

# Czy kiełkowane nasiona można zaklasyfikować do żywności funkcjonalnej?

## Can sprouts be classified as functional food?

MARIA DRZEWICKA, AGATA ZATOŃ, KATARZYNA SOBczyk, HALINA GRAJETA

Katedra i Zakład Bromatologii i Dietetyki, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

Skiełkowane nasiona cieszą się coraz większą popularnością wśród konsumentów zarówno w Europie Zachodniej, jak i w Polsce. W pracy na podstawie piśmiennictwa przedstawiono wartość żywieniową kiełków w aspekcie ich pozytywnego wpływu na organizm. Wiele badań wykazuje, że kiełki w porównaniu do nasion, odznaczają się wyższą zawartością składników odżywczych, takich jak: wolne aminokwasy, nienasycone kwasy tłuszczowe, witaminy oraz składniki mineralne. Kiełki są również lepszym niż nasiona źródłem antyoksydantów, takich jak: kwasy fenolowe i flawonoidy. Wielu naukowców badających wpływ procesu kiełkowania na zawartość tych związków zalicza kiełki do żywności funkcjonalnej, ale aby można je było uznać za żywność o takich właściwościach konieczne są niezależne badania naukowe z udziałem ludzi, które potwierdziłyby ich korzystne działanie prozdrowotne. Czasopisma naukowe publikują coraz więcej prac z wynikami takich badań.

**Słowa kluczowe:** *kiełki, wartość odżywcza, zmiany podczas kiełkowania, żywność funkcjonalna*

The sprouts of edible seeds are becoming more and more popular among consumers both in Western Europe and in Poland. On the basis of literature this paper shows the nutritional value of sprouts and their positive effects on the organism. A lot of research shows that sprouts have a higher content of nutrients, such as: free amino acids, unsaturated fatty acids, vitamins and minerals, as compared to seeds. Sprouts are also a better source of antioxidants, such as: phenolic acids and flavonoids. Many researchers investigating the effects of germination on the content of these compounds include sprouts in functional foods, but to consider them as such some independent studies on people are necessary, which would confirm their beneficial effects for health. Scientific journals publish more and more works with the results of such studies.

**Key words:** *sprouts, nutritive value, changes during germination, functional food*

© Probl Hig Epidemiol 2016, 97(4): 318-327

www.phie.pl

Nadesłano: 10.08.2015

Zakwalifikowano do druku: 10.10.2016

**Adres do korespondencji / Address for correspondence**

dr farm. Maria Drzewicka

Katedra i Zakład Bromatologii i Dietetyki

Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

ul. Borowska 211, 55-556 Wrocław

tel. 717 84 02 08, e-mail: maria.drzewicka@umed.wroc.pl

## Wprowadzenie

Główną przyczyną zgonów w krajach rozwiniętych i rozwijających się są przewlekłe choroby niezakaźne. Według danych WHO z powodu tych chorób umiera rocznie na świecie ok. 38 mln ludzi, w tym przyczyną zgonu ok. 17,3 mln ludzi są choroby układu sercowo-naczyniowego, ok. 7,6 mln choroby nowotworowe, a z powodu cukrzycy umiera ok. 1,3 mln. WHO szacuje, że do ok. 1,7 mln zgonów rocznie przyczynia się nieprawidłowy sposób żywienia [1]. Z tego powodu coraz więcej uwagi poświęca się znaczącej roli żywności i żywienia w zachowaniu zdrowia i prewencji tych chorób. Wśród konsumentów rośnie zapotrzebowanie na żywność mniej przetworzoną, o wysokiej wartości odżywczej, niskoenergetyczną i o właściwościach prozdrowotnych. Wzrost popytu na żywność o ukierunkowanym korzystnym wpływie na organizm przyczynił się do wyodrębnienia grupy produktów spożywczych określanymi mianem żywno-

ści funkcjonalnej [2]. Nie ma jednoznacznej, prawnej definicji takiej żywności w Polsce; często określa się ją jako żywność prozdrowotną. Według europejskiego programu badawczego FUFOSSE (*Functional Food Science in Europe*) z 1999 r. jest to żywność, która musi postacią przypominać żywność tradycyjną i poza efektem odżywczym, w ilościach zwyczajowo spożywanych z dietą, posiadać udowodniony korzystny wpływ na jedną lub wiele funkcji organizmu. Wpływ ten powinien polegać na poprawie stanu zdrowia lub samopoczucia lub zmniejszeniu ryzyka wystąpienia chorób. Tylko wyniki badań naukowych przeprowadzanych z udziałem ludzi potwierdzające korzystne profilaktyczne lub terapeutyczne oddziaływanie upoważniają do uznania danego produktu spożywczego za żywność o właściwościach prozdrowotnych [3]. Wyniki te, w formie tzw. oświadczenia zdrowotnego muszą podlegać autoryzacji i akceptacji przez Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA –

European Food Safety Authority European Food Safety Authority). Komisja Europejska decyduje o umieszczeniu oświadczenia w Unijnym Rejestrze Oświadczeń Żywnościowych i Zdrowotnych dotyczących żywności [4]. Do składników bioaktywnych decydujących o właściwościach prozdrowotnych żywności należą m.in.: błonnik pokarmowy, pro- i prebiotyki, wielonienasycone kwasy tłuszczowe z rodziny n-3, oligosacharydy, białka i peptydy, witaminy antyoksydacyjne (C, E,  $\beta$ -karoten), fitosterole, fitozwiązki o właściwościach przeciwutleniających (flawonoidy, karotenoidy, antocyjany, izoprenoidy) i składniki mineralne [5, 6].

Skiełkowane nasiona różnych gatunków roślin są produktami spożywczymi, które cieszą się wśród konsumentów coraz większą popularnością. Według definicji zawartej w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej L68/16 z 12 marca 2013 r. kiełki są produktem uzyskanym w wyniku kiełkowania nasion i ich rozwoju w wodzie lub innym nośniku, zbieranym przed wykształceniem się właściwych liści i przeznaczonym do spożycia w całości łącznie z nasionami [7]. Nasiona licznych gatunków roślin przeznaczone do kiełkowania lub kiełki gotowe do spożycia można obecnie nabyć w sklepach i supermarketach. Najczęściej do hodowli kiełków wykorzystuje się nasiona roślin oleistych (len, słonecznik, sezam, rzepak, orzeszki ziemne), nasiona roślin strączkowych (soi, fasoli mung, soczewicy, fasoli), nasiona zbóż (pszenicy, żyta, jęczmienia) i roślin pseudozbożowych (gryki, komosy ryżowej, szarlatu), a także nasiona brokołu, rzodkiewki, lucerny, rzeżuchy, kapusty białej, czerwonej, włoskiej, buraka ćwikłowego. Uprawa kiełków nie wymaga specjalnego sprzętu ani nie zajmuje dużo miejsca. Kiełkującym nasionom należy zapewnić jedynie świeżą wodę, dostęp tlenu i światła. Prosta technika i niski koszt uprawy oraz różnorodność smaków skiełkowanych nasion czynią je atrakcyjnymi dodatkami do wielu potraw, m.in. surówek i sałatek.

Wielu badaczy zalicza skiełkowane nasiona różnych gatunków roślin do żywności funkcjonalnej, stanowiącej alternatywę dla suplementów diety [6, 8-10]. Kiełki są produktami spożywczymi o wyższej zawartości składników odżywczych w porównaniu do nasion [6, 8-9], a podczas procesu kiełkowania stwierdzono istotny wzrost ilości związków o działaniu antyoksydacyjnym, takich jak tokoferole, kwas askorbinowy oraz polifenole [10-14].

Celem niniejszej pracy była na podstawie dostępne piśmiennictwa odpowiedź na pytanie: czy skiełkowane nasiona można zaliczyć do żywności funkcjonalnej?

### **Zmiany zachodzące podczas procesu kiełkowania nasion**

Kiełkowanie nasion (germinacja), to złożony proces, w trakcie którego nasiona po okresie spoczynku muszą szybko wznowić intensywność metabolizmu

w celu umożliwienia wyłonienia się zarodka z okrywy nasiennej i wzrostu siewki. Proces ten rozpoczyna się w momencie pobrania wody przez suche nasiona i kończy się dopiero, gdy zarodek przekształci się w autotroficzny organizm, którego metabolizm nie zależy od materiałów zapasowych zgromadzonych w nasieniu [15].

Przebieg germinacji zależy od wielu czynników, jak: dostępność wody, tlenu, światła, temperatura, czas spoczynku nasion, ich przepuszczalności dla wody i tlenu oraz związków obecnych w atmosferze i podłożu. Podczas kiełkowania zachodzą takie procesy jak: hydratacja białek, zmiany w strukturach wewnątrzkomórkowych, oddychanie komórkowe, synteza niezbędnych składników odżywczych i elongacja komórek [15-17].

W przebiegu procesu kiełkowania wyróżnia się trzy podstawowe fazy: imbibicji, kataboliczną i anaboliczną. Nasiona w stanie spoczynku zawierają 5-15% wody. Szybkie pobieranie wody przez koloidy nasiona podczas fazy imbibicji prowadzi do zwiększenia jego masy i objętości. W efekcie pęcznienia dochodzi do pęknięcia łupiny nasiennej, co umożliwia wzrost siewki. Wchłanianie wody indukuje szybki wzrost aktywności metabolicznej zarodka, podczas której dominuje oddychanie beztlenowe, a następnie w miarę aktywacji mitochondriów wytworzonych przed dehydratacją nasion lub syntezy nowych mitochondriów – oddychanie tlenowe. Do procesu oddychania wykorzystywane są w fazie imbibicji początkowo monosacharydy, a następnie oligosacharydy i polisacharydy ścian komórkowych. W fazie katabolicznej dominuje hydroliza wielkocząsteczkowych substancji stanowiących materiał zapasowy nasiona, takich jak polisacharydy, lipidy i białka. Podczas fazy anabolicznej przeważają procesy syntezy nowych składników komórkowych z produktów hydrolizy substancji zapasowych [15-17]. Proces absorpcji wody przez nasiona jest trójfazowy. W fazie imbibicji następuje szybki i znaczny napływ wody, następnie jej absorpcja ustaje i zostaje wznowiona dopiero po przebicciu okrywy nasiennej przez korzeń zarodkowy w fazie anabolicznej podczas rozwoju siewki. Proces kiełkowania nasion podlega regulacji przez hormony roślinne – jest stymulowany przez gibereliny oraz cytokiny, natomiast hamowany przez kwas abscysynowy [15, 16].

### **Wpływ procesu kiełkowania nasion na zawartość białka i aminokwasów**

W trakcie procesu kiełkowania białka zapasowe nasion ulegają rozpadowi do oligopeptydów oraz wolnych aminokwasów, będących substratami i źródłem energii do syntezy nowych związków peptydowych, niezbędnych w procesie wzrostu i rozwoju rośliny. Podczas tego procesu zmiany zawartości białka oraz składu aminokwasowego są bardzo zróżnicowane

w zależności od gatunku rośliny oraz warunków kiełkowania, takich jak: temperatura, dostęp światła i czas kiełkowania [9, 17].

Z badań Rozana i wsp. [18], którzy oznaczali zawartość wolnych aminokwasów w nasionach oraz kiełkach pięciu gatunków soczewicy wynika, że nasiona wszystkich badanych gatunków przed procesem kiełkowania zawierały niewielkie ilości wolnych aminokwasów, głównie asparaginy, alaniny, kwasu asparaginowego i glutaminowego. Po 4 dniach procesu kiełkowania nasion zawartość wolnych aminokwasów istotnie zwiększyła się w kiełkach wszystkich badanych gatunków, a najbardziej dynamicznie ilość argininy, od ok. 40- do 120-krotnie. Mogło to być spowodowane zarówno intensywną biosyntezą aminokwasów, jak i proteolizą białek zapasowych [18, 19]. Podobną tendencję stwierdzono także podczas kiełkowania nasion takich roślin jak: soja, łubin wąskolistny, sezam, kukurydza, fasolnik chiński, fasola mung [19-22]. W 5-dniowych kiełkach sezamu ogólna ilość wolnych aminokwasów była ok. 11-krotnie większa w porównaniu do nasion, a zawartość aminokwasów egzogennych (treoniny, waliny, leucyny, izoleucyny, tryptofanu i fenyloalaniny) 5- do 10-krotnie wyższa [20]. W skiełkowanych nasionach zbóż (gryki, jęczmienia, owsa, żyta, pszenicy i sorgo) i pseudozbóż po 5 dniach kiełkowania obserwowano znaczący wzrost ogólnej zawartości białka, najmniejszy w kiełkach pszenicy (o ok. 18%), a największy żyta (o ok. 61%) [13].

Martinez-Villaluenga i wsp. [23] badali wpływ procesu kiełkowania nasion 3 odmian grochu na zawartość białka ogółem i jego poszczególnych frakcji. Stwierdzili, iż dominującą frakcją białek w nasionach grochu były albuminy, które stanowiły 50% związków białkowych, w mniejszych ilościach globuliny (24%), oraz gluteliny i prolaminy (10%). Zmiany w ilości białka i jego frakcji po 5 dniach kiełkowania nasion były wielokierunkowe i zależały od odmiany grochu.

Czas kiełkowania nasion brokułu także wywierał wpływ na ilość wolnych aminokwasów. Proces kiełkowania nasion prowadzono przez 24, 72 i 120 h w tych samych warunkach; nasiona po 72 h kiełkowania zawierały najwięcej wolnych aminokwasów, potem ilość tych związków obniżała się [24].

Badano również wpływ czasu (24, 48, 72, 96 i 120 h), jak też światła o różnej długości fali podczas kiełkowania nasion ciecierzycy na zmiany zawartości białka. Najmniej białka zawierały kiełki rosnące w ciemności, a najwięcej po 96 h uprawy przy dostępie światła żółtego. Oba te czynniki miały również wpływ w warunkach *in vitro* na rozpuszczalność białka i jego strawność, które zwiększały się w miarę wydłużania czasu kiełkowania [25, 26].

### **Zmiany zawartości tłuszczu i kwasów tłuszczowych podczas procesu kiełkowania**

Główne źródło energii w nasionach podczas procesu kiełkowania stanowią triacyloglicerole, których rezerwy są wykorzystywane prawie całkowicie. W wyniku ich hydrolizy zostają uwolnione wolne kwasy tłuszczowe, które mogą być bezpośrednio wykorzystane w oddychaniu komórkowym albo ulegać konwersji do węglowodanów [27]. Wyniki większości badań wskazują, że tłuszcz zawarty w kiełkach jest bogaty w nienasycone kwasy tłuszczowe.

Podczas kiełkowania nasion roślin, takich jak: sezam, brokuły, lucerna, rzodkiewka, słonecznik, obserwowano znaczące zmniejszenie ilości tłuszczu [8, 20, 27, 28]. Stwierdzono również, że po 5 dniach uprawy w ciemności, zawartość tłuszczu istotnie wzrosła w kiełkach jęczmienia, owsa i żyta, a obniżyła się w kiełkach gryki, pszenicy, sorgo i brązowego ryżu [13]. Badania Mizuno i Yamady [29] wykazały istotny spadek ilości tłuszczu podczas kiełkowania nasion rzodkiewki z 34,3 do 1,2%, grochu z 2,1 do 0,4%, gryki z 2,4 do 0,5%, brokułu z 27,5 do 0,8%, rukoli z 26,8 do 0,6% oraz soi z 15,5 do 1,6%. W tłuszczu tych nasion i kiełków dominowały nienasycone kwasy tłuszczowe: kwas  $\alpha$ -linolenowy w kiełkach grochu (40,6% sumy wszystkich kwasów tłuszczowych) i brokułu (32,1%), linolowy w kiełkach soi (54,4%), a oleinowy w kiełkach gryki (35,9%).

Po 4 dniach kiełkowania nasion sezamu zawartość tłuszczu zmniejszyła się prawie 2-krotnie (z 52,1 do 29,1%), ale nie stwierdzono istotnych różnic w udziale nasyconych i nienasyconych kwasów tłuszczowych, z wyjątkiem 2-krotnego wzrostu udziału kwasu  $\alpha$ -linolenowego [30].

W kiełkach nasion pszenicy, soczewicy, lucerny, rzodkiewki i słonecznika, spośród nienasyconych kwasów tłuszczowych w największych ilościach występowały kwasy oleinowy i linolowy. Udział kwasu linolowego znacząco wzrastał, a oleinowego obniżał się tylko po kiełkowaniu nasion soczewicy. Skład kwasów tłuszczowych w tłuszczu kiełków pozostałych gatunków roślin nie zmieniał się. Całkowita zawartość tłuszczu 2-krotnie obniżała się po 6 i 7 dniach kiełkowania nasion lucerny, rzodkiewki i słonecznika [8]. Proces kiełkowania nasion 12 odmian genotypowych soi, w tym 6 odmian wysokooleinowych, nie wpłynął natomiast znacząco na skład nienasyconych kwasów tłuszczowych [31]. Z kolei kiełki 3 odmian lnu zawierały 2-krotnie mniej tłuszczu niż nasiona (odpowiednio 15,9 i 33,9% suchej masy). W tłuszczu z tych kiełków w porównaniu do nasion udział kwasu linolowego był istotnie wyższy (19,51 vs. 17,76%), a kwasu  $\alpha$ -linolenowego niższy (48,8 vs. 52,85%) [32].

### Wpływ procesu kiełkowania na zawartość węglowodanów

W trakcie kiełkowania polisacharydy w nasionach są rozkładane do oligosacharydów, a te do monosacharydów. Związki te są wykorzystywane przez kiełki jako źródło energii oraz do syntezy m.in. wielocukrów ściany komórkowej, lipidów strukturalnych, aminokwasów i białek [9].

Kim i wsp. [33] badali zmiany zawartości mono- i oligosacharydów podczas kiełkowania nasion gryki. W nasionach sacharoza występowała w ilości 1,25%; rafinoza 0,60%, natomiast zawartość ranozy, fruktozy, glukozy i maltozy nie przekraczała 0,20%. Po 6 dniach kiełkowania nasion ilość glukozy i fruktozy wzrosła odpowiednio 15- i 10-krotnie, istotnie zmniejszyła się natomiast ilość disacharydów (sacharozy i maltozy) oraz trisacharydu (rafinozy), co wskazuje na wykorzystanie oligosacharydów jako źródła energii przez kiełkujące nasiona gryki, zanim została w pełni uaktywniona hydroliza skrobi. Obserwowano także istotną zmianę zawartości mono- i oligosacharydów podczas kiełkowania nasion soi. Przed tym procesem w nasionach dominowała stachioza (19,21%) i sacharoza (7,11%). Po 24 h kiełkowania ilość stachiozy zmniejszyła się do 15,71%, sacharozy do 0,88%, a glukozy i fruktozy zmalała niemal o 50% [34]. Znaczące obniżenie zawartości rafinozy o 66% oraz stachiozy o 90% wykazała także Bieżanowska-Kopec i wsp. [35] w 5-dniowych kiełkach fasoli.

Zmiany zawartości skrobi podczas procesu kiełkowania zbóż i pseudozbóż były zróżnicowane w zależności od gatunku rośliny. Zawartość skrobi znacząco wzrosła: w kiełkach gryki (z 46,88 do 62,60%), jęczmienia (z 28,23 do 45,22%), owsa (z 40,61 do 46,57%), sorgo (z 33,65 do 47,72%) i brązowego ryżu (z 54,71 do 59,69%) [13].

W nasionach fasoli kiełkowanych przez 96 h odnotowano obniżenie zawartości skrobi o 55%, najbardziej dynamiczne między 12 a 84 h kiełkowania. Ilość cukrów redukujących natomiast zwiększyła się po 96 h ok. 50-krotnie, a nieredukujących ok. 2-krotnie [36]. Podobną tendencję stwierdzili Obizoba i Atii [37] badając skład nasion i kiełków sorgo po 24, 36, 48, 72 i 96 h kiełkowania. Obserwowali oni największy spadek zawartości skrobi po 24 h (o 46%), a wzrost ilości cukrów redukujących po 36 h kiełkowania.

Proces kiełkowania znacząco wpływał również na udział frakcji rozpuszczalnej i nierozpuszczalnej błonnika pokarmowego. Po 5 dniach kiełkowania nasion ciecierzycy ilość nierozpuszczalnej frakcji błonnika malała z 7,9 do 5,6% [25]. Martín-Cabrejas i wsp. [38] badali zmiany zawartości obu frakcji błonnika podczas kiełkowania nasion grochu, przeprowadzonego z dostępem światła lub w ciemności. W 6-dniowych kiełkach uprawianych przy dostępie światła zawartość błonnika nierozpuszczalnego wzrosła o ok. 18%, a frakcji rozpusz-

czalnej o ok. 64%. Podczas kiełkowania w ciemności, w takim samym okresie czasu, ilość błonnika nierozpuszczalnego zwiększyła się o ok. 36%, a rozpuszczalnego ok. 2-krotnie. Rozpuszczalne składniki błonnika stały się zatem jego dominującą frakcją w kiełkach uprawianych bez dostępu światła. Shakuntala i wsp. [39] po 68 h kiełkowania nasion kozieradki stwierdzili, że udział rozpuszczalnej frakcji błonnika w bielmie obniżył się 3-krotnie, a nierozpuszczalnej wzrósł ok. 2-krotnie.

### Wpływ procesu kiełkowania na zawartość witamin i składników mineralnych

Podczas procesu kiełkowania stwierdzono istotny wzrost zawartości witamin z grupy B, tokoferoli oraz witaminy C. Badania wykazały znaczący wzrost zawartości witaminy C w kiełkach wielu gatunków roślin w porównaniu do nieskielkowanych nasion. Przed kiełkowaniem w nasionach obserwowano jedynie śladowe jej ilości, a w kiełkach 100-150 razy wyższe (tab. I).

Kim i wsp. [34] stwierdzili prawie 3-krotny wzrost zawartości sumy tokoferoli po 24 h kiełkowania nasion soi: z 12,36 do 34,88 mg/100 g suchej masy (s.m.). W nasionach dominowała  $\gamma$ -tokoferol, który stanowił 67% całkowitej ilości tokoferoli i  $\delta$ -tokoferol (25%). W wyniku kiełkowania 6-krotnie wzrosła ilość  $\alpha$ -tokoferolu (z 6,6 do 36%), a  $\gamma$ -tokoferolu obniżyła się (do 59,9%). Według badań Shi i wsp. [46] zawartość  $\gamma$ -tokoferolu wzrastała do 3. dnia uprawy kiełków soi, a po następnych 2 dniach ulegała obniżeniu, natomiast ilość  $\alpha$ -tokoferolu była niewielka i nie zmieniała się. W nasionach sezamu występował  $\gamma$ -tokoferol; nie stwierdzono obecności  $\alpha$ -tokoferolu. W kiełkach po 4 dniach uprawy zawartość  $\gamma$ -tokoferolu 2-krotnie obniżyła się, a  $\alpha$ -tokoferolu wzrosła tak, że stosunek ilości  $\alpha$ - do  $\gamma$ -tokoferolu wyniósł 3:1 [30].

Tabela I. Zawartość witaminy C w nasionach i kiełkach  
Table I. Vitamin C content in seeds and sprouts

Gatunek rośliny /Plant species	Czas kiełkowania [dni] /Germination time [days]	Zawartość witaminy C /Vitamin C content		Piśmiennictwo /Reference
		nasiona /seeds	kiełki /sprouts	
gryka /buckwheat	7	0	171,5*	[33]
rzodkiew /radish	7	0,13-0,23	23,2-31,8***	[40]
rzepak /rapeseed	7	0	28,9***	[41]
ciecierzyca /chickpeas	5	19,0	60,0**	[41]
amarantu /amarantus	3	4,6-7,1	12,1-18,8*	[42]
fasolnik chiński /cowpeas	6	0	25,2*	[43]
brokuł /broccoli	5	0	128,1-161,8*	[44]
rzodkiew /radish	5	0	83,9-113,3*	[44]
brokuł /broccoli	14	0	53,0-64,0*	[45]

\*mg/100 g suchej masy (s.m.) /mg/100 g dry weight (d.w.); \*\*mg/100 g świeżej masy /mg/100 g fresh weight; \*\*\* $\mu$ mol/g s.m. /  $\mu$ mol/g d.w.

W 7-dniowych kiełkach gryki Kim i wsp. [33] wykazali 10-krotny wzrost ilości tiaminy i pirydoxyny. Colmenares de Ruiz i wsp. [42] obserwowali zmiany zawartości witamin po 72 h kiełkowania nasion 3 odmian amarantusa. W kiełkach dwóch odmian (*A. caudatus* i *A. cruentus*) stwierdzili istotny wzrost zawartości ryboflawiny (odpowiednio z 0,19 do 0,66 mg i z 0,21 do 0,60 mg/100 g s.m.). W mniejszym stopniu wzrosła ilość tiaminy, niacyny, biotyny i kwasu foliowego. El-Adawy [47] wykazał po 3 dniach kiełkowania nasion ciecierzycy znaczący wzrost zawartości ryboflawiny (z 173,33 do 201,33 µg/100 g s.m.) oraz nieco niższy pirydoxyny (z 466,33 do 483,00 µg/100 g s.m.). Jednocześnie w kiełkach istotnie obniżyła się ilość tiaminy (z 453,33 do 283,33 µg/100 g s.m.) i niacyny (z 1602,67 do 1518,61 µg/100 g s.m.). Zarówno Hefni i wsp. [48] po 2 dniach kiełkowania nasion pszenicy, jak i Kariluoto [49] po 7 dniach kiełkowania nasion żyta, stwierdzili ok. 4-krotny wzrost zawartości kwasu foliowego.

El-Adawy [47] badał zmiany zawartości składników mineralnych po 3 dniach kiełkowania nasion ciecierzycy. W kiełkach istotnie obniżyła się ilość potasu (o 42%). Zawartość innych składników mineralnych (Ca, Mg, Mn i Cu) w niewielkim stopniu uległa obniżeniu lub wzrosła (P, Fe i Zn), ale zmiany te nie były istotne statystycznie. Lee i wsp. [50] w 7-dniowych kiełkach gryki odnotowali istotny wzrost zawartości makroelementów: Ca o 60%, P i Mg o 30%, K o 25%, Na prawie 4-krotny i mikroelementów (Fe o 60%, Zn o 36%, Mn o 26% oraz Se – 2-krotny). Proces kiełkowania nasion sezamu prowadzony przez 4 dni w mniejszym stopniu wpłynął na zmiany w ilości składników mineralnych. Kiełki tej rośliny zawierały więcej Ca i Na o 10%, mniej Fe o 14% i K o 9% niż nasiona, natomiast ilości Mg, Zn, Cu, Mn w nasionach i kiełkach były zbliżone [30].

Do wzbogacenia skiełkowanych nasion w związki żelaza wykorzystuje się metodę biofortyfikacji polegającą na hodowli kiełków w podłożu wzrostowym wzbogaconym w jony  $Fe^{2+}$  [51]. Zielińska-Dawidziak i Siger [52] stwierdzili, że podczas kiełkowania w takich warunkach nasiona roślin strączkowych (soi i lucerny) wykazują zdolność do wysokiej kumulacji żelaza. Wynika to z intensywnej biosyntezy białka wiążącego żelazo (ferrytyny), która działa jako czynnik detoksyfikacyjny w odpowiedzi na stres wywołany wysoką koncentracją jonów tego pierwiastka. Park i wsp. [53] również obserwowali wzrost zawartości żelaza w skiełkowanych nasionach lucerny, które w fazie imbibicji moczo w roztworach chelatu żelaza (Fe(III)EDTA). Podobną tendencję wykazali Ávila i wsp. [54, 55], którzy zastosowali biofortyfikację selenianem sodu w procesie kiełkowania nasion warzyw kapustnych (brokuła, kalafiora, brukselki, kapusty, jarmużu). Kiełki poddane biofortyfikacji cechowała wyższa zawartość Se-metyloselenocysteiny

i sulforafaniny o działaniu przeciwnowotworowym. Biofortyfikacja nasion soi siarczanem cynku również powodowała kumulację tego pierwiastka w kiełkach [56]. Zdolność kumulowania składników mineralnych podczas procesu kiełkowania znacząco podwyższa wartość odżywcza kiełków, które mogą wzbogacać dietę w te mikroelementy.

### **Zmiany zawartości substancji antyodżywczych zachodzące podczas kiełkowania nasion**

W nasionach, głównie zbóż i roślin strączkowych, występują substancje antyodżywcze, takie jak taniny i fityniany. Kwas fitynowy wskutek tworzenia nierozpuszczalnych soli z jonami niektórych makro- i mikroelementów, m.in. Ca i Mg, Fe i Zn powoduje obniżenie biodostępności tych składników. Taniny tworzą nierozpuszczalne kompleksy z białkami, węglowodanami i tłuszczami, co obniża ich strawność i przyswajalność.

Korzystnym efektem procesu kiełkowania nasion jest zmniejszenie zawartości tych związków, co wpływa na lepsze wykorzystanie składników odżywczych. Istotnie niższą zawartość kwasu fitynowego stwierdzono w kiełkach kozieradki (o 42%) [57]. Po 60 h kiełkowania pszenicy i fasoli mung obserwowano istotny spadek ilości kwasu fitynowego (odpowiednio o 28 i 24%) i tanin (o 16 i 12%) [58]. Po 24 h kiełkowania nasion ciecierzycy, fasoli mung i soczewicy ilość kwasu fitynowego obniżyła się o 18-21%, co wpłynęło na zwiększenie biodostępności Fe o 64,6-81,3% oraz Ca o 59-70%. Odnotowano także niższą zawartość tanin (o 20-38%) oraz zwiększenie strawności skrobi o 53-82% i białka o 14-18% [59].

### **Wpływ procesu kiełkowania na zawartość związków o właściwościach przeciwutleniających**

Badania wielu autorów wykazały znaczący wzrost zawartości związków polifenolowych ściśle skorelowany ze zwiększeniem aktywności przeciwutleniającej podczas procesu kiełkowania nasion różnych gatunków roślin. W skiełkowanych nasionach fasoli mung stwierdzono 2-krotny wzrost całkowitej zawartości polifenoli, w tym proantocyjanidyn – jednocześnie odnotowano istotne zwiększenie aktywności przeciwutleniającej [9].

Ilość oznaczanych związków polifenolowych może różnić się w zależności od rodzaju rozpuszczalników zastosowanych do ich ekstrakcji z surowca. Dowiodły to badania Arroxelas i wsp. [60], którzy do ekstrakcji związków polifenolowych z kiełków fasoli mung zastosowali wodę dejonizowaną, 80% roztwór metanolu i 80% roztwór etanolu. W zależności od użytego rozpuszczalnika zawartość polifenoli w ekstraktach wynosiła odpowiednio: 1054,0; 962,1 i 989,5 mg/100 g s.m. surowca w przeliczeniu na katechinę; najbardziej skuteczną okazała się ekstrakcja

wodą. Ekstrakt wodny wykazywał też wysoki stopień (48,07%) hamowania utleniania kwasu linolenowego.

Gawlik-Dziki i Kowalczyk [61], po ekstrakcji polifenoli z 6-dniowych kiełków rzodkiewki przeprowadzonej 50% roztworem metanolu i 50% roztworem acetonu wykazali, że 50% roztwór metanolu był skuteczniejszy w ekstrakcji flawonoidów, a 50% roztwór acetonu w ekstrakcji kwasów fenolowych.

Samotyja i wsp. [11] oznaczali zawartość polifenoli i aktywność antyoksydacyjną w skiełkowanych nasionach 5 roślin (fasoli mung, rzodkwi, słonecznika, pszenicy i soczewicy). Najwyższą zawartością polifenoli charakteryzowały się kiełki słonecznika i rzodkwi, które wykazywały też najwyższą aktywność przeciwutleniającą.

Zawartość związków polifenolowych znacznie wzrastała w skiełkowanych nasionach komosy ryżowej, gryki i pszenicy – ponad 2-krotnie w stosunku do nasion. Najwięcej tych związków występowało w nasionach i kiełkach gryki; ilość ich wynosiła odpowiednio 323 oraz 670 mg/100 g s.m. w przeliczeniu na równoważnik kwasu galusowego. Aktywność przeciwutleniająca kiełków w stosunku do nasion również wzrastała – o blisko 50 %, co potwierdziło badanie metodą FRAP i DPPH [62].

Zielińska i wsp. [63] oznaczyli zawartość flawonoidów oraz aktywność przeciwutleniającą w nasionach oraz 6- i 8-dniowych kiełkach gryki, uprawianych bez dostępu i w obecności światła. W nasionach przed procesem kiełkowania stwierdzili spośród związków flawonoidowych tylko obecność rutyny. Proces kiełkowania nasion powodował wzrost aktywności przeciwutleniającej oraz nasilenie syntezy flawonoidów (witekssyny, izowitekssyny, orientyny i homoorientyny), aczkolwiek w nasionach kiełkowanych w ciemności ilość flawonoidów i aktywność antyoksydacyjna była istotnie niższa. Z badań Silvy i wsp. [64] wynika, że kiełki lucerny, soi i fasoli mung są dobrym źródłem wielu związków bioaktywnych o właściwościach przeciwutleniających (jak kwasy fenolowe, flawony, flawonole, izoflawony, monoterpeny), które mogą odgrywać korzystną rolę w hamowaniu bądź opóźnianiu procesów prowadzących do degeneracji i uszkodzenia komórek podczas stresu oksydacyjnego. Gawlik-Dziki i Świeca [65] w ekstraktach z kiełków 4 gatunków roślin (lucerny, rzeżuchy, rzodkiewki i soczewicy) oznaczyli zawartość polifenoli ogółem, kwasów fenolowych oraz flawonoidów. Najwyższą zawartość polifenoli stwierdzili w kiełkach z rodziny kapustowatych (rzeżuchy i rzodkiewki). Kiełki rzeżuchy były szczególnie bogate we flawonoidy, a rzodkiewki w kwasy fenolowe, natomiast skiełkowane nasiona soczewicy zawierały najmniejszą ilość tych związków. Badania biodostępności oznaczonych polifenoli wykazały jednak, że związki polifenolowe i flawonoidy w kiełkach soczewicy cechowały się najlepszą bioprzyswajalno-

ścią, pomimo ich niskiej zawartości. Świeca i wsp. [12] określali potencjał antyoksydacyjny biodostępnej frakcji kiełków brokułu. Oznaczyli w nich zawartość polifenoli, zdolność do neutralizacji kationorodnika ABTS oraz oszacowali biodostępność tych związków. Kiełki brokułu okazały się bardzo dobrym źródłem związków o wysokim potencjale antyoksydacyjnym. Całkowita zawartość polifenoli w przeliczeniu na kwas galusowy wynosiła 5,18 mg/g świeżej masy, flawonoidy stanowiły 7,3% tej wartości, a kwasy fenolowe 24,1%. Istotny wzrost potencjału antyoksydacyjnego stwierdzono także w kiełkach amarantusa i komosy mimo, że całkowita zawartość w nich związków polifenolowych w porównaniu do nasion w niewielkim stopniu obniżyła się [66]. Cevallos-Casals i Cisneros-Zevallos [67] porównali zawartość polifenoli i aktywność antyoksydacyjną nasion i kiełków 13 różnych gatunków roślin jadalnych (bobu, słonecznika, soi, fasoli mung, rzodkiewki, kozieradki, brokułu, soczewicy, pszenicy, jarmuzu, gorczycy, lucerny i cebuli). Nasiona po wstępnym namoczeniu poddali procesowi kiełkowania przez 7 dni. Najwyższą zawartością polifenoli odznaczały się skiełkowane nasiona gorczycy, słonecznika oraz brokułu. Kiełki tych roślin charakteryzowały się także wysokim poziomem aktywności antyoksydacyjnej. Zawartość polifenoli, a także aktywność przeciwutleniająca większości badanych nasion istotnie zwiększała się po 7 dniach kiełkowania, co potwierdziło korelację pomiędzy wzrostem ilości polifenoli i aktywności antyoksydacyjnej podczas procesu kiełkowania nasion. Obserwowano również tendencję odwrotną. Według badań Pysza i wsp. [68] w kiełkach różnych odmian soi następowało istotnie statystycznie obniżenie zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej w porównaniu do nasion przed procesem kiełkowania.

### ***Czy skiełkowane nasiona można zaliczyć do żywności funkcjonalnej?***

Wielu naukowców, którzy stwierdzają korzystny wpływ procesu kiełkowania na zawartość różnych składników odżywczych i bioaktywnych zalicza kiełki do żywności funkcjonalnej. Zgodnie z wytycznymi FUFOSSE i EFSA, konieczne są niezależne badania naukowe z udziałem ludzi, które potwierdziłyby korzystne prozdrowotne działanie skiełkowanych nasion spożywanych z dietą. W czasopiśmie naukowym ukazuje się coraz więcej prac z wynikami takich badań przeprowadzonych na zwierzętach doświadczalnych i z udziałem ludzi. Doświadczenia przeprowadzane na zwierzętach laboratoryjnych wskazują na znaczący wpływ wielu związków bioaktywnych zawartych w kiełkach na procesy metaboliczne, m.in. na gospodarkę lipidową i węglowodanową (tab. II).

Korzystne prozdrowotne działanie skiełkowanych nasion wielu gatunków roślin potwierdzają badania

Tabela II. Wpływ skiełkowanych nasion na gospodarkę lipidową i węglowodanową – przykłady badań na zwierzętach laboratoryjnych  
 Table II. The effect of sprouts on lipid and carbohydrate metabolism – the examples of laboratory animals studies

Zwierzęta laboratoryjne /Laboratory animals	Dieta; kiełki /Diet; sprouts	Rezultat /Effect	Piśmiennictwo /Reference
myszki /mice	wysokotłuszczowa; ekstrakt z kiełków z orzeszków ziemnych /high-fat diet; peanut sprouts extract	↓GLU, ↓TC (surowica /serum)	[69]
myszki z indukowaną cukrzycą /type 2 diabetic mice	standardowa; liofilizowane, sproszkowane kiełki gryki /standard diet; freeze-dried, grounded buckwheat sprouts	↓GLU, ↓TC (osocze /plasma) ↓TC, ↓TG (tkanka wątroby /liver tissue)	[70]
chomiki /hamsters	wysokotłuszczowa, wysokocholesterolowa; liofilizowane kiełki gryki /high-fat diet, high-cholesterol diet; lyophilized buckwheat sprouts	↓TC, ↓LDL, ↓LDL/HDL (surowica /serum) ↓TC (tkanka wątroby /liver tissue)	[71]
szczury /rats	wysokotłuszczowa; ekstrakt z kiełków brokułu /high-fat diet; broccoli sprouts extract	↓TG, ↓TC, ↓LDL, ↑HDL (surowica /serum) ↓TG, ↓TC (tkanka wątroby /liver tissue)	[72]
szczury z indukowaną cukrzycą /diabetic rats	standardowa; izolat białkowy z kiełków fasolnika wężowego /standard diet; protein isolate from cowpeas sprouts	↓TG, ↓TC, ↓TC/HDL, ↓LDL/HDL, ↑HDL (surowica /serum)	[73]
szczury z indukowaną cukrzycą /diabetic rats	standardowa; suszone, zmielone kiełki rzodkiewki i koniczyny /standard diet; dried, grounded radish and clover sprouts	↓GLU, ↓TC, ↓TG, ↓LDL, ↓VLDL (surowica /serum)	[74]
szczury /rats	wysokotłuszczowa; ekstrakt z kiełków z orzeszków ziemnych /high-fat diet; peanut sprouts extract	↓TG (osocze /plasma)	[75]
kury /hens	standardowa; świeże kiełki lucerny lub lnu /standard diet; fresh alfalfa or flax sprouts	↓TC (osocze /plasma) ↓ cholesterol, ↑ALA, ↑EPA, ↑DHA (żółtko /egg yolk)	[76]
szczury z indukowanym nadciśnieniem tętniczym /hypertensive rats	wysokoenergetyczna; liofilizowane, sproszkowane kiełki fasoli mung, brokułu, rzodkiewki, gryki lub soi /high-calorie diet; lyophilized, powdered sprouts of mung beans, broccoli, radish, buckwheat or soybean	↓TG, ↓TC (osocze /plasma) ↓ szybkości tętna /heart rate (dieta z kiełkami fasoli mung, brokułu gryki /diet with mung bean, broccoli and buckwheat sprouts)	[77]

GLU – glukoza /glucose; TC – cholesterol całkowity /total cholesterol; HDL – HDL cholesterol; LDL – LDL cholesterol; TG – trójglicerydy /triglycerides; VLDL – lipoproteina bardzo małej gęstości /very low density lipoprotein; ALA – kwas  $\alpha$ -linolenowy / $\alpha$ -linolenic acid; EPA – kwas eikozapentaenowy /eicosapentaenoic acid; DHA – kwas dokozaheksaenowy /docosahexaenoic acid

przeprowadzane z udziałem ludzi. Bahadoran i wsp. [78, 79] stwierdzili w randomizowanych badaniach klinicznych przeprowadzonych z udziałem pacjentów z cukrzycą typu 2, którzy spożywali z dietą przez okres 4 tygodni sproszkowane kiełki brokułu, istotne obniżenie w surowicy krwi stężenia trójglicerydów, stosunku utlenionego LDL (OxLDL) do LDL, wartości osoczowego wskaźnika aterosklerozy (API), a także stężenia insuliny i wartości wskaźnika insulinooporności (HOMA-IR) w porównaniu do kontroli. Obserwowali także znaczące obniżenie stężenia dialdehydu malonowego (MDA), OxLDL, wartości wskaźnika stresu oksydacyjnego (OSI) oraz korzystny wzrost całkowitej pojemności antyoksydacyjnej (TAC) surowicy krwi tych pacjentów [80]. Badania przeprowadzone z udziałem zdrowych ochotników, którzy przez 12 tygodni spożywali z dietą 400 g świeżych kiełków 2 odmian brokułu o wysokiej i standardowej zawartości glukorafaniny, wykazały istotne obniżenie w osoczu stężenia cholesterolu LDL. Stopień redukcji stężenia tej frakcji cholesterolu był proporcjonalny do zawartości glukorafaniny w spożywanych kiełkach [81].

Wyniki badań sugerują, że skiełkowane nasiona orzeszków ziemnych mogą znaleźć zastosowanie w terapii nadwagi i otyłości. Suplementacja diety ekstraktem z kiełków z orzeszków ziemnych przez okres 4 tygodni spowodowała u kobiet z nadwagą i otyłością znaczącą redukcję stężenia trójglicerydów i choleste-

rolu LDL w surowicy krwi oraz obniżenie ciśnienia skurczowego i zmniejszenie obwodu talii [82].

Korzystny wpływ kiełków soczewicy na gospodarkę lipidową stwierdzono u pacjentów z cukrzycą typu 2 i nadwagą lub otyłością. Pacjenci ci spożywali z dietą 60 g świeżych kiełków soczewicy. Po 8 tygodniach doświadczenia obserwowano w surowicy krwi znaczący spadek stężenia trójglicerydów i OxLDL oraz wzrost stężenia cholesterolu HDL [83].

Clarke i wsp. [84] wykazali istotnie wyższą zawartość sulforafanu w surowicy krwi zdrowych ochotników spożywających świeże kiełki brokułu niż po stosowaniu suplementu diety otrzymanego z liofilizatu kiełków, zawierającego równoważną ilość glukorafaniny. Świadczy to o lepszej biodostępności i konwersji glukorafaniny do sulforafanu ze świeżego produktu niż z suplementu diety.

Singh i wsp. [85] podawali chłopcom i młodym mężczyznom (w wieku 13-27 lat), ze zdiagnozowanym autyzmem, ekstrakt z kiełków brokułu. W zależności od masy ciała pacjenci przyjmowali 50-150  $\mu$ mol sulforafanu/dobę, a czas trwania terapii wynosił 18 tygodni. W trakcie terapii u pacjentów w porównaniu z osobami przyjmującymi placebo stopniowo zmniejszała się częstość takich reakcji, jak: drażliwość, ospałość, nadpobudliwość. Stwierdzono także polepszenie komunikacji werbalnej i relacji społecznych.

## Podsumowanie

Z przedstawionego przeglądu piśmiennictwa wynika, że kiełki licznych gatunków roślin w większości są lepszym niż nasiona źródłem łatwo przyswajalnych składników odżywczych. Stanowią też źródło wielu różnych związków biologicznie czynnych o szeroko ukierunkowanych właściwościach prozdrowotnych, istotnych w profilaktyce wielu schorzeń niezakaźnych.

Coraz więcej badań przeprowadzonych na zwierzętach laboratoryjnych oraz z udziałem ludzi dowodzi ich korzystnego wielokierunkowego wpływu na organizm człowieka. Z tego względu można je zaliczyć do asortymentu żywności funkcjonalnej stosowanej w prewencji licznych chorób niezakaźnych lub wspomagającej terapię tych chorób.

## Piśmiennictwo / References

1. Noncommunicable diseases. WHO. Version current March 2013. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs355/en/> (12.05.2015).
2. Kudełka W, Łobaza D. Charakterystyka żywności funkcjonalnej. Zesz Nauk AE Kraków 2007, 743: 91-120.
3. Scientific Concepts of Functional Foods in Europe. Consensus Document. Br J Nutr 1999, 81(Suppl 1): S1-S27.
4. Rozporządzenie (WE) nr 1924/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 20 grudnia 2006 r. w sprawie oświadczeń żywieniowych i zdrowotnych dotyczących żywności (Dz. Urz. UE z 30.12.2006, PL L 404: 9-25).
5. Pieszka M, Pietras MP. Nowe kierunki w badaniach żywieniowych – nutrigenomika. Roczn Nauk Zoot 2010, 37(2): 83-103.
6. Lange E. Produkty owsiane jako żywność funkcjonalna. Żywn Nauk Technol Jakość 2010, 3(70): 7-24.
7. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) nr 208/2013 z dnia 11 marca 2013 r. w sprawie wymogów dotyczących możliwości śledzenia kiełków i nasion przeznaczonych do produkcji kiełków. (Dz. Urz. UE z 12.03.2013, PL L 68: 6-18).
8. Márton M, Mándoki Z, Csapó J. Evaluation of biological value of sprouts. I. Fat content, fatty acid composition. Acta Univ Sapientiae Alimentaria 2010, 3: 53-65.
9. Lewicki PP. Kiełki nasion jako źródło cennych składników odżywczych. Żywn Nauk Technol Jakość 2010, 6(73): 18-33.
10. Randhir R, Kwon YI, Shetty K. Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings. Innov Food Sci Emerg 2008, 9(3): 355-364.
11. Samotyja U, Zdziebłowski T, Szlachta M, Małecka M. Przeciwtleniające właściwości ekstraktów z kiełków roślin. Żywn Nauk Technol Jakość 2007, 5(54): 122-128.
12. Świeca M, Gawlik-Dziki U, Dziki D i wsp. Kiełki brokuła jako źródło potencjalnie bioprzyswajalnych antyoksydantów. Bromat Chem Toksykol 2012, 45(3): 488-493.
13. Donkor ON, Stojanovska L, Ginn P, et al. Germinated grains – Sources of bioactive compounds. Food Chem 2012, 135: 950-959.
14. Pająk P, Socha R, Gałkowska D, et al. Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. Food Chem 2014, 143: 300-306.
15. Nonogaki H, Bassel GW, Bewley JD. Germination – still a mystery. Plant Sci 2010, 179(6): 574-581.
16. Weitbrecht K, Müller K, Leubner-Metzger G. First off the mark: early seed germination. J Exp Bot 2011, 62(10): 3289-3309.
17. Finch-Savage WE, Leubner-Metzger G. Seed dormancy and the control of germination. New Phytol 2006, 171(3): 501-523.
18. Rozan P, Kuo YH, Lambein F. Amino acids in seeds and seedlings of the genus *Lens*. Phytochemistry 2001, 58: 281-289.
19. Martínez-Villaluenga C, Kuo Y, Lambein F, et al. Kinetics of free protein amino acids, free non-protein amino acids and trigonelline in soybean (*Glycine max* L.) and lupin (*Lupinus angustifolius* L.) sprouts. Eur Food Res Technol 2006, 224(2): 177-186.
20. Liu B, Guo X, Zhu K, Liu Y. Nutritional evaluation and antioxidant activity of sesame sprouts. Food Chem 2011, 129(3): 799-803.
21. Olu M, Ogunmoyela OAB, Oluwajoba ESO. Essential amino acid composition of sprouted and unsprouted maize (*Zea mays*) & cowpea (*Vigna unguiculata*) grains as compared with FAO reference protein and egg protein. Int J Acad Res 2011, 3(2): 121-123.
22. Shah SA, Zeb A, Masood T, et al. Effects of sprouting time on biochemical and nutritional qualities of Mungbean varieties. Afr J Agric Res 2011, 6(22): 5091-5098.
23. Martínez-Villaluenga C, Gulewicz P, Frias J, et al. Assessment of protein fractions of three cultivars of *Pisum sativum* L.: effect of germination. Eur Food Res Technol 2008, 226(6): 1465-1478.
24. Tarasevičiūnė Z, Danilčenko H, Jariene E, et al. Changes in some chemical components during germination of broccoli seeds. Not Bot Hort Agrobot Cluj 2009, 37(2): 173-176.
25. Khattak AB, Zeb A, Bibi N, Khattak MS. Effect of germination time and type of illumination on proximate composition of chickpea seed (*Cicer arietinum* L.). Am J Food Technol 2008, 3(1): 24-32.
26. Khattak AB, Zeb A, Bibi N. Impact of germination time and type of illumination on carotenoid content, protein solubility and in vitro protein digestibility of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. Food Chem 2008, 109(4): 797-801.
27. Tonguç M, Elkoyunu R, Erbaş S, Karakurt Y. Changes in seed reserve composition during germination and initial seedling development of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Turk J Biol 2012, 36: 107-112.
28. Yang CJ, Zhang C, Lu YN, et al. The mechanisms of brassinosteroids' action: from signal transduction to plant development. Mol Plant 2011, 4(4): 588-600.
29. Mizuno T, Yamada K. Proximate composition, fatty acid composition and free amino acid composition of sprouts. J Integr Study Diet Habits 2006, 16(4): 369-375.
30. Hahm TS, Park SJ, Lo YM. Effects of germination on chemical composition and functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. Bioresour Technol 2009, 100(4): 1643-1647.
31. Dhakal KH, Jung KH, Chae JH, et al. Variation of unsaturated fatty acids in soybean sprout of high oleic acid accessions. Food Chem 2014, 164: 70-73.



32. Narina SS, Hamama A, Bhardwaj HL. Fatty acid composition of flax sprouts. *J Agric Sci* 2013, 5(4): 75-79.
33. Kim SL, Kim SK, Park CH. Introduction and nutritional evaluation of buckwheat sprouts as a new vegetable. *Food Res Int* 2004, 37(4): 319-327.
34. Kim SL, Lee JE, Kwon YU, et al. Introduction and nutritional evaluation of germinated soy germ. *Food Chem* 2013, 136(2): 491-500.
35. Bieżanowska-Kopec R, Franczyk M, Pisulewski PM, Polaszczyk S. Wpływ fermentacji przez *Rhizopus microsporus*, *Oligosporus* sp. T3 oraz kiełkowania na zmiany zawartości składników nasion fasoli (*Phaseolus vulgaris* L.). *Żywn Nauk Technol Jakość* 2006, 2(47): 93-101.
36. Mwikya SM, Van Camp J, Rodriguez R, Huyghebaert A. Effects of sprouting on nutrient and antinutrient composition of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* var. Rose coco). *Eur Food Res Technol* 2001, 212(2): 188-191.
37. Obizoba IC, Atii JV. Effect of soaking, sprouting, fermentation and cooking on nutrient composition and some anti-nutritional factors of sorghum (*Guinea*) seeds. *Plant Foods Hum Nutr* 1991, 41(3): 203-212.
38. Martín-Cabrejas MA, Ariza N, Esteban R, et al. Effect of germination on the carbohydrate composition of the dietary fiber of peas (*Pisum sativum* L.). *J Agric Food Chem* 2003, 51(5): 1254-1259.
39. Shakuntala S, Naik JP, Jeyarani T, et al. Characterisation of germinated fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seed fractions. *Int J Food Sci Tech* 2011, 46(11): 2337-2343.
40. Zieliński H, Piskuta MK, Michalska A, Kozłowska H. Antioxidant capacity and its components of cruciferous sprouts. *Pol J Food Nutr Sci* 2007, 57(3): 315-322.
41. Khattak AB, Zeb A, Khan M, et al. Influence of germination techniques on sprout yield, biosynthesis of ascorbic acid and cooking ability, in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Food Chem* 2007, 103(1): 115-120.
42. Colmenares de Ruiz AS, Bressani R. Effect of germination on the chemical composition and nutritive value of amaranth grain. *Cereal Chem* 1990, 67(6): 519-522.
43. Doblado R, Frías J, Vidal-Valverde C. Changes in vitamin C content and antioxidant capacity of raw and germinated cowpea (*Vigna sinensis* var. carilla) seeds induced by high pressure treatment. *Food Chem* 2007, 101: 918-923.
44. Martinez-Villaluenga C, Peñas E, Ciska E, et al. Time dependence of bioactive compounds and antioxidant capacity during germination of different cultivars of broccoli and radish seeds. *Food Chem* 2010, 120(3): 710-716.
45. Pérez-Balibrea S, Moreno DA, Garcia-Viguera C. Genotypic effects on the phytochemical quality of seeds and sprouts from commercial broccoli cultivars. *Food Chem* 2011, 125: 348-354.
46. Shi H, Nam PK, Ma Y. Comprehensive profiling of isoflavones, phytosterols, tocopherols, minerals, crude protein, lipid, and sugar during soybean (*Glycine max*) germination. *J Agric Food Chem* 2010, 58(8): 4970-4976.
47. El-Adawy TA. Nutritional composition and antinutritional factors of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing different cooking methods and germination. *Plant Foods Hum Nutr* 2002, 57(1): 83-97.
48. Hefni M, Witthöft CM. Increasing the folate content in Egyptian baladi bread using germinated wheat flour. *LWT Food Sci Technol* 2011, 44(3): 706-712.
49. Kariluoto S. Foliates in rye: determination and enhancement by food processing. Academic dissertation. University of Helsinki, Helsinki 2008. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/20828/folatesi.pdf?sequence=2> (21.09.2016).
50. Lee MH, Lee JS, Lee TH. Germination of buckwheat grain: effects on minerals, rutin, tannins and colour. In: *Advances in buckwheat research: proceedings of the 9th International Symposium on Buckwheat*. Research Institute of Crop Production, Prague 2004: 50-54.
51. Zielińska-Dawidziak M, Nawracała J, Piasecka-Kwiatkowska D, Król E i wsp. Wpływ roku zbioru nasion soi (*Glycine max* L. merrill) na akumulację żelaza z roztworów FeSO<sub>4</sub>. *Fragm Agron* 2012, 29(4): 183-193.
52. Zielińska-Dawidziak M, Siger A. Effect of elevated accumulation of iron in ferritin on the antioxidants content in soybean sprouts. *Eur Food Res Technol* 2012, 234(6): 1005-1012.
53. Park SA, Grusak MA, Oh MM. Concentrations of minerals and phenolic compounds in three edible sprout species treated with iron-chelates during imbibition. *Hort Environ Biotechnol* 2014, 55(6): 471-478.
54. Ávila FW, Faquin V, Yang Y, et al. Assessment of the anticancer compounds Se-methylselenocysteine and glucosinolates in Se-biofortified broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) sprouts and florets. *J Agric Food Chem* 2013, 61(26): 6216-6223.
55. Ávila FW, Yang Y, Faquin V, et al. Impact of selenium supply on Se-methylselenocysteine and glucosinolate accumulation in selenium-biofortified Brassica sprouts. *Food Chem* 2014, 165: 578-586.
56. Zou T, Xu N, Hu G, et al. Biofortification of soybean sprouts with zinc and bioaccessibility of zinc in the sprouts. *J Sci Food Agric* 2014, 94(14): 3053-3060.
57. Hooda S, Jood S. Effect of soaking and germination on nutrient and antinutrient contents of fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.). *J Food Biochem* 2007, 27(2): 165-176.
58. Hussain I, Uddin MB, Aziz MG. Optimization of antinutritional factors from germinated wheat and mungbean by response surface methodology. *Int Food Res J* 2011, 18(8): 957-963.
59. Ghavidel RA, Prakash J. The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. *LWT-Food Sci Technol* 2007, 40(7): 1292-1299.
60. Lima VLAG, Melo EA, Maciel MIS, et al. Fenólicos totais e atividade antioxidante do extrato aquoso de broto de feijão-mungo (*Vigna radiata* L.). *Rev Nutr* 2004, 17(1): 53-57.
61. Gawlik-Dziki U, Kowalczyk D. Wpływ warunków ekstrakcji na aktywność przeciwutleniającą ekstraktów z kiełków rzodkiewki. *Żywn Nauk Technol Jakość* 2007, 1(50): 132-139.
62. Alvarez-Jubete L, Wijngaard H, Arendt EK, et al. Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa, buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chem* 2010, 119: 770-778.
63. Zielińska D, Szawara-Nowak D, Ornatowska A, Gallangher E. Use of cyclic voltammetry, photochemiluminescence, and spectrophotometric methods for the measurement of the antioxidant capacity of buckwheat sprouts. *J Agric Food Chem* 2007, 55(2): 9891-9898.

64. Silva LR, Pereira MJ, Azevedo J, et al. Glycine max (L.) Merr., Vigna radiata L. and Medicago sativa L. sprouts: A natural source of bioactive compounds. *Food Res Int* 2013, 50(1): 167-175.
65. Gawlik-Dziki U, Świeca M. Sprouts of selected plants as a source of bioavailable antioxidants and lipoxygenase inhibitors. *Ann UMCS Lublin* 2011, 3(18): 161-168.
66. Paśko P, Bartoń H, Zagrodzki P, et al. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chem* 2009, 115(3): 994-998.
67. Cevallos-Casals BA, Cisneros-Zevallos L. Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species. *Food Chem* 2010, 119(4): 1485-1490.
68. Pysz M, Pisulewski PM, Leszczyńska T. Wpływ oddziaływania impulsowego i ciągłego pola mikrofalowego na wartość żywieniową i właściwości przeciwutleniające kiełkowanych nasion soi. *Żywn Nauk Technol Jakość* 2006, 1(46): 102-116.
69. Kim SS, Seo JY, Kim BR, et al. Anti-obesity activity of peanut sprout extract. *Food Sci Biotechnol* 2014, 23(2): 601-607.
70. Watanabe M, Ayugase J. Effects of buckwheat sprouts on plasma and hepatic parameters in type 2 diabetic db/db mice. *J Food Sci* 2010, 75(9): H294-H299.
71. Lin LY, Peng CC, Yang YL, Peng RY. Optimization of bioactive compounds in buckwheat sprouts and their effect on blood cholesterol in hamsters. *J Agric Food Chem* 2008, 56(4): 1216-1223.
72. Lee JJ, Shin HD, Lee YM, et al. Effect of broccoli sprouts on cholesterol-lowering and anti-obesity effects in rats fed high fat diet. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 2009, 38(3): 309-318.
73. Kanetro B. Hypocholesterolemic properties of protein isolate from cowpeas (*Vigna unguiculata*) sprout in normal and diabetic rats. *Procedia Food Sci* 2015, 3: 112-118.
74. Aly TAA, Fayed SA, Ahmed AM, El Rahim EA. Effect of Egyptian radish and clover sprouts on blood sugar and lipid metabolisms in diabetic rats. *Global J Biotech Biochem* 2015, 10(1): 16-21.
75. Ha AW, Kang NE, Kim WK. Ethanol extract of peanut sprout lowers blood triglyceride levels, possibly through a pathway involving SREBP-1c in rats fed a high-fat diet. *J Med Food* 2015, 18(8): 850-855.
76. Mattioli S, Dal Bosco A, Martino M, et al. Alfalfa and flax sprouts supplementation enriches the content of bioactive compounds and lowers the cholesterol in hen egg. *J Funct Foods* 2016, 22: 454-462.
77. Nakamura K, Koyama M, Ishida R, et al. Characterization of bioactive agents in five types of marketed sprouts and comparison of their antihypertensive, antihyperlipidemic, and antidiabetic effects in fructose-loaded SHR. *J Food Sci Technol* 2016, 53(1): 581-590.
78. Bahadoran Z, Mirmiran P, Hosseinpanah F, et al. Broccoli sprouts powder could improve serum triglyceride and oxidized LDL/LDL-cholesterol ratio in type 2 diabetic patients: A randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. *Diabetes Res Clin Pract* 2012, 96(3): 348-354.
79. Bahadoran Z, Tohidi M, Nazeri P, et al. Effect of broccoli sprouts on insulin resistance in type 2 diabetic patients: a randomized double-blind clinical trial. *Int J Food Sci Nutr* 2012, 63(7): 767-771.
80. Bahadoran Z, Mirmiran P, Hosseinpanah F, et al. Broccoli sprouts reduce oxidative stress in type 2 diabetes: a randomized double-blind clinical trial. *Eur J Clin Nutr* 2011, 65(8): 972-977.
81. Armah CN, Dardemezis C, Traka MH, et al. Diet rich in high glucoraphanin broccoli reduces plasma LDL cholesterol: Evidence from randomised controlled trials. *Mol Nutr Food Res* 2015, 59(5): 918-926.
82. Ha AW, Kim WK, Kim JH, Kang NE. The supplementation effects of peanut sprout on reduction of abdominal fat and health indices in overweight and obese women. *Nutr Res Pract* 2015, 9(3): 249-255.
83. Aslani Z, Mirmiran P, Alipour B, et al. Lentil sprouts effect on serum lipids of overweight and obese patients with type 2 diabetes. *Health Promot Perspect* 2015, 5(3): 215-224.
84. Clarke JD, Hsua A, Riedle K, et al. Bioavailability and inter-conversion of sulforaphane and erucin in human subjects consuming broccoli sprouts or broccoli supplement in a cross-over study design. *Pharmacol Res* 2011, 64(5): 456-463.
85. Singha K, Connors SL, Macklin EA, et al. Sulforaphane treatment of autism spectrum disorder (ASD). *PNAS* 2014, 111(43): 15550-15555.