

BOHDAN ACHREM-ACHREMOWICZ, RAFAŁ ZIOBRO

## ANTOCYJANY W ZIARNACH PSZENICY KOLOROWEJ - NOWE ŹRÓDŁO PROZDROWOTNEJ ŻYWNOSCI

### Streszczenie

**Wprowadzenie.** Obok znanych od dawna białych i czerwonych odmian pszenicy zwyczajnej w ciągu ostatnich dekad pojawiły się jej barwne formy, charakteryzujące się fioletową, niebieską oraz czarną barwą ziaren. Zawarte w nich antocyjany należą do grupy flawonoidów i odpowiadają za barwę ziarniaków. Ziarno pszenicy purpurowej zawiera antocyjany w warstwie owocni, pszenicy niebieskiej w warstwie aleuronowej, a pszenica czarna ma antocyjany rozmieszczone w obu tych warstwach. Antocyjany są składnikami bioaktywnymi, które mogą pełnić w żywności rolę składnika funkcjonalnego lub kształtować cechy funkcjonalne żywności, chroniąc przed cukrzycą, nadciśnieniem i dyslipidemią. Pszenice kolorowe są także dobrym źródłem innych niż antocyjany związków fenolowych, karotenoidów, składników mineralnych, zwłaszcza żelaza i cynku, a także witamin.

**Wyniki i wnioski.** Pszenica kolorowa jest dobrym surowcem technologicznym, nieodbiegającym od dotychczas stosowanych odmian pszenic chlebowych i durum. Nadaje się do produkcji pieczywa, ciastek, produktów przekąskowych i makaronów, a nawet piwa, sosu sojowego czy octu. Stabilność antocyjanów z kolorowej pszenicy ulega obniżeniu przy stosowaniu wysokich temperatur, jednak ogólna zawartość przeciwutleniaczy w powstających produktach jest nadal wysoka. Badania żywieniowe potwierdziły korzystny wpływ produktów spożywczych otrzymanych z kolorowej pszenicy na zdrowie konsumentów. Oczekuje się, że produkty wytworzone w oparciu o barwne odmiany pszenicy mogą stać się modną żywnością funkcjonalną w wielu krajach. Kluczowym wyzwaniem komercjalizacji na dużą skalę jest wygenerowanie świadomości rynkowej i konsumenckiej. Celem niniejszego artykułu było przedstawienie aktualnego stanu wiedzy na temat antocyjanów znajdujących się w ziarnach pszenicy kolorowej i ich znaczenia w potencjalnych zastosowaniach żywnościowych tego zboża.

**Słowa kluczowe:** pszenica, barwniki roślinne, polifenole, antocyjany, przeciwutleniacze, żywność prozdrowotna

---

*Prof. dr hab. B. Achrem-Achremowicz, dr hab. prof. URK. R. Ziobro ORCID: 0000-0001-9681-4380, Katedra Technologii Węglowodanów i Przetwórstwa Zboż, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kollątaja w Krakowie, ul. Balicka 122, 30-149, Kraków;  
Kontakt: rafal.ziobro@urk.edu.pl*

## Wprowadzenie

Podstawą wyżywienia w Europie są rośliny zbożowe, a zwłaszcza pszenica. Jest ona surowcem do wyrobu wielu produktów: chleba, bułek, ciast, makaronów i kasz. Rosnący popyt na zdrową żywność spowodował wzrost zainteresowania ziarnem pszenicy o barwie purpurowej (fioletowej), niebieskiej (błękitnej) i czarnej, uzyskanym dzięki pracom hodowlanym w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat. Ze względu na obecność nadających barwę antocyjanów, a także podwyższoną zawartość żelaza i cynku, kolorowe ziarno pszenicy wykazuje właściwości antyoksydacyjne i prozdrowotne. Jak wykazano w badaniach żywieniowych, antocyjany korzystnie działają na organizm ludzi. Zapewniają ochronę przed szkodliwymi zespołami metabolicznymi jak cukrzyca, otyłość, nadciśnienie i dyslipidemia [5, 29]. Ziarno pszenicy kolorowej można zaklasyfikować jako potencjalną żywność prozdrowotną, możliwą do uprawy na całym świecie. Szersze wykorzystanie tego ziarna jako żywności prozdrowotnej zależy jednak od upowszechnienia jego uprawy, stworzenia rynku i uświadomienia konsumentów o walorach ziarna kolorowych pszenic.

Antocyjany należą do grupy flawonoidów - związków polifenolowych, które odpowiadają za czerwony, fioletowy i niebieski kolor owoców, kwiatów i liści wielu roślin. Wykazują istotne właściwości prozdrowotne, a jako czynnik funkcjonalny sprzyjają zapobieganiu chorobom przewlekłym [5, 30]. Przez długi czas koncentrowano się na kolorowych owocach i warzywach, zwracając tylko niewielką uwagę na barwne ziarno, które również może poprawić zdrowie konsumentów. Obecnie, z racji wysokiej zawartości antocyjanów, zwrócono uwagę także na barwne odmiany pszenicy. Możliwość naturalnej biosyntezy antocyjanów stanowi argument do hodowli lepszych pod względem odżywczym odmian pszenicy i dalszych programów poprawy wartości prozdrowotnej upraw zbożowych [4].

## Uwarunkowania koloru ziaren pszenicy

Czerwone i białe ziarniaki są typowe dla pszenicy zwyczajnej (heksaploidalnej). Kolor czerwony pojawia się w wyniku obecności pochodnych katechinowo-garbnikowych w owocni, co jest kontrolowane przez jeden z trzech dominujących genów R. Białe ziarniaki rozwijają się, gdy ich genotyp zawiera allele recesywne w tych trzech genach [1].

Kolor żółty jest determinowany przez karotenoidy, które są zdeponowane w amyloplastach komórek bielma. Szczególnie duże ilości tych związków, zwłaszcza luteiny, zawiera pszenica durum, co spowodowane jest selekcją odmian o barwie pożądanej dla produkcji makaronu [4].

Antocyjany, odpowiedzialne za ciemne zabarwienie ziaren pszenic kolorowych, występują w roślinach w postaciach glikozydowych, związanych z glukozą, galaktozą,

arabinozą, ramnozą, ksylozą i fruktozą. Najwięcej jest cyjanidyny i antocyjanidyny, występują także delfinidyna, peonidyna, pelargonidyna, petunidyna i malwidyna. Delfinidyna jest odpowiedzialna za kolor niebieski, natomiast cyjanidyna i pelargonidyna odpowiadają za fioletowy i czerwony. Wyższą zawartość antocyjanów stwierdzono w niebieskiej pszenicy chlebowej w porównaniu z analogiczną pszenicą durum. Analiza HPLC wykazała 5 do 8 głównych antocyjanów w pszenicy niebieskiej, a tylko trzy w ziarnie pszenicy purpurowej. W pszenicy purpurowej dominuje 3-O-glukozyd cyjanidyny, a następnie 3-O-glukozyd peonidyny, natomiast glukozyd delfinidyny najobficiej występuje w pszenicy niebieskiej [4, 20].

### Genetyka akumulacji antocyjanów w ziarnach pszenicy kolorowej

Pszenica kolorowa pochodzi od różnych odmian miejscowych występujących w Afryce, uzyskano ją także w wyniku procesu hybrydyzacji. Występuje w trzech kolorowych odmianach zależnie od rodzaju i położenia antocyjanów w warstwach ziarna.

W pszenicy purpurowej są one obecne w warstwie owocni. Pochodzi ona z pszenicy purpurowej tetraploidalnej z Etiopii - *Triticum aethiopicum*. Po raz pierwszy została opisana przez Wittmacka w latach 70. XIX w., następnie sprowadzona do Europy i rozpowszechniona przez botaników [28]. Do rozwinięcia się cech purpurowej owocni potrzebne są dwa geny, zlokalizowane w odrębnych genomach, mianowicie A i B lub A i D. Cecha purpurowej owocni może być obecna tylko w pszenicy tetra- i heksaploidalnej, a nie występuje w diploidalnej. Jiang i wsp. [12] ustalili, że gen Pp3 koduje dwa czynniki transkrypcyjne, regulujące syntezę antocyjanów w purpurowej owocni.

Niebieski kolor ziaren pszenicy wynika z pigmentacji warstwy aleuronowej, a cechę tę wprowadza proces introgresji od różnych dzikich krewnych pszenicy. Jako pierwszy został zgłoszony europejski szczep Blaukorn używany później w pracach hodowlanych. Wyselekcjonowano kilka niebieskich linii, które miały introgresję lub część chromosomów z dzikich pszenic. Stwierdzono, że cecha niebieskiego aleuronu jest kontrolowana przez geny pochodzące od różnych dzikich gatunków, jak Ba 1 dominujący gen w chromosomie 4AgL (*Agropyron elongatum*). Jednak mechanizm molekularny decydujący o niebieskim kolorze nie został jeszcze jednoznacznie wyjaśniony [7].

Czarną pszenicę wyhodowano w Chinach poprzez hybrydyzację pszenicy purpurowej i niebieskiej. Prace badawcze prowadzono także w Japonii, Austrii i na Ukrainie [22]. Ziarno wydawało się czarne (ciemnofioletowe), ponieważ intensywny kolor występował zarówno w owocni jak i w warstwie aleuronowej. Decydujące o barwie obu tych warstw geny są takie same jak w pszenicy purpurowej i niebieskiej.

Antocyjany powstają w retikulum endoplazmatycznym i magazynowane są w wakuolach. Interesująca jest regulacja biosyntezy antocyjanów powodowana przez trójskładnikowe kompleksy czynników transkrypcyjnych MYB-bHLH-WD40 [26].

### **Skład biochemiczny ziarna kolorowej pszenicy**

Ziarna barwnej pszenicy są zasobne w węglowodany, tłuszcze, białka a także antocyjany, witaminy, składniki mineralne oraz karotenoidy. Wykazano że ziarno pszenicy czarnej, niebieskiej i purpurowej ma porównywalną lub nieco niższą zawartość węglowodanów w porównaniu do pszenicy białej. Zawartość skrobi jest nieco niższa w pszenicy purpurowej (54 %) w porównaniu z białą (60 %). Zwyczajna pszenica ma 8 ÷ 14 % białka, pszenica kolorowa wykazuje nieco większą zawartość tego składnika 11,7 ÷ 18,2 % [13]. Również odmiany pszenicy kolorowej wykazały wyższą (o ok. 10 %) zawartość aminokwasów oraz ich lepsze zbilansowanie. Zawartość lizyny (aminokwas ograniczający) w ziarniakach barwnej pszenicy była również wyższa. Zaobserwowano też mniejsze straty aminokwasów podczas obróbki termicznej, w porównaniu z pszenicą białą [27].

Składniki mineralne jak żelazo, wapń i cynk są ważnymi składnikami zdrowia człowieka. Pszenica kolorowa okazała się bogatsza w mikroelementy niż biała, szczególnie ze względu na większe ilości Fe i Zn w ziarnach. Zawiera także inne niezbędne pierwiastki, jak magnez, potas, i selen [25]. Kolejne ważne składniki żywienia, których dobrym źródłem jest ziarno pszenicy, to witaminy z grupy B oraz witamina E. Pszenica niebieska zawiera ich więcej niż biała [8]. Podobnie dzieje się w przypadku innych pszenic kolorowych.

### **Fenole i związki pokrewne**

Związki fenolowe są metabolitami wtórnymi roślin, wykazującymi aktywność antyoksydacyjną. Należą do nich między innymi kwasy fenolowe: *p*-hydroksybenzoesowy, protokatechowy, wanilinowy, syringowy, elagowy i galusowy, oraz pochodne kwasu hydroksycynamonowego jak *p*-kumarowy, kawowy, ferulowy i synapinowy [17, 19, 30]. Związki fenolowe występują w ziarnach pszenicy w postaci nierozpuszczalnej i rozpuszczalnej. Wykazano wyższą do 30 % całkowitą zawartość fenoli w pszenicy kolorowej w stosunku do białej. Pszenice te wykazują także większą zawartość różnych metabolitów fenylopropanu i flawonoidów, w tym antocyjanów, flawonów oraz flawonoli [15].

Kwasy fenolowe są uważane za niezbędny bioaktywny mikroskładnik odżywczy z uwagi na zdolności antyoksydacyjne i wynikające z tego walory prozdrowotne. Porównano profile kwasów fenolowych pomiędzy odmianami pszenicy białej i kolorowej oraz uzyskanym z nich czapati (indyjski chleb płaski). Pszenica pigmentowana zawierała więcej kwasów fenolowych niż biała [13]. Kolorowe odmiany pszenicy zawierają 9 różnych kwasów fenolowych, z których kwas ferulowy jest najliczniej występującym, co sprawia że pszenica kolorowa jest cennym źródłem antyoksydantów innych niż same tylko antocyjany.

Także flawonoidy uważa się za niezbędny mikroskładnik bioaktywny, ze względu na ich wysokie zdolności antyoksydacyjne i walory prozdrowotne. Flawonoidy w różnych odmianach pszenicy występują od 2 do 7 ppm, a pszenica niebieska zawiera ich nawet do 10 ppm. Natomiast w pszenicy białej odnotowano tylko 0,9 ppm [8].

### **Komercyjne przetwórstwo ziarna kolorowej pszenicy**

Mąka pszenna ma szerokie zastosowanie w technologii przetwórstwa, stanowi surowiec do wyrobu pieczywa, herbatników, makaronu, czapati oraz kasz. Białko i skrobia jako podstawowe składniki bielma są głównymi substancjami istotnymi dla procesu technologicznego. Gliadyna i glutenina - białka wchodzące w skład glutenu pszennego, nadają ciastu elastyczność i rozciągliwość. Indeks glutenowy pszenicy o czarnym ziarnie wynosi 69,7 %, co lokuje ją w optymalnym (60 ÷ 90 %) przedziale do wypieku chleba dobrej jakości. Skrobia wyizolowana z ziarna pszenic kolorowych zawiera typowe dla pszenic ilości amylozy i amylopektyny. Jej kleiki mają również odpowiednią lepkość, co determinuje dobre właściwości wypiekowe [21]. Produkty z ziarna barwnej pszenicy mają wysoką zawartość karotenoidów, błonnika pokarmowego oraz znaczną aktywność antyoksydacyjną. Sharma i wsp. [24] wykazali, że kolorowe linie pszenicy wykazujące wyższą wartość odżywczą i podobne parametry przetwarzania jak pszenica zwyczajna, mogą być wprowadzone do produkcji różnych form żywności prozdrowotnej. Mąka z pszenicy kolorowej charakteryzuje się wysoką zawartością składników odżywczych i dobrymi właściwościami wypiekowymi, co czyni ją wartościowym surowcem dla piekarstwa

Próby stosowania ziarna pszenicy barwnej w przemyśle spożywczym dały pozytywne wyniki w produkcji chleba, herbatników, makaronu, batonów i krakersów, a nawet piwa, sosu sojowego czy octu, co wskazuje na jej potencjał do zastąpienia pszenic tradycyjnych [8, 9]. Wykorzystano również purpurową pszenicę do uzyskania produktów o wysokim potencjale antyoksydacyjnym. Obecność przeciwutleniaczy zwiększa trwałość produktów piekarskich, nadając im odporność na rozwój pleśni w warunkach podwyższonej wilgotności. Uzyskane rezultaty wykazały, że barwne odmiany pszenicy spełniają wszystkie cechy wymagane do wprowadzenia ich do produkcji przemysłowej [24].

### **Wpływ obróbki termicznej na stabilność antyoksydantów w kolorowej pszenicy**

Stabilność antocyanów i kwasów fenolowych jest celem wielu aktualnych badań ze względu na ich duży potencjał zastosowania w żywności. Nowoczesne technologie przetwarzania wymagają jednak wysokich temperatur (160 ÷ 300 °C), a wykazano, że stabilność antocyanów podczas obróbki termicznej wyraźnie się zmniejsza [11].

Ze względu na korzyści zdrowotne istnieje potrzeba utrzymania wysokiej zawartości antocyanów i fenoli ogółem podczas obróbki termicznej. Są one jednak względ-

nie stabilne tylko w niższych temperaturach, a ich stabilność maleje wraz ze wzrostem temperatury i czasu ogrzewania [2]. Dlatego do uzyskania produktów o pożądanych cechach żywieniowych potrzebna jest odpowiednia wiedza na temat wpływu operacji jednostkowych na przemiany poszczególnych związków fenolowych.

Różne czynniki, takie jak gatunek, warunki przechowywania, dostęp tlenu, prze-miań, fermentacja, prażenie, blanszowanie, reakcje enzymatyczne, czas i temperatura procesu, poziom kwasowości, światło, ciśnienie, pH oraz interakcje między makroelementami i mikroelementami w produkcie końcowym produkty mają wpływ na stabilność tych związków bioaktywnych.

Kilka badań wykazało zmniejszenie zawartości antocyjanów podczas obróbki termicznej produktów opartych o ziarno barwnej pszenicy. Bartl i wsp. [2] porównali wpływ czasu i temperatury pieczenia na redukcję antocyjanów podczas wypieku chleba z pszenicy purpurowej i niebieskiej. Obie linie pszenicy wykazały większe obniżenie zawartości antocyjanów przy dłuższym czasie pieczenia, nawet wówczas, gdy odbywało się ono w niższej temperaturze. Tak więc pieczenie w wysokiej temperaturze i krótkotrwałe pieczenie uważa się za bardziej oszczędzające antocyjany niż w niskiej temperaturze i długim czasie.

Porównanie różnych produktów, np. chleba, naleśników, batoników i krakersów z pszenicy purpurowej wykazało, że naleśniki, batoniki i krakersy traciły mniej przeciwutleniaczy niż chleb [6]. Porównanie zawartości antocyjanów w pszenicy niebieskiej i pszenicy purpurowej na różnych etapach produkcji pieczywa wykazało, że antocyjany z pszenicy niebieskiej tracono przede wszystkim podczas procesu wypieku. Natomiast w przypadku pszenicy purpurowej największe straty obserwowano podczas wyrabiania ciasta. Podobne wyniki uzyskali Ficco i wsp. [4], którzy badali różne etapy wytwarzania makaronu z purpurowej pszenicy durum i wykazali, że proces suszenia ma największy wpływ na degradację antocyjanów makaronu. Porównując makaron przygotowany z mąki i semoliny wzbogaconej w otręby z pszenicy purpurowej, stwierdzili większą redukcję zawartości antocyjanów w makaronie na bazie semoliny niż na bazie mąki.

Oprócz antocyjanów kilka raportów wskazuje na zmiany w całkowitej zawartości związków fenolowych (TPC, total phenolic content) kolorowych produktów spożywczych na bazie ziarna pszenicy. Zaobserwowano zmniejszenie TPC w przypadku produktów dla niemowląt z pszenicy purpurowej. TPC była niższa w gotowanych makaronach z białej mąki pszennej i semoliny wzbogaconych otrębami z pszenicy purpurowej. Zmniejszeniu uległa także TPC w ciasteczkach z pszenicy purpurowej [18]. Podobnie wykazano, że poziomy zawartości związków fenolowych i flawonoidów były niższe po przygotowaniu makaronu i pieczywa na parze [15]. Wzrost TPC podczas procesów pieczenia został spowodowany pojawieniem się produktów reakcji Maillarda, ponieważ mieszenie, rozrost i pieczenie miały tylko niewielki wpływ na

całkowitą zawartość fenoli. Ze względu na produkty reakcji Maillarda wypiek nieznacznie zwiększył stężenie fenoli w skórce chleba. Najwyższym TPC charakteryzowała się skórka, następnie cały chleb i miękisz.

Większość badań wykazała, że chociaż w procesach wytwarzania produktu (mieszanie, ugniatanie, fermentacja i pieczenie) zawierającego frakcje przemiałowe ziarna pszenicy barwnej następuje spadek zawartości antocyjanów, to jednak występuje albo wzrost, albo relatywnie mniejszy spadek zawartości przeciwutleniaczy i aktywności przeciwutleniającej produktu końcowego. Potencjalne przyczyny tego stanu to albo wyższa aktywność przeciwutleniająca związków fenolowych powstających podczas ogrzewania, w porównaniu do ich barwnych form nasyconych, albo efekt synergiczny różnych fitoskładników. Konieczne są dalsze badania, aby określić wpływ metod przetwarzania żywności na składniki fenolowe oraz opracowanie metod przetwarzania, które pozwoliłyby skuteczniej zatrzymywać te bioaktywne związki w produktach wytwarzanych z udziałem ziarna pszenicy kolorowej [3, 8, 23].

### **Prozdrowotne walory ziarna kolorowej pszenicy**

Antocyjany są uważane za związki biologicznie czynne i odgrywają istotną rolę w zapobieganiu wielu chorobom metabolicznym dlatego zostały uznane za nutraceutyk. Są silnymi przeciwutleniaczami ze względu na wyjątkowo wysoką aktywność wymiatania rodników. W ten sposób antocyjany pełnią szereg funkcji biomedycznych. W wielu badaniach epidemiologicznych udowodniono już właściwości przeciwnowotworowe, przeciwutleniające, przeciwstarzeniowe i przeciwzapalne antocyjanów z różnych źródeł [16]. Obecnością antocyjanów charakteryzują się różne kolorowe zboża i pseudozboża, jak ryż, sorgo, jęczmień, kukurydza i komosa ryżowa [5, 29]. Ostatnio wiele uwagi poświęcono barwnym odmianom pszenicy. Liczne badania wykazały korzyści zdrowotne wynikające ze spożywania kolorowej pszenicy, związane z wysoką zawartością antocyjanów oraz ogólną zawartością fenoli i aktywnością antyoksydacyjną.

Prace badawcze z ponad 60 instytucji w 16 krajach wykazały pozytywny wpływ ziarna barwnej pszenicy na zdrowie. Już od końca ubiegłego wieku szereg publikacji z Indii, Korei Południowej, Chin, Kanady, Etiopii, Włoch i Austrii informowało o korzyściach zdrowotnych barwnej mąki pszennej i otrąb. Od 2015 r. liczne organizacje z Indii, Kanady, Słowacji, Ukrainy, Polski, Niemiec, Rosji, Włoch i Chin donoszą o produkcji makaronu oraz różnych wyrobów piekarskich, takich jak chleb, ciastka, czapati. Instytucje naukowe w Rosji, Indiach, Czechach, Niemczech, Kanadzie, Hongkongu, Chinach i Włoszech prowadzą eksperymenty na liniach komórkowych i modelach zwierzęcych. Wszystkie opublikowane prace podkreślają prozdrowotne właściwości produktów z ziarna kolorowej pszenicy. Ponadto w Chinach i Kanadzie w 2018 i 2020 r. przeprowadzono dwa niezależne badania na ludziach, które wykazały, że

odmiany pszenicy bogatej w antocyjany mogą być stosowane jako żywność funkcjonalna [8].

Wśród różnokolorowych linii największą aktywność przeciwutleniającą zaobserwowano w ziarnie pszenicy czarnej zgodnie z regułą: czarna > niebieska > purpurowa > biała. Wyższą aktywność obserwowano w otrębach niż w mące ze względu na antocyjany obecne w okrywie nasiennej [13, 25]. Także kielki różnych kolorowych odmian pszenicy syntetyzują antocyjany. Badania wykazały, że to właśnie kielki z czarnych ziaren mają największą aktywność przeciwutleniającą.

Oprócz badań nad przeciwutleniaczami ziarna, mąki czy otrąb pszenic kolorowych, aktywność antyoksydacyjną oceniono dla różnych produktów spożywczych z ich udziałem. Wyższą aktywność produktów z kolorowych pszenic niż białych zaobserwowano w przypadku herbatników, czapati, batoników i krakersów, chleba, makaronu, pieczywa na parze, muffinek, oraz płatków zbożowych [8, 13, 15]. Aktywność przeciwutleniająca ziarna pszenicy barwnej jest głównie wiązana z wyższą zawartością antocyjanów. Jednak Morgounov i wsp. [20] wykazali, że aktywność przeciwutleniająca pszenicy purpurowej nie była wyższa niż pszenicy białej. Powodem była najprawdopodobniej metoda zastosowana do oszacowania tej wartości.

### **Badania żywieniowe potwierdzające korzystny wpływ kolorowej pszenicy na zdrowie**

Spożycie w diecie bogatego w antocyjany ekstraktu z różnych owoców i warzyw udowodniło jego korzystne działanie na organizmy zwierząt i ludzi. Wykazano również wpływ ziaren zbóż bogatych w antocyjany, poprzez badania *in vivo*, w zwalczaniu różnych zaburzeń [11]. Z ziaren zbóż w publikacjach pojawiła się barwna pszenica, a dostępne są badania *in vivo* na ludziach, potwierdzające ich prozdrowotne działanie. Czarna pszenica bogata w antocyjany znacząco zmniejszyła przyrost masy ciała i tkankę tłuszczową wywołane dietą wysokotłuszczową w badaniu *in vivo* przeprowadzonym na modelu myszy [24]. Co więcej, pszenica czarna i pszenica purpurowa obniżyły całkowity poziom wolnych kwasów tłuszczowych, triglicerydów i cholesterolu w surowicy wraz z przywróceniem insulinooporności. Purpurowa pszenica została użyta w badaniach na myszach choroby Alzheimera i w transgenicznym modelu choroby Parkinsona. Wykazano, że dieta bogata w antocyjany jest bezpieczna i ma pozytywny wpływ na funkcje poznawcze. Antocyjany w ziarnach pszenicy purpurowej zapobiegały deficytom pamięci wywołanym przez chorobę Alzheimera. Wyniki te sugerują, że pszenica bogata w antocyjany może być podstawą odżywiania funkcjonalnego we wczesnych stadiach zaburzeń neurodegeneracyjnych. Badanie odmian pszenicy niebieskiej na szczurach wykazało pozytywny wpływ na stan antyoksydacyjny osocza i poziom cytochromu P450 w wątrobie. Podobnie oceniono, że pszenica purpurowa (Karkulka) poprawia stan oksydacyjny i zachowanie szczurów. Bogata w antocyjany



purpurowa pszenica pozytywnie wpłynęła na stan antyoksydacyjny surowicy i utlenianie białek nerek. Zaobserwowano jednak również efekty niepożądane, takie jak zwiększona peroksydacja lipidów w nerkach i zmodyfikowane zachowanie zwierząt związane z lękiem [8]. Pszenica purpurowa (Konini) okazała się korzystna dla poprawy zdolności przeciwutleniających i aktywności enzymów wątroby u szczurów i kur [11].

Badania na ludziach wykazały również, że pszenica o czarnym ziarnie pozytywnie wpłynęła na osoby chore na cukrzycę typu 2 poprzez ograniczenie poziomu albumin glikowanych i markerów stanów zapalnych, bez zmiany poziomu glukozy i insuliny we krwi [18]. Badanie na zdrowych osobach wykazało, że batoniki lub krakersy wzbogacone w otręby z pszenicy purpurowej mają pozytywny wpływ na trawienie, metabolizm i wykorzystanie produktów, mimo że zaobserwowane zmiany w aktywności antyoksydacyjnej w osoczu i w biomarkerach zapalnych były bardzo małe lub wcale nie występowały. W innym badaniu na osobach dorosłych z nadwagą i otyłością batoniki z ziarna barwnych pszenic okazały się umiarkowanie skuteczne w poprawie stanu antyoksydacyjnego osocza, zmniejszając stężenie glukozy, poziom adiponektyny i stany zapalne [6].

Zgodnie z oczekiwaniami, zarówno badania na zwierzętach, jak i ludziach z wykorzystaniem modeli doświadczalnych lub niezakaźnych stanów chorobowych wykazały znaczący wpływ ziarna barwnej pszenicy na poprawę właściwości przeciwutleniających i związanego z nim stanu zdrowia, podczas gdy efekty obserwowane u zdrowych zwierząt i ludzi były stosunkowo mniej wyraźne. Wyniki te wskazują na pozytywny wpływ barwnej pszenicy na zmniejszenie ryzyka zaburzeń związanych ze stylem życia i dolegliwościami przewlekłymi. Warto zauważyć, że pszenica czarna daje zwykle lepsze wyniki niż pszenica niebieska i purpurowa, co może być związane z wyższą zawartością antocyjanów [3].

### **Aktualne wyzwania**

Chociaż prace nad pszenicą barwną są silnie rozwijającym się trendem badawczym, jej komercjalizacja jest nadal wyzwaniem. Powierzchnia uprawy pszenicy kolorowej wynosi mniej niż 0,01 % całkowitej powierzchni uprawy tego zboża na świecie. Podczas wyszukiwania online znaleziono tylko kilka kolorowych produktów pszenicznych, w tym chleb z pszenicy purpurowej (PurPur z Austrii i Gardenia z Kanady), makarony z pszenic purpurowych (Koka z Singapuru, Dayspring, Antho grains i kilka innych marek), mąkę z czarnej i purpurowej pszenicy oraz płatki śniadaniowe (Dalia) z Indii. Głównym wyzwaniem dla przyjęcia się tego rodzaju produktów na szeroką skalę jest zbudowanie rynku i świadomości konsumenckiej. W tym celu instytucje międzynarodowe, rządowe i przemysł powinny zjednoczyć swoje wysiłki w zakresie promocji barwnych odmian pszenicy [5. 8. 10].

Pszenice kolorowe niosą ogromny potencjał badawczy. Obok opracowania innowacyjnych produktów badania mogą dotyczyć długofalowych skutków diety wzbogaconej o funkcjonalne składniki nowych odmian pszenicy, hodowli w celu ulepszenia składu antocyjanów, ale również innych składników odżywczych, takich jak luteina, tokoferole, białka, minerały, w tym Fe, Zn, Se. Istotne wydaje się też podjęcie prac na temat tolerancji barwnych odmian na stres abiotyczny i możliwości poprawy ich plonowania [14].

### Wnioski

1. Pszenica kolorowa, zwłaszcza pszenica czarna, jest obecnie popularnym tematem badań, gdyż można ją wykorzystać do produkcji wysokiej jakości produktów spożywczych.
2. Jest doskonałym źródłem bioaktywnych fitoskładników o działaniu zapobiegającym stanom zapalnym, zespołowi metabolicznemu, otyłości, cukrzycy, dyslipidemii, starzeniu się i neurodegeneracji. Chociaż obróbka termiczna ziarna barwnej pszenicy zmniejsza zawartość antocyjanów i innych fitozwiązków, to nie zmniejsza jej aktywności przeciwutleniającej. Oczekuje się, że produkty wytworzone w oparciu o barwne odmiany pszenicy mogą stać się modną żywnością funkcjonalną w wielu krajach.
3. Kluczowym wyzwaniem komercjalizacji na dużą skalę jest wygenerowanie świadomości rynkowej i konsumenckiej. Istnieje potrzeba opracowania odmian zorientowanych na produkt końcowy w oparciu o preferencje regionalne, o wysokiej wydajności, zawartości antocyjanów, karotenoidów, związków fenolowych, witamin i minerałów oraz zweryfikowania ich funkcjonalności w badaniach *in vitro* i *in vivo* [14, 21].

### Literatura

- [1] Abdel-Aal E.-S. M., Young J. C., Rabalski I.: Anthocyanin Composition in Black, Blue, Pink, Purple, and Red Cereal Grains. *J. Agri. Food Chem.*, 2006, 54, 4696-4704.
- [2] Bartl P., Albrecht A., Skrt M., Tremlová B., Ošřádalová M., Šmejkal K., Vovk I., Ulrich N. P.: Anthocyanins in purple and blue wheat grains and in resulting bread: quantity, composition, and thermal stability. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 2015, 66, 514-519.
- [3] Dhua S., Kumar K., Kumar Y., Singh L., Sharanagat V. S.: Composition, characteristics and health promising prospects of black wheat: A review. *Trends Food Sci. Technol.*, 2021, 112, 780-794.
- [4] Ficco D. B. M., Mastrangelo A. M., Trono D., Borrelli G. M., Vita P. D., Fares C., Beleggia R., Platani C., Papa R.: The colours of durum wheat: a review. *Crop Pasture Sci.*, 2014, 65, 1-15.
- [5] Francavilla A., Joye I. J.: Anthocyanins in Whole Grain Cereals and Their Potential Effect on Health. *Nutrients*, 2020, 12, 2922.

- [6] Gamel T. H., Wright A. J., Tucker A. J., Pickard M., Rabalski I., Podgorski M., Ilio N. D., O'Brien C., Abdel-Aal E.-S. M.: Absorption and metabolites of anthocyanins and phenolic acids after consumption of purple wheat crackers and bars by healthy adults. *J. Cereal Sci.*, 2019, 86, 60-68.
- [7] Garg M., Chawla M., Chunduri V., Kumar R., Sharma S., Sharma N. K., Kaur N., Kumar A., Munday J. K., Saini M. K., Singh S. P.: Transfer of grain colors to elite wheat cultivars and their characterization. *J. Cereal Sci.*, 2016, 71, 138-144.
- [8] Garg M., Kaur S., Sharma A., Kumari A., Tiwari V., Sharma S., Kapoor P., Sheoran B., Goyal A., Krishania M.: Rising Demand for Healthy Foods-Anthocyanin Biofortified Colored Wheat Is a New Research Trend. *Front. Nutr.*, 2022, 9, 878221.
- [9] Grausgruber H., Atzgersdorfer K., Böhmendorfer S.: Purple and Blue Wheat Health – Promoting Grains with Increased Antioxidant Activity. *Cereal Foods World*, 2018, 63, 5, 217-220.
- [10] Gupta R., Meghwal M., Prabhakar P. K.: Bioactive compounds of pigmented wheat (*Triticum aestivum*): Potential benefits in human health. *Trends Food Sci. Technol.*, 2021, 110, 240-252.
- [11] Jeewani D. C., Hua W. Z.: Recent advances in anthocyanin biosynthesis in colored wheat. *Res. J. Biotechnol.*, 2017, 12, 6, 57-62.
- [12] Jiang W., Liu T., Nan W., Jeewani D. C., Niu Y., Li C., Wang Y., Shi X., Wang C., Wang J., Li Y., Gao X., Wang Z.: Two transcription factors TaPpml and TaPpb1 co-regulate anthocyanin biosynthesis in purple pericarps of wheat. *J. Exp. Bot.*, 2018, 69, 2555-2567.
- [13] Kumari A., Sharma S., Sharma N., Chunduri V., Kapoor P., Kaur S., Goyal A., Garg M.: Influence of Biofortified Colored Wheats (Purple, Blue, Black) on Physicochemical, Antioxidant and Sensory Characteristics of Chapatti (Indian Flatbread). *Molecules*, 2020, 25, 5071.
- [14] Li J., Yang J., Li Y., Ma L.: Current strategies and advances in wheat biology. *Crop J.*, 2020, 8, 879-891.
- [15] Li Y., Ma D., Sun D., Wang C., Zhang J., Xie Y., Guo T.: Total phenolic, flavonoid content, and antioxidant activity of flour, noodles, and steamed bread made from different colored wheat grains by three milling methods. *Crop J.*, 2015, 3, 328-334.
- [16] Lin B.-W., Gong C.-C., Song H.-F., Cui Y.-Y.: Effects of anthocyanins on the prevention and treatment of cancer. *Br. J. Pharmacol.*, 2016, 174, 1226-1243.
- [17] Liu Q., Qiu Y., Beta T.: Comparison of Antioxidant Activities of Different Colored Wheat Grains and Analysis of Phenolic Compounds. *J. Agri. Food Chem.*, 2010, 58, 9235-9241.
- [18] Liu Y., Qiu J., Yue Y., Li K., Ren G.: Dietary black-grained wheat intake improves glycemic control and inflammatory profile in patients with type 2 diabetes: a randomized controlled trial. *Ther. Clin. Risk Manag.*, 2018, 14, 247-256.
- [19] Lourenço S. C., Moldão-Martins M., Alves V. D.: Antioxidants of Natural Plant Origins: From Sources to Food Industry Applications. *Molecules*, 2019, 24, 4132.
- [20] Morgounov A., Karaduman Y., Akin B., Aydogan S., Baenziger P. S., Bhatta M., Chudinov V., Dreisigacker S., Govindan V., Güler S., Guzman C., Nehe A., Poudel R., Rose D., Gordeeva E., Shamanin V., Subasi K., Zelenskiy Y., Khlestkina E.: Yield and Quality in Purple-Grained Wheat Isogenic Lines. *Agronomy*, 2020, 10, 86.
- [21] Padhy A. K., Kaur P., Singh S., Kashyap L., Sharma A.: Colored wheat and derived products: key to global nutritional security. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 2022, 7, 1-17.
- [22] Rybalka O., Morgun V., Morgun B.: Colored grain of wheat and barley — a new breeding strategy of crops with grain of high nutritional value. *Fiziologia Rastenij i Genetika*, 2020, 52, 95-127.
- [23] Saini P., Kumar N., Kumar S., Mwaurah P. W., Panghal A., Attkan A. K., Singh V. K., Garg M. K., Singh V.: Bioactive compounds, nutritional benefits and food applications of colored wheat: a comprehensive review. *Cri. Rev. Food Sci. Nut.*, 2020, 61, 3197-3210.

- [24] Sharma S., Chunduri V., Kumar A., Kumar R., Khare P., Kondepudi K. K., Bishnoi M., Garg M.: Anthocyanin bio-fortified colored wheat: Nutritional and functional characterization. PLOS ONE, 2018, 13, e0194367.
- [25] Sharma S., Khare P., Kumar A., Chunduri V., Kumar A., Kapoor P., Mangal P., Kondepudi K. K., Bishnoi M., Garg M.: Anthocyanin-Biofortified Colored Wheat Prevents High Fat Diet-Induced Alterations in Mice: Nutrigenomics Studies. Mol. Nutr. Food Res., 2020, 64, 1900999.
- [26] Sharma S., Kumar A., Singh D., Kumari A., Kapoor P., Kaur S., Shreon B., Garg M.: Integrated transcriptional and metabolomics signature pattern of pigmented wheat to insight the seed pigmentation and other associated features. Plant Physiol. Biochem., 2022, 189, 59-70.
- [27] Tian S.-Q., Chen Z.-C., Wei Y.-C.: Measurement of colour-grained wheat nutrient compounds and the application of combination technology in dough. J. Cereal Sci., 2018, 83, 63-67.
- [28] Wang F., Ji G., Xu Z., Feng B., Zhou Q., Fan X., Wang T.: Metabolomics and Transcriptomics Provide Insights into Anthocyanin Biosynthesis in the Developing Grains of Purple Wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Agri. Food Chem., 2021, 69, 11171-11184.
- [29] Zhu F.: Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. Food Res. Int., 2018, 109, 232-249.
- [30] Zieliński H., Achremowicz B., Przygodzka M.: Przeciwułtleniacze ziarniaków zbóż. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość., 2012, 1(8), 5-26.

## ANTHOCYANINS IN COLORED WHEAT GRAINS – A NEW SOURCE OF HEALTH-PROMOTING FOOD

### S u m m a r y

**Background.** In addition to the long-known white and red varieties of common wheat, colored forms of wheat have emerged in recent decades, characterized by purple, blue and black grains. The anthocyanins they contain belong to the flavonoid group and are responsible for the color of grains. Purple wheat grain contains anthocyanins in the pericarp layer, blue wheat in the aleurone layer, and black wheat has anthocyanins distributed in both layers. Anthocyanins are bioactive components that can act as a functional component of foods or shape their functional characteristics, protecting against diabetes, hypertension and dyslipidemia. Colored wheat is also a good source of phenolic compounds other than anthocyanins, carotenoids, minerals, especially iron and zinc, and vitamins.

**Results and conclusion.** Colored wheat is a good technological raw material, not dissimilar to the previously used varieties of bread wheat and durum wheat. It is suitable for the production of bread, pastries, snack products and pasta, and even beer, soy sauce or vinegar. The stability of anthocyanins from colored wheat is reduced when high temperatures are used, but the overall antioxidant content of the resulting products is still high. Nutritional studies have confirmed the beneficial effects of food products obtained from colored wheat on consumer health. It is expected that products made from colored wheat varieties may become fashionable functional foods in many countries. The key challenge of large-scale commercialization is to generate market and consumer awareness. The purpose of this article was to present the current state of knowledge on anthocyanins found in colored wheat grains and their importance in potential food applications of this cereal.

**Keywords:** wheat, plant colorants, polyphenols, anthocyanins, antioxidants, health-promoting food 