



Charakterystyka i przydatność składników szarłat w biotechnologii żywności

Katarzyna Januszewska-Józwiak, Józef Synowiecki

Katedra Chemii, Technologii i Biotechnologii Żywności,
Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska, Gdańsk

Characteristics and suitability of amaranth components in food biotechnology

Summary

Nutritional value of amaranth seed is mainly caused by lipids with a good ratio between saturated and unsaturated fatty acids and high protein content with the essential amino acids composition better than that in FAO/WHO standard. Furthermore, the lack of gluten fraction makes the amaranth flour suitable for production of the dietetic food used during celiakia healing. Fractionation of amaranth meal into starch, lipids and protein components leads to the products useful in food, cosmetics and pharmaceutical industries. The advantageous property of amaranth starch is small granule size which brings about its suitability, e.g., for production of food thickeners, dusting powders for cosmetics as well as component of nonallergenic aerosols and biodegradable plastics. Usefulness of this starch is also due to low amylose content. Amaranth oil has been reported to contain relatively large amount of squalene which is used as an important ingredient in skin cosmetics and penetrants and can reduce serum cholesterol.

Key words:

amaranthus, nutritional value seeds.

Adres do korespondencji

Józef Synowiecki,
Katedra Chemii
Technologii
i Biotechnologii Żywności,
Wydział Chemiczny,
Politechnika Gdańska,
ul. Gabriela Narutowicza
11/12,
80-952 Gdańsk;
e-mail:
synowiec@chem.pg.gda.pl

1. Wstęp

Amarantus, nazywany w Polsce szarłatem był już uprawiany przez Inków, Azteków i Majów (1,2). Konkwistadorzy uważali go za symbol pogaństwa i zabronili upraw tej rośliny, która przez długi czas nie była wykorzystywana (3,4). Szarłat rozprzestrzenił

się jednak w krajach Ameryki, Europy, Azji i Afryki jako roślina ozdobna i chwast. Zainteresowanie szarłatem jako surowcem żywnościowym było skutkiem poszukiwania roślin alternatywnych charakteryzujących się m.in. lepszym składem aminokwasowym białek, zawartością korzystnie działających składników odżywczych oraz satysfakcjonującą wydajnością upraw. Przykładem takich roślin jest szarłat, gryka, komosa ryżowa, wiesiołek, łubin słodki, topinambur i kamelia olejodajna (5-8). Szarłat należy do rodziny *Amaranthaceae* obejmującej około 60 gatunków jednorocznych roślin o wysokości od 0,3 do 3 metrów (9). Dla celów spożywczych uprawiany jest głównie *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus hypochondriacus* i *Amaranthus caudatus*. Kwiatostany tych odmian szarłatu osiągają długość 50 cm i każdy z nich wytwarza około 50 tys. soczewkowatych nasion o kolorze kości słoniowej i średnicy 1-1,5 mm.

Szarłat jest rośliną o dużej wartości użytkowej wynikającej z korzystnego składu chemicznego nasion i liści. Istotną zaletą nasion szarłatu jest dość duża zawartość białek bogatych w aminokwasy egzogenne, lipidów o dużym udziale nienasyconych kwasów tłuszczowych oraz większej niż w innych źródłach zawartości skwalenu (10,11). Zaletą jest także satysfakcjonująca wydajność plonów przy niezbyt wielkim zapotrzebowaniu wody, odporność na suszę oraz intensywne, łagodzące skutki efektu cieplarnianego wiązanie atmosferycznego CO₂ (5,12,13). Wynika to z fotosyntezy typu C₄, efektywniejszej od typu C₃ specyficznej dla większości roślin uprawnych strefy umiarkowanej, u których podczas suszy i silnego nasłonecznienia następuje zamknięcie szparek liści w celu zmniejszenia strat wody (14). Skutkiem tego jest ograniczenie dostępności dwutlenku węgla i intensywności fotosyntezy. Szarłat podobnie jak np. kukurydza lub trzcina cukrowa korzysta w tym okresie z zapasów CO₂ zgromadzonych w komórkach pochwy wiązkowej, co przyspiesza rozwój rośliny (8,14).

Szarłat powinien być uprawiany na lekkich lub średniozwięzłych glebach charakteryzujących się wartością pH 6,5-7,5. Niewskazane jest natomiast lokalizowanie upraw na glebach zwięzłych, podatnych na zeskorupianie (3,15,16). Dawki i rodzaje nawozów powinny być podobne jak w przypadku innych zbóż. Należy jednak unikać zbyt dużych dawek nawozów azotowych, które powodują nadmierny wegetatywny wzrost rośliny, bez zwiększenia plonu nasion i wydłużają okres ich dojrzwania (17-19). Młode rośliny są wrażliwe na obniżenie temperatury i już przy 8°C następuje znaczne zahamowanie ich rozwoju. Dość długi, wynoszący 90-140 dni okres wegetacji różnych odmian szarłatu i konieczność opóźnienia wysiewu umożliwia zbioru dopiero od września do połowy października.

Obecnie uprawy szarłatu rozpowszechniły się w Meksyku, Gwatemali, Peru, Boliwii oraz w południowo-wschodniej Azji (Indie, Nepal, Chiny, Cejlon, Malezja) i Afryce (Uganda, Mozambik, Nigeria) (3,8,20,21). Zainteresowanie szarłatem rośnie też w wielu krajach Europy, m.in. z powodu możliwości jego uprawy na nieużytkach i obszarach stepowych, które powiększają się w wielu rejonach świata (2,14,22,23). Polskie uprawy szarłatu pojawiły się najwcześniej na Lubelszczyźnie, ale stopniowo

rozpowszechniają się także w innych rejonach kraju, a osiągnięta wydajność plonów sięga 30-35 q/ha. Rośnie też wykorzystanie nasion szarłatu służących obecnie np. jako źródło lipidów oraz do wytwarzania mąki, płatków, ekspandowanych ziaren, oraz niektórych rodzajów pieczywa.

W celu rozszerzenia upraw szarłatu w mniej korzystnych warunkach klimatycznych pożądanym jest przeprowadzenie modyfikacji genetycznych skracających okres wegetacji rośliny i zwiększających jej odporność na obniżenie temperatury. Zmniejszenie kosztu wytwarzanych z szarłatu lipidów i skwalenu zapewni racjonalne zagospodarowanie wycieków bądź śrutu poekstrakcyjnej, których składniki mogą być wykorzystane do produkcji syropów skrobiowych oraz hydrolizatów lub izolatów białkowych o dobrych właściwościach funkcjonalnych (24).

2. Charakterystyka i wartość biologiczna białek

Zawartość białek w nasionach szarłatu jest większa niż w tradycyjnych zbożach i zmienia się w zakresie 13-18% suchej masy, zależnie od odmiany rośliny, warunków klimatyczno-glebowych i sposobu nawożenia (tab. 1). Wchodzi one głównie w skład frakcji albumin, globulin, prolamin i glutelin, stanowiących odpowiednio 48,9-65%, 13,7-18,1%, 1,0-3,2%, oraz 22,4-42,3% ogólnej zawartości białek (23,25, 26). Podawane przez różnych autorów wartości różnią się jednak z powodu stosowania niejednakowych warunków ekstrakcji. Istotne znaczenie ma niewielka zawartość prolamin należących do frakcji glutenu, które nie zawierają występujących w pszenicy, jęczmieniu i życie gliadyny, sekaliny lub hordeiny, wywołujących niekorzystną odpowiedź immunologiczną (27,28). Umożliwia to wykorzystanie nasion szarłatu jako składnika żywności bezglutenowej przeznaczonej dla chorych na celiakię, ale utrudnia wytworzenie ciasta o odpowiednich właściwościach lepkosprężystych. Należące do poszczególnych frakcji białka spełniają rozmaite funkcje fizjologiczne. Niektóre albuminy wykazują np. działanie ochronne zabezpieczając roślinę przed rozwojem patogenów. Frakcja albumin zawiera lektyny, charakteryzujące się jednak niewielką aktywnością aglutynacji (250-krotnie mniejszą od lektyn soi) oraz dużą termolabilnością, powodującą utratę 90% pierwotnej aktywności już po 5 min ogrzewania w temp. 70°C (29,30). Wśród albumin znajdują się też inhibitory proteaz serynowych. Występują one jednak w bardzo małej ilości i według wielu autorów nie wywierają istotnego wpływu na strawność produktów wytworzonych z nasion szarłatu (31,32). Korzystnym oddziaływaniem inhibitorów trypsyny jest zwiększenie przepływu żółci do dwunastnicy. Nasila to przemianę cholesterolu w wątrobie przyczyniając się do spadku jego stężenia we krwi (33).

Tabela 1

Skład chemiczny nasion szarlatu *Amaranthus cruentus* oraz niektórych zbóż i roślin oleistych (35,37,66,67)

Rodzaj rośliny	Udział składnika (%)					
	Woda	Białko ogólne	Tłuszcz surowy	Błonnik	Cukry niewłókniste	Substancje mineralne
szarlat	6,2-11,5	13,2-18,9	4,8-10,0	2,2-4,4	56,6-65,0	2,2-4,0
pszenica	12,5-15,0	8,9-14,0	1,7-12,2	1,9-2,6	66,9-71,1	1,5-1,9
kukurydza	13,8-15,0	8,2-10,6	3,2-4,3	2,3-2,6	59,0-67,7	1,3-1,4
ryż	11,5-15,0	8,5-10,8	1,7-2,5	0,9-9,5	64,0-75,4	1,4-3,9
owies	13,0-15,0	10,3-13,5	4,8-7,5	1,4-10,3	56,4-61,6	1,9-3,6
żyto	12,0-13,0	8,2-13,0	1,6-1,7	1,9-2,5	69,0-70,7	1,7-1,9
jęczmień	9,4-14,0	9,3-12,6	1,8-2,3	4,5-17,3	67,0-73,5	2,3-2,5
soja	7,0	33,7	18,1	21,9	6,3	13,0
sezam	5,0	17,7	50,0	11,2	10,2	5,9
słonecznik	6,6	22,5	49,0	6,3	12,3	3,3

Globuliny szarlatu cechuje dobre wiązanie wody i lipidów oraz prawie 2-krotnie większa od izolatów sojowych zdolność tworzenia i stabilizacji emulsji. Największą stabilność wykazują emulsje o pH 6,5. Świadczy to o możliwości wykorzystania szarlatu jako składnika sosów i majonezów oraz do poprawy tekstury i innych właściwości funkcjonalnych niektórych produktów (34). Frakcja globulin zawiera głównie trimery i heksamery o współczynnikach sedymentacji 7S i 11S oraz masach cząsteczkowych 170-200 kDa i 300-400 kDa (35,36).

Białka nasion szarlatu charakteryzują się dobrą wartością biologiczną wynoszącą około 75% (13,24), strawnością rzeczywistą zmieniającą się zależnie od gatunku rośliny w granicach 79-87% (31) oraz podobną lub nawet większą od wzorca FAO/WHO zawartością aminokwasów egzogennych (tab. 2). Preparaty tych białek można zatem użyć do wytwarzania produktów mlekozastępczych, przydatnych dla ludzi uczulonych na białka mleka lub cierpiących na nietolerancję laktozy. Korzystną cechą białek szarlatu jest przewyższająca wzorzec zawartość lizyny, aminokwasów siarkowych oraz innych aminokwasów ograniczających zbóż tradycyjnych (2,13,31). W przypadku białek szarlatu aminokwasem ograniczającym jest leucyna, ale występuje ona w dość dużych ilościach np. w pszenicy lub kukurydzy i jej niedobór można skompensować mieszając mąkę szarlatu i innych zbóż (37). Użytecznym źródłem łatwo ekstrahowanych białek są też liście szarlatu (tab. 3), które można wykorzystać do otrzymywania izolatów białkowych o dobrych właściwościach funkcjonalnych i wartości żywieniowej lepszej od białek szpinaku, kapusty i zbóż (35). Białka liści szarlatu są bogate w lizynę, leucynę i izoleucynę, a aminokwasami ograniczającymi

są tryptofan, metionina i cysteina (31,24). Największą zawartość białek stwierdzono w liściach szarlatu prostego *A. hybridus* (9).

Tabela 2

Zawartość aminokwasów egzogennych (%) w białku ogólnym nasion i liści szarlatu (35,37,43,67)

Rodzaj aminokwasu	Nasiona szarlatu:			Liście szarlatu	Wzorzec FAO/WHO
	<i>Amaranthus caudatus</i>	<i>Amaranthus cruentus</i>	<i>Amaranthus hypochondriacus</i>		
Ile	2,7-4,1	2,9-3,7	2,8-3,8	4,3-6,4	2,8
Leu	5,8-6,3	4,8-5,9	5,0-5,9	4,9-9,6	6,6
Lys	5,5-6,4	4,8-5,8	3,2-6,0	4,1-7,4	5,8
Met + Cys	4,7-6,2	3,8-6,4	2,6-6,4	0,9-3,3	2,5
Phe + Tyr	6,2-9,1	5,6-8,5	6,9-8,5	6,4-10,1	6,3
Thr	3,8-4,2	3,2-4,6	2,6-4,3	3,0-7,0	3,4
Try	1,1-1,8	2,0-2,1	1,1-4,0	0,8-1,0	1,1
Val	3,9-4,7	3,9-4,3	3,2-4,2	4,6-6,3	3,5

Tabela 3

Skład chemiczny (% suchej masy) liści szarlatu i niektórych warzyw (3,5,35,68)

Składnik	Szarłat	Szpinak	Burak ćwikłowy	Kapusta
białko ogólne	32,3-46,5	34,4	26,9	32,6
tłuszcz surowy	6,8-9,1	3,2	3,4	5,4
błonnik	7,4-11,1	46,2	51,7	51,0
sole mineralne	19,5-35,4	16,1	18,0	10,9

3. Węglowodany szarlatu

Podobnie jak w przypadku innych zbóż głównym składnikiem frakcji węglowodanów występujących w nasionach szarlatu jest skrobia, której udział (45-65%) jest jednak mniejszy niż w tradycyjnych zbożach i zależy od gatunku rośliny oraz warunków uprawy (31). Jest ona umiejscowiona w peryspermie znajdującej się wewnątrz nasienia, natomiast duży obszar zewnętrznej części zajmuje zarodek w którego liścieniach jest zgromadzona główna część białek i lipidów. Stosując odpowiedni sposób przemiału można zatem uzyskać frakcje mąki wzbogaconej w poszczególne składniki.

Skrobia szarlatu wyróżnia się niewielkim rozmiarem ziaren (1-3 μm), podobnym do skrobi ryżowej (6-8 μm) i znacznie mniejszym od ziaren skrobi ziemniaczanej,

których średnica wynosi około 100 μm (38,39). Niewielki rozmiar ziaren jest przyczyną szybkiego podwyższania poziomu glukozy we krwi spowodowanego ułatwionym trawieniem oraz stymulowania sekrecji insuliny. Podwyższenie indeksu glikemicznego wskazuje na konieczność ostrożnego stosowania produktów z szarłat w diecie chorych na cukrzycę (33). Skrobię szarłat stosuje się m.in. do produkcji folii ulegających biodegradacji, aerozoli hipoalergicznym, stabilizatorów emulsji i zagęstników żywności oraz rozmaitych pudrów, zasypek i innych kosmetyków. W zależności od genotypu szarłat udział amylozy w ziarnach skrobi wynosi od 4,8 do 22%, ale niektóre gatunki tej rośliny zawierają tylko amylopektynę (15,40). Skrobia o niewielkiej zawartości amylozy jest zaliczana do tzw. skrobi woskowych, które tworzą żele o małej zdolności do retrogradacji i dużej stabilności podczas następujących kolejno cykli zamrażania i rozmrażania. Konsekwencją małej zawartości amylozy, która ułatwia wiązanie lipidów blokujących dostęp enzymów amylolitycznych jest polepszona strawność skrobi szarłat (38). Charakterystyczną cechą tej skrobi jest dość niska temperatura kleikowania, wysoka lepkość żeli w podwyższonej temperaturze, dobre właściwości sorpcyjne i większa zdolność pęcznienia od skrobi kukurydzy lub pszenicy (38,45,46). Podobnie jak w przypadku innych roślin skrobia szarłat jest związana w ziarnach z niewielką ilością białek (0,1-1%), lipidów (0,1-1,1%) i substancji mineralnych (0,1-1,4%) (38).

Ważną ze względu na oddziaływanie fizjologiczne frakcją szarłat jest błonnik, którego zawartość zależy od gatunku rośliny i jest podobna do ilości znajdującej się w ryżu lub kukurydzy (tab. 1). Zawartość błonnika w nasionach uprawianej w Polsce odmiany szarłat wynosi 2,2-4,4% (2). Błonnik składa się z substancji rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych w wodzie, które występują w różnych proporcjach zależnie od gatunku szarłat. Frakcja rozpuszczalna stanowi 14% ogólnej zawartości błonnika z *A. cruentus* i 25% w przypadku *A. hypochondriacus* (4,31). Rozpuszczalną część błonnika tworzą pektyny, kwas uronowy oraz nietrawione biopolimery zbudowane z glukozy, arabinozy, ksylozy, mannozy i galaktozy. Substancje te fermentują w przewodzie pokarmowym tworząc kwas octowy, mlekowy, masłowy oraz kwasy tłuszczowe zmieniające pH jelit i korzystnie wpływające na ich błonę śluzową (2,47). Frakcję nierozpuszczalną stanowią natomiast lignina, celuloza i hemicelulozy, które intensyfikują perystaltykę jelit oraz adsorbują – i wskutek tego – ograniczają wchłanianie substancji szkodliwych, kwasów żółciowych, metali ciężkich i niektórych związków kancerogennych. Substancje tworzące frakcję błonnika pobudzają też sekrecję śliny i wiążą nadmiar kwasu solnego w żołądku, zwiększają wydalanie kwasów żółciowych, obniżają poziom cholesterolu we krwi, ograniczają strawność składników spożywczych, zapobiegają zbyt szybkim zmianom poziomu glukozy we krwi oraz wykazują oddziaływanie prebiotyczne (4,27,48). Dość bogatym źródłem błonnika są liście szarłat (tab. 3) przydatne do wytwarzania różnych sałatek warzywnych (11,31).

Nasiona szarłat zawierają też około 1% inozytolu, niewielką ilość glukozy, fruktozy i innych monosacharydów, (których łączna zawartość zmienia się w zakresie

0,05-0,67%) oraz disacharydy takie jak rafinoza (0,27-2,3%), sacharoza (0,4-2,0%), maltoza (0,02-0,36%) i stachioza (0,02-0,29%). Zawartość rafinozy jest większa niż w pszenicy, ale mniejsza od ilości znajdującej się w kukurydzy (31,38,42).

4. Skład i wartość żywieniowa lipidów

Zawartość tłuszczu surowego w nasionach szarłatu różnych gatunków zmienia się w zakresie 4,8-10% i jest zbyt mała, by zapewnić jego opłacalną produkcję bez racjonalnego wykorzystania śruty poekstrakcyjnej. Korzystny skład frakcji lipidowej szarłatu jest jedną z głównych przyczyn dobrej wartości żywieniowej i zdrowotności tej rośliny, spowodowanej m.in. dość dużym udziałem nienasyconych kwasów tłuszczowych, który dla odmian uprawianych w celach spożywczych wynosi około 70% (11). Frakcja nasyconych kwasów tłuszczowych zawiera m.in. kwas palmitynowy (20,3-22,1%), stearynowy (2,6-3,8%) i mirystynowy, występujący w ilości 0,1-0,2% (11). Wśród nienasyconych kwasów tłuszczowych dominują kwas oleinowy (20,3-33,3%) i linolowy (38,2-51,7%) (49-51). Niewielka, bo nie przekraczająca 1,2% jest natomiast zawartość kwasu linolenowego (48). Duża ilość nienasyconych kwasów tłuszczowych przyczynia się do korzystnego oddziaływania zdrowotnego szarłatu, ale skutek przyspieszenia autooksydacji lipidów obniża trwałość niektórych produktów wytwarzanych z tej rośliny (52). Wolne lipidy (głównie triacyloglicerole) stanowią w *A. cruentus* 90-93% ogólnej ilości frakcji lipidowej, a pozostałość zawiera około 5% fosfolipidów oraz 2,6% glikolipidów. Dość bogatym źródłem lipidów występujących (zależnie od gatunku rośliny i warunków uprawy) w ilości 6,8-9,1% są też liście szarłatu (tab. 3). Zawierają one głównie kwas linolenowy (42%) i palmitynowy (14%) oraz w mniejszych ilościach kwasy linolowy, stearynowy i oleinowy (9). Gatunkiem o największej zawartości lipidów w liściach jest *A. tricolor* (9).

Ważnymi składnikami frakcji lipidowej szarłatu są tokoferole, tokotrienole i sterole. Zawartość tokotrienoli jest podobna lub nawet nieco wyższa od ich stężenia w oleju z oliwek. Dzięki dużej aktywności przeciwrodnikowej tokoferole i tokotrienole chronią fosfolipidy wchodzące w skład błon komórkowych, wzmacniają ścianki naczyń krwionośnych, ograniczają możliwość powstawania stanów zapalnych oraz są jedną z przyczyn hipocholesterolemicznego oddziaływania produktów żywnościowych zawierających nasiona szarłatu. Dobrym źródłem tokoferoli jest gatunek *A. cruentus*, zawierający we frakcji lipidowej nasion podobną ilość α -tokoferolu o biologicznej aktywności witaminy E, jak olej palmowy oraz rzepakowy i prawie dwukrotnie więcej od oleju sojowego i kukurydzianego (51). Znacznie większa niż w przypadku innych roślin jest zawartość fitosteroli występujących w nasionach szarłatu w ilości 0,22-0,36 mg/g suchej masy. We frakcji tych związków znajduje się m.in. 46-54% spinasterolu, 15-18% delta-7-stigmasterolu, 12-15% delta-7-ergosterolu oraz 10-13% stigmasterolu (4,53). Nie stwierdzono natomiast występowania nawet śladowych ilości cholesterolu (54).

5. Występowanie i znaczenie innych składników szarłatu

Wartościowym składnikiem szarłatu jest skwalen ekstrahowany z nasion razem z lipidami. Substancja ta jest trójterpenowym węglowodorem o właściwościach przeciwutleniaacza, występującym w ilości 6-8% tłuszczu surowego szarłatu (51). Skwalen znajduje się też w innych olejach roślinnych, ale w mniejszej ilości, wynoszącej w przypadku oliwy z oliwek 0,1-0,7% (55). Głównym źródłem skwalenu są wątroby rekinów i wielorybów, w których stanowi 70-80% masy frakcji lipidowej (56). Znaczenie fizjologiczne skwalenu polega na wspomaganiu transportu tlenu do komórek i usuwaniu ksenobiotyków, udziale w metabolizmie steroli i alkoholi trójterpenowych oraz w syntezie kwasów żółciowych, prowitaminy D i hormonów płciowych (54). Skwalen podobnie jak tokotrienole jest inhibitorem reduktazy HMG-CoA mającej podstawowe znaczenie w syntezie cholesterolu oraz zwiększa skuteczność leków przeciwdziałających chorobom serca i stymuluje układ immunologiczny organizmu (33). Ze względu na korzystne oddziaływanie fizjologiczne skwalen jest składnikiem wielu kosmetyków i maści o działaniu przeciwzapalnym i przeciwbólowym, leków łagodzących skutki uczuleń i wzmacniających naczynia krwionośne oraz łagodzących skutki przemęczenia fizycznego lub umysłowego. Jako komponent płaszcza lipidowego skóry węglowodór ten pełni funkcję antybakteryjną i przeciwgrzybiczną oraz ogranicza niekorzystne oddziaływanie promieniowania ultrafioletowego (57).

Nasiona szarłatu są lepszym od zbóż tradycyjnych źródłem składników mineralnych (głównie wapnia, fosforu, potasu, magnezu, żelaza i sodu), które stanowią średnio 3,3% ich masy (58). Na uwagę zasługuje znacznie większa niż w pszenicy zawartość żelaza oraz wynoszący 1,9-2,6, korzystny stosunek fosforu do wapnia (tab. 4). Dzięki znacznej zawartości żelaza, przekraczającej jego ilość w roślinach strączkowych, szpinaku i mięsie produkty z szarłatu są cennym uzupełnieniem diety dla dzieci i osób z objawami anemii. W nasionach szarłatu znajdują się też rozmaite mikroelementy, głównie mangan, nikiel, chrom, cynk, miedź, selen, jod i kobalt (58,59). Bogatym źródłem żelaza, wapnia, fosforu i innych pierwiastków są też liście szarłatu, stosowane m.in. do przyrządzania sałatek oraz surówek o walorach smakowych lepszych od szpinaku (tab. 4). Przyswajanie substancji mineralnych z surowych liści ograniczają jednak w pewnym stopniu znajdujące się w nich szczawiany i fityniany (60).

Pod względem zawartości witamin nasiona szarłatu nie różnią się szczególnie od innych zbóż i charakteryzują się występowaniem kwasu foliowego, pantotowego, niacyny oraz witamin grupy B (27,59). Doskonałym źródłem witaminy C są kielki i liście zawierające w 100 g świeżego materiału odpowiednio 80 mg oraz od 147 do 693 mg kwasu askorbinowego (52). W mrożonych liściach amarantusa zawartość witaminy C maleje jednak do około 40 mg/100 g. Nasiona oraz liście szarłatu są też źródłem naturalnych przeciwutleniaczy, głównie polifenoli, flawonoidów, antocyjanów oraz β -karotenu (59).

Tabela 4

Witaminy i sole mineralne w szarłacie i nasionach niektórych zbóż (9,59,67,69,70)

Składnik mg/100g	Szarłat:		Jęczmień	Owies	Kukurydza	Ryż	Żyto	Pszenna
	nasiona	liście						
Ca	130-340	1100-6200	40	80	15	25	65	45
P	480-650	300-900	340	340	255	325	335	345
Zn	3,3-4,0	2,0-9,0	3,1	4,5	1,4	1,4	1,3	4,0
Cu	0,57-1,2	19-44	–	–	–	–	–	–
Fe	7,3-21,7	10-50	2,8	5,8	1,45	2,6	4,6	3,0
Na	6,3-25,0	10-40	18	8,0	6,0	10	40	8,0
K	290-735	200-5600	445	355	330	150	510	500
Mg	218-363	1100-2500	115	130	120	155	120	145
tiamina	0,1-0,3	0,02-2,4	0,43	0,52	0,36	0,41	0,35	0,48
ryboflawina	0,1-0,4	2,1-2,5	0,18	0,17	0,20	0,09	0,17	0,14
niacyna	1,0-2,13	4,7-9,6	1,8	2,37	1,5	5,2	1,81	5,1
witamina C	2,3-7,0	147-693	–	–	–	–	–	–
biotyna	42-51	–	–	0,01	0,006	0,01	0,005	0,006
pirydoksyna	0,4-0,6	–	0,56	0,96	0,40	0,67	0,29	0,44
kwasy foliowe	42-44	–	0,06	0,03	0,02	0,02	0,04	0,05

Nasiona i liście szarlatu zawierają niewielką w porównaniu z innymi zbożami ilość inhibitorów proteaz, polifenoli, saponin, hemaglutynin, fityny oraz azotanów (V) i szczawianów. Nie wywierają one jednak istotnego oddziaływania fizjologicznego ze względu na występowanie w relatywnie małych ilościach (61). Saponiny zlokalizowane są głównie w korzeniach i nasionach oraz w mniejszej ilości w liściach tej rośliny. Występowanie saponin jest przyczyną tworzenia się piany podczas kiełkowania nasion (52,61). Liście szarlatu zawierają 0,3-0,8% azotanów (V) oraz 0,5-0,7% szczawianów i są pod tym względem podobne do szpinaku i innych warzyw (31,60). Aktywność inhibitorów proteaz serynowych zależy od gatunku szarlatu i jest ponad 20-krotnie mniejsza niż w surowej soi (61). Niewiele jest też polifenoli (0,04-0,56%) w skład których wchodzi m.in. taniny znajdujące się w okrywie nasiennej w ilości podobnej jak w innych zbożach (1,14).

Szarłat charakteryzuje się nieco mniejszą od innych zbóż zawartością fityny, która adsorbuje i zmniejsza wchłanianie substancji mineralnych oraz tworzy kompleksy z białkami ograniczając ich podatność na hydrolizę enzymatyczną. Nasiona i liście szarlatu zawierają odpowiednio 0,3-0,6% oraz 0,1-0,2% fityny, podczas gdy w ziarnie pszenicy znajduje się ona w ilości 0,9-1,1% (1,31,61). Mało jest też hemaglutynin i nasiona szarlatu wykazują znacznie mniejszą aktywność koagulującą od soi lub fa-

soli (1). Niekorzystną cechą szarłatu jest tendencja do akumulacji glinu, przewyższająca dość znacznie inne zboża i warzywa.

6. Wpływ procesów technologicznych na składniki nasion i liści szarłatu

Nasiona szarłatu służą m.in. do wytwarzania mąki, płatków i popkornu oraz są dodawane w ilości 10-15% do rozmaitych wyrobów piekarniczych. Surowe, blanszowane lub gotowane liście rośliny wykorzystuje się natomiast do sporządzania rozmaitych sałatek i innych potraw. Podczas wytwarzania tych produktów stosowane są różne procesy technologiczne, takie jak: mielenie, gotowanie, blanszowanie, prażenie, pieczenie, ekspandowanie, ekstruzja, modyfikacja enzymatyczna lub słodowanie. Przeprowadza się je m.in. w celu poprawienia właściwości sensorycznych i tekstury produktów, zwiększenia strawności białek i polisacharydów oraz obniżenia zawartości substancji antyżywniowych (4). Niektóre z tych procesów mogą jednak obniżać wartość biologiczną i pogarszać właściwości funkcjonalne w stopniu zależnym od technologii przerobu i rodzaju przetwarzanego składnika. Przyczyną tych zmian są rozmaite przemiany fizyczne i enzymatyczne, wyciek zawartości uszkodzonych komórek oraz termiczna degradacja składników lub ich ekstrakcja do ciekłego ośrodka, np. podczas rozparzania lub gotowania.

Stosując odpowiedni sposób mielenia i separacji poszczególnych frakcji nasion szarłatu można uzyskać mąkę wzbogaconą w białka, lipidy i substancje mineralne znajdujące się głównie w zewnętrznej części nasienia (24,31,50). Mąkę służącą do wytwarzania niektórych produktów z szarłatu otrzymuje się często ze słodowanych nasion. Podczas kiełkowania następuje zwiększenie zawartości lizyny i udziału frakcji rozpuszczalnych w wodzie białek oraz wzrost ich ogólnej zawartości wynoszący wg niektórych autorów aż 25-30%. Opublikowane w różnych opracowaniach informacje różnią się jednak dość znacznie (4,42,62). Wymienione przemiany białek odbywają się kosztem spadku ilości lipidów, skrobi i innych cukrów wykorzystywanych przez rozwijający się zarodek, a uzyskany produkt uzyskuje charakterystyczne różowe zabarwienie wywołane syntezą barwników antocyjanowych. Wskutek słodowania zmniejsza się też zawartość fityny i błonnika, a wzrasta udział witamin, głównie kwasu askorbinowego i ryboflawiny oraz w mniejszym stopniu pirydoksyny, tiaminy, biotyny i niacyny (42). Zbyt intensywne suszenie słoju w temperaturze 70-90°C powoduje jednak spadek zawartości wszystkich witamin oraz zmniejszenie dostępności aminokwasów i strawności białek.

Innym sposobem modyfikacji mąki szarłatu jest katalizowana α -amylazą częściowa hydroliza skrobi przebiegająca w temperaturze 80-90°C (4). Po odwirowaniu uzyskuje się dwie frakcje: rozpuszczalną, zawierającą po liofilizacji głównie oligosacharydy i tylko 1% białek oraz precypitat, w którym znajduje się 30-40% białek, 13-20% lipidów, 20% cukrów oraz 1% nierozłożonej skrobi (4). Frakcję tę ze względu na dobrą wartość biologiczną można wykorzystać jako substytut mleka.

Dość popularnym produktem są ekspandowane nasiona szarłatu. Podczas ich wytwarzania następuje wynoszące 7-15% zmniejszenie dostępności lizyny oraz wzrost strawności białek będący wynikiem rozfałdowania ich cząsteczek w podwyższonej temperaturze (63). Ekspandowanie jest także przyczyną zwiększenia zawartości rozpuszczalnego błonnika kosztem frakcji nierozpuszczalnej, spowodowanego prawdopodobnie częściową hydrolizą niektórych polisacharydów pod wpływem ogrzewania w wilgotnym środowisku (48). Skutkiem podwyższenia temperatury jest także nasilenie reakcji Maillarda, degradacja i utlenianie nienasyconych kwasów tłuszczowych (głównie linolowego i linolenowego) oraz około 3-krotny wzrost ilości wolnych kwasów tłuszczowych wywołany hydrolizą lipidów. Niekorzystnym efektem ekspandowania są dość duże straty witamin, a szczególnie witaminy C, której ilość maleje o około 40% początkowej zawartości (62).

Główną przyczyną niewielkich ubytków białek, węglowodanów, lipidów i substancji mineralnych podczas termicznej obróbki nasion i liści szarłatu w wodzie jest ekstrakcja tych składników w podwyższonej temperaturze. Wielkość strat zależy w dużym stopniu od temperatury i czasu trwania procesu oraz od rodzaju składnika. Podczas gotowania następuje zmniejszenie zawartości lipidów o około 6-8% ich początkowej ilości oraz wzrost udziału glutelin spowodowany intensywniejszą ekstrakcją albumin charakteryzujących się lepszą od innych białek rozpuszczalnością (63). Następuje też usunięcie niewielkiej ilości skrobi. Skutkiem ekstrakcji są znaczne straty sodu, magnezu i żelaza i niewielkie zmiany zawartości innych składników mineralnych (63). Niekorzystnym efektem gotowania jest duży ubytek witamin, a szczególnie witaminy C i niacyny, wywołany ich ekstrakcją i termiczną degradacją. Gotowanie lub blanszowanie skutecznie obniża zawartość szczawianów i azotanów (V) występujących w liściach szarłatu w ilości utrudniającej przyswajanie wapnia i niektórych innych pierwiastków. Ponieważ liście szarłatu są stosowane do sporządzania rozmaitych surówek, szczawiany są uważane za dość istotny czynnik antyżywnościowy i dąży się do selekcyjonowania gatunków szarłatu o ograniczonej zawartości tego składnika.

Obróbka termiczna jest skutecznym sposobem inaktywacji lub usuwania niektórych składników antyżywnościowych szarłatu. Podczas gotowania zmniejsza się zawartość związków fenolowych (o 24-32% początkowej ilości), którego skutkiem jest jednak niepożądane obniżenie przeciwutleniającego działania szarłatu (61,64). Suszenie nasion w podwyższonej temperaturze jest mniej skuteczne od gotowania i ilość rozłożonych związków fenolowych jest ponad 2-krotnie mniejsza (61). Gotowanie powoduje też prawie zupełną inaktywację inhibitora chymotrypsyny i 60-70% zmniejszenie aktywności inhibitora trypsyny (61). Ponadto wszystkie procesy termiczne są przyczyną spadku zawartości fityny o około 20% podczas gotowania i o 15% w przypadku ekstruzji (61).

7. Perspektywy biotechnologicznego doskonalenia szarlatu

Pomimo zalet wymienionych w poprzednich rozdziałach szarłat nie jest rośliną bez wad. Ich usunięcie jest możliwe przez wyselekcjonowanie nowych odmian tradycyjnymi sposobami lub też przez ich uzyskanie metodami inżynierii genetycznej. Efektem tych prac powinno być m.in. przystosowanie szarlatu do krajowych warunków klimatycznych, polegające na skróceniu okresu wegetacji tej rośliny oraz na zwiększeniu jej mrozoodporności, np. przez zainicjowanie syntezy białek termicznej histerezy. Korzystne jest także wyposażenie szarlatu w gen warunkujący odporność na herbicydy oraz znalezienie przyswajających azot mikroorganizmów zdolnych do życia w symbiozie z systemem korzeniowym szarlatu, których wykorzystanie zmniejszy ilość stosowanych nawozów azotowych. Celowe jest też poznanie funkcji enzymów zaangażowanych w szlakach metabolicznych szarlatu. W badaniach rozmaitych roślin transgenicznych wykazano, np. że manipulacje ekspresją genów kodujących inwertazy przyczyniają się do poprawy plonowania roślin i wzrostu ich odporności na suszę, niskie temperatury i zasolenie gleby (65).

Doskonalenie genetyczne szarlatu powinno też zmierzać do podwyższenia zawartości skwalenu i tłuszczu surowego, m.in. ze względu na przydatność tych składników do wytwarzania rozmaitych preparatów o prozdrowotnym oddziaływaniu. Celowe jest też wprowadzenie do genów strukturalnych dodatkowych kodonów warunkujących syntezę deficytowych aminokwasów, zablokowanie niektórych szlaków metabolicznych wytwarzających antyżywniowe składniki nasion oraz wyselekcjonowanie odmian o mniejszej zawartości szczawianów w liściach.

Odrębnym zagadnieniem jest opracowanie efektywnego sposobu wykorzystania odtłuszczonej mączki szarlatu do wytwarzania preparatów białkowych. Należy w tym celu dokonać wyboru proteaz, zapewniających dobre właściwości funkcjonalne produktu oraz ograniczenie wytwarzania gorzkich peptydów uzyskiwanych w przypadku stosowania enzymów o nieodpowiedniej selektywności. Pożądane jest także opracowanie sposobów strukturyzowania tych preparatów, np. z użyciem transglutaminazy, co umożliwi ich ewentualne wykorzystanie jako zamienników mięsa lub produktów mlecznych.

Literatura

1. Piesiewicz H., Ambroziak Z., (1995), *Przegl. Piekarski i Cukierniczy*, 6, 32-33.
2. Rutkowska J., (2006), *Przegl. Piekarski i Cukierniczy*, 1, 6-10.
3. Abalone R., Gastón A., Cassinera A., Lara M. A., (2006), *Biosyst. Eng.*, 93, 179-188.
4. Schnetzler K., Breene W., (1994), *Food uses and amaranth product research: a comprehensive review*, in: *Amaranth, Biology, Chemistry and Technology*, Ed. Paredes-López O., CRC Inc. Press, Boca Raton, Florida, 155-177.
5. Nalborczyk E., (1995), *Przegl. Piekarski i Cukierniczy*, 6, 34-35.
6. Aletor O., Oshodi A. A., Ipinmoroti K., (2002), *Food Chem.*, 78, 63-68.
7. Fasuyi A. O., (2007), *Food Chem.*, 103, 757-765.

8. Liu F., Stützel H., (2002), *Eur. J. Agron.*, 16, 137-150.
9. Teutonico R. A., Knorr D., (1985), *Food Technol.*, 39, 49-61.
10. Bressani R., Garcia-Vela L. A., (1990), *J. Agric. Food Chem.*, 38, 1205-1209.
11. Paško P., Bednarczyk M., Zachwieja Z., (2007), *Żywnie Czwoliewka Metabolizm*, 34(3/4), 1256-1268.
12. Prokopowicz D., (2001). *Med. Wet.*, 57, 559-561.
13. Zheleznov A. V., Solonenko L. P., Zheleznova N. B., (1997), *Euphytica*, 97, 177-182.
14. Laisk A., Edwards G. E., (1998), *Planta*, 205, 632-645.
15. Calzetta-Resio A. N., Aguerre R. J., Suárez C., (1999), *J. Food Eng.*, 42, 51-57.
16. Szot B., (1999), *Acta Agrophys.*, 18, 1-72.
17. Pospišil A., Pospišil M., Varga B., Svečnjak Z., (2006), *Eur. J. Agron.*, 25, 250-253.
18. Myers R. L., (1998), *Agron. J.*, 90, 597-602.
19. Schulte-Erley G., Kaul H., Kruse M., Aufhammer W., (2005), *Eur. J. Agron.*, 22, 95-100.
20. Amin I., Narazaidah Y., Hainida K. I., (2006), *Food Chem.*, 94, 47-52.
21. Fasuyi A. O., (2006), *African J. Biotechnol.*, 5, 49-53.
22. Gimplinger D. M., Dobos G., Schönlechner R., Kaul H., (2007), *Plant Soil Environ.*, 53(3), 105-112.
23. Silva-Sanchez C., Gonzalez-Castaneda J., de Leon-Rodriguez A., Barba de la Rosa A. P., (2004), *Plant Foods for Human Nutr.*, 59, 169-174.
24. Escudero N. L., DeArellano M. L., Luco J. M., Gimenez M. S., Mucciarelli S. I., (2004), *Plant Foods for Human Nutr.*, 59, 15-21.
25. Czarnecka J., Koziółkiewicz M., (2007), *Biotechnologia*, 2(77), 114-127.
26. Fidantsi A., Doxastakis G., (2001), *Colloids and Surfaces*, 21, 855-862.
27. Roučková J., Trčková M., Herzig I., (2004), *Czech J. Anim. Sci.*, 49, 532-541.
28. Gorinstein S., Pawelzik E., Delgado-Licon E., Haruenkit R., Weisz M., Trakhtenberg S., (2002), *J. Sci. Food Agric.*, 82, 886-891.
29. Koeppe S. J., Rupnow J. H., (1988), *J. Food Sci.*, 53, 1412-1417.
30. Saunders R. M., Becker R., (1984), *Adv. Cereal Sci. Technol.*, 357-372.
31. Grajeta H., (1997), *Bromat. Chem. Toksykol.*, 30(1), 17-23.
32. Correa A. D., Jokl L., Carlsson R., (1986), *Arch. Latinoam. Nutr.*, 36, 319-326.
33. Paško P., Bednarczyk M., (2007), *Bromat. Chem. Toksykol.*, 40, 217-222.
34. Marcone M. F., Yada R. Y., (1997), *Food Chem.*, 61, 319-326.
35. Segura-Nieto M., Barba de la Rosa A. P., Paredes-López O., (1994), *Biochemistry of amaranth proteins*, in: *Amaranth, Biology, Chemistry and Technology*, Ed. Paredes-López O., CRC Inc. Press, Boca Raton, Floryda, 75-106.
36. Marcone M. F., (1999), *Food Chem.*, 65, 533-542.
37. Tosi E. A., Re E. D., Masciarelli R., Sanchez H., Osella C., de la Torre M. A., (2001), *Lebensm.-Wiss. Technol.*, 35, 472-475.
38. López M. G., Bello-Pérez L. A., Paredes-López O., (1994), *Amaranth carbohydrates*, in: *Amaranth, Biology, Chemistry and Technology*, Ed. Paredes-López O., CRC Inc. Press, Boca Raton, Floryda, 107-131.
39. Mundigler N., (1998), *Starch/Stärke*, 50, 67-69.
40. Calzetta Resio A. N., Aguerre R. J., Suárez C., (2004), *J. Food Eng.*, 65, 197-203.
41. Konisi Y., Nojima H., Okuno K., Asaoka M., Fuwa H., (1984), *Agric. Biolog. Chem.*, 49, 1965-1971.
42. Colmenares de Ruiz A. S., Bressani R., (1990), *Cereal Chem.*, 67, 519-522.
43. Gamel T. H., Linssen J. P., Alink G. M., Mesallam A. S., Shekib L. A., (2004), *J. Sci. Food Agric.*, 84, 1153-1158.
44. Lindeboom N., Chang P. R., Tyler R. T., (2004), *Starch/Stärke*, 56, 89-99.
45. Jobling S., (2004), *Curr. Op. Plant Biol.*, 7, 210-218.
46. Guerra-Matias A. C., Arêas J. A., (2005), *Nutr. Res.*, 25, 815-822.
47. Rywotycki R., (2005), *Przegl. Zbożowo-Młynarski*, 10, 24-26.
48. Grajeta H., (2000), *Bromat. Chem. Toksykol.*, 33, 7-13.
49. Ratusz K., Wirkowska M., (2006), *Rośliny Oleiste*, 27, 243-250.
50. Berganza B. E., Moran A. W., Rodríguez G. M., Coto N. M., Santamaría M., Bressani R., (2003), *Plant Foods for Human Nutr.*, 58, 1-6.

51. León-Camacho M., García-González D. L., Aparicio R., (2001), *Eur. Food Res, Technol.*, 213, 349-355.
52. Bartnik M., Filipek, A., (1999), *Żywnienie Człowieka i Metabolizm*, 26, 229-241.
53. Marccone M. F., Kakuda Y., Yada R. Y., (2004), *Plant Foods for Human Nutr.*, 58, 207-211.
54. Stuchlik M., Žák S., (2002), *Biomed. Papers*, 146, 2, 3-10.
55. Małecka M., (1995), *Tłuszcze Jadalne*, 30, 123-130.
56. Sun H., Wiesenborn D., Tostenson K., Gillespie J., Rayas-Duarte P., (1997), *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 74, 413-418.
57. Kelly G. S., (1999), *Altern. Med. Rev.*, 4(1), 29-36.
58. Gajewska R., Lebedzińska A., Malinowska E., Szefer P., (2002), *Roczniki PZH*, 53, 2, 141-147.
59. Czerwiński J., Bartnikowska E., Leontowicz H., Lange E., Leontowicz M., Katrich E., Trakhtenberg S., Gorinstein S., (2004), *J. Nutrit. Biochem.*, 15, 622-629.
60. Aletor V. A., Adeogun O. A., (1995), *Food Chem.*, 53, 375-379.
61. Gamel T. H., Linssen J. P., Mesallam A. S., Damir A. A., Shekib L. A., (2006), *J. Sci. Food Agric.*, 86, 1095-1102.
62. Gamel T. H., Linssen J. P., Mesallam A. S., Damir A. A., Shekib L. A., (2005a), *J. Sci. Food Agric.*, 86, 82-89.
63. Gamel T. H., Linssen J. P., Mesallam A. S., Damir A. A., Shekib L. A., (2005b), *J. Sci. Food Agric.*, 85, 319-327.
64. Salunkhe D. K., Jadhav S. J., Kadam S. S., Chavan J. K., (1982), *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 17, 277-335.
65. Hawrylak B., Wolska-Mitaszko B., (2007), *Biotechnologia*, 2(77), 63-80.
66. Virk P., Saxena P. K., (2003), *Biores. Technol.*, 86, 25-27.
67. Sikorski Z. E., (2007), *Charakterystyka białek głównych surowców żywnościowych*, w: *Chemia Żywności*, red. Sikorski Z. E., WNT, Warszawa, 304-361.
68. Aletor O., Oshodi A. A., Ipinmoroti K., (2002), *Food Chem.*, 78, 63-68.
69. Svirskis A., (2003), *Agronomy Res.*, 2, 253-264.
70. Tyburcy A., (2007), *Przeegl. Zbożowo-Młynarski*, 4, 9-10.