dietary Fiber. *The American Journal Of Clinical Nutrition*. 2015; 101(2); 251-261.
- Ward J. L. Poutanen K. Gebruers K. Piironen V. Lampi A. M. Nystrom L. i wsp. The HEALTHGRAIN Cereal Diversity Screen: Concept, Results, And Prospects. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*. 2008; 56(21): 9699-9709.
- Zhu Y. Conklin D. R. Chen H. Wang L. Sang S. 5-Alk (en) ylresorcinols as the major active components in wheat bran inhibit human colon cancer cell growth. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*. 2011; 19(13): 3973-3982.
- Zhu Y. Soroka D. N. Sang S. Synthesis and inhibitory activities against colon cancer cell growth and proteasome of alkylresorcinols. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*. 2012; 60(35): 8624-8631.
- Ziegler J. U. Schweiggert R. M. Würschum T. Longin C. F. H. Carle R. Lipophilic antioxidants in wheat (*Triticum* spp.): A target for breeding new varieties for future functional cereal products. *Journal of Functional Foods*. 2016; 20: 594-605.
- Ziegler J. U. Steingass C. B. Longin C. F. H. Würschum T. Carle R. Schweiggert R. M. Alkylresorcinol Composition Allows The Differentiation Of *Triticum* Spp. Having Different Degrees Of Ploidy. *Journal Of Cereal Science*. 2015; 65: 244-251.
- Żuchowski J. Jonczyk K. Pecio L. Oleszek W. Phenolic acid concentrations in organically and conventionally cultivated spring and winter wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2011; 91(6): 1089-1095.