

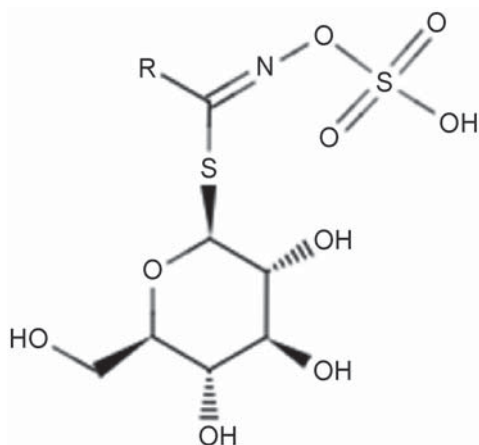
Kalina Sikorska-Zimny

WYBRANE GLUKOZYLANY I ICH POCHODNE: ŹRÓDŁA, WŁAŚCIWOŚCI ORAZ DZIAŁANIE NA ORGANIZM CZŁOWIEKA

Pracownia Przechowalnictwa i Fizjologii Pozbiorczej Owoców i Warzyw
Instytutu Ogrodnictwa w Skierniewicach
Kierownik: dr *K. Rutkowski*

Hasła kluczowe: glukozynolany, zawartość gls, warzywa, składniki prozdrowotne.
Key words: glucosinolates, gls content, vegetables, prohealthy compounds.

Glukozynolany (β -tioglikozydo-N-hydroksysiaraczany, gls) to związki rozpuszczalne w wodzie, należące do glikozydów, będące wtórnymi metabolitami roślin (1, 2, 3). Zidentyfikowano ponad 90 glukozynolanów, które podzielono na trzy podstawowe grupy: alifatyczne (łańcuch boczny jest pochodną: alaniny, izoleucyny, leucyny, metioniny, waliny), aromatyczne (łańcuch boczny jest pochodną: fenyloalaniny, tyrozyny) oraz glukozynolany indolowe (łańcuch boczny jest pochodną tryptofanu) (4, 5, 6).



Ryc. 1. Wzór glukozynolanu (bazy ChEBI) (7).
Fig. 1. Chemical structure of glucosinolate (ChEBI) (7).

Duże ilości glukozynolanów występują w warzywach krzyżowych (brokuł, jarmuż, kalafior, kalarepa oraz kapusta: brukselska, chińska, głowiasta biała, głowiasta czerwona, pekińska, włoska) (8, 9). Rośliny wykorzystują glukozynolany (głównie izotocjaniany) do walki ze szkodnikami. Znane są jednak gatunki owadów mogące

wykorzystywać toksyczne właściwości glukozyłanów do obrony przed drapieżnikami (10, 11). Korzystny wpływ na zdrowie człowieka mają produkty przemiany glukozyłanów, powstające izotocyjaniany i sulforafan (5).

Indolowe pochodne glukozyłanów uznaje się za związki o charakterze przeciwnowotworowym, natomiast alifatyczne formy odpowiedzialne za specyficzny, gorzki smak warzyw, w których występują (8, 12, 13).

Działanie

Spożywanie pokarmów bogatych w glukozyłany obniża ryzyko zachorowania na wiele typów nowotworów (żołądka, płuc, gruczołu krokowego, jelita, odbytu, piersi) (1, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18). Pochodne glukozyłanów mają działania przeciwzapalne, przeciwbakteryjne oraz są antyoksydantami (1, 15). Badania Santos i in. (19) potwierdziły działanie cytoprotekcyjne komórek narażonych na stres oksydacyjny. Wykazano również, że spożywanie warzyw krzyżowych indukuje enzymy biorące udział w procesach detoksykacji (20). Badania WHO wskazują, że spożywanie 400 g dziennie warzyw/owoców przyczynia się do obniżenia ryzyka wystąpienia szeregu przewlekłych chorób (8).

Niektóre z pochodnych glukozyłanów (indolo-3-acetonitryl) mogą mieć działanie szkodliwe dla ludzi (1). Badania nad indolo-3-karbinolem (I3K) wykazały, że może on również indukować powstawanie nowotworów, jedynie względem nowotworów piersi badania naukowe potwierdziły jego antykancerogeny charakter (13, 21).

Aktywność biologiczna

Przekształcenie glukozyłanów do ich aktywnie biologicznych pochodnych następuje pod wpływem działania mirozynazy (glukozyłaza tioglukozydowa EC 3.2.3.1), enzymu zawartego w komórkach (tzw. ciałach białkowych – ziarnach mirozynowych) (3). Pod jej wpływem następuje hydroliza wiązania β -tioglukozydowego glukozyłanów, z odszczepieniem cząsteczki glukozy i ostatecznym powstaniem tiocyjanianów, izotiocyanianów (pH roztworu poniżej 4), siarczanów oraz nitryli (pH roztworu 4), na przebieg reakcji ma wpływ obecność jonów metali, kofaktorów białkowych (1, 5, 11, 12, 14, 18, 22, 23). W komórkach mirozynaza oraz glukozyłany są fizycznie oddzielone – zatem by zaszła reakcja przekształcania enzymatycznego glukozyłanów, musi nastąpić uszkodzenie komórki (23).

Uczeni wskazują, że działanie przeciwnowotworowe (głównie sulforafanu i indolo-3-karbinolu) jest związane z oddziaływaniem tych związków na enzymy fazy I i II (1, 5, 20, 24, 25, 26, 27). Enzymy II fazy, obecne w śluzówce jelita cienkiego, wątrobie i okrężnicy są ściśle powiązane z reakcjami neutralizacji czynników rakotwórczych oraz zapoczątkowywania apoptozy komórek nowotworowych (11, 23, 24). Niestety należy pamiętać, że przemiana glukozyłanów w ich prozdrowotne pochodne nie zachodzi ze 100% wydajnością. W przypadku glukorafaniny (brokuły) aż 80% jest przekształcanych do nitryli – pozostała część do prozdrowotnego sulforafanu (18). Naukowcy wskazują, że przekształcenie glukozyłanów do prozdrowotnych pochodnych może mieć miejsce również w organizmach ludzkich pod wpływem mikroflory jelitowej (28).

T a b e l a I. Zawartość glukozynolanów w warzywach krzyżowych

T a b l e I. Content of glucosinolates in cruciferous

Warzywo	Zawartość gls.	Źródło
Brokuł	15,2–59,3 mmol/kg s.m.	Rosa i Rodrigez 2001
	1762 mmol/100 g s.m.	Verkerk i in.2001
	62,4 mmol/100 g s.m.	Song i Tornalley 2007
Chrzan	12–160 mg/100 g s.m.	Kwiatkowska 2007
Jarmuż	730,63 mmol/100 g s.m.	He i in. 2003
Kapusta chińska	84,74 mmol/100 g s.m.	He i in. 2003
Kapusta biała głowiasta	2144 mmol/100 g s.m.	Verkerk i in.2001
Kapusta czerwona głowiasta	1470 mmol/100 g s.m.	Verkerk i in.2001
Kapusta brukselska	17,2 mmol/100 g s.m.	Song i Tornalley 2007
Kalafior	13,5 mmol/100 g s.m.	Song i Tornalley 2007

Wybrane glukozynolany i ich pochodne

G l u k o b r a s y c y n a (oraz neoglukobrasycyna) – glukobrasycyna jest stabilna w szerokim zakresie pH, ulega rozkładowi w przypadku działania wyższej temperatury. Oba gls są głównymi przedstawicielami związków indolowych w warzywach krzyżowych. Największą zawartością glukobrasycyny odznacza się kapusta brukselska (3) (tab. II). Glukobrasycyna jest prekursorem indolo-3-karbinolu oraz askorbigeny, związków o działaniu antynowotworowym (32).

G l u k o i b e r y n a należy do glukozynolanów alifatycznych, jej działanie prozdrowotne jest powiązane z oddziaływaniem na obie fazy enzymów (hamowanie w przypadku enzymów fazy I detoksykacji oraz indukcja dla enzymów fazy II detoksykacji) ale i hamowaniem proliferacji komórek (24). Największą zawartością glukoiberyny odznacza się jarmuż (31) (tab. II).

G l u k o r a f a n i n a jest prekursorem sulforafanu. Badania Armach i współpr. (33) wykazały, że spożywanie brokułów o zwiększonej zawartości glukorafaniny spowodowało obniżenie poziomu cholesterolu (frakcja LDL) u ochotników biorących udział w badaniu. Najwięcej glukorafaniny występuje w brokułach (29) (tab. II).

I n d o l o - 3 - k a r b i n o l jest pochodnym glukobrasycyny, jego silne działanie przeciwnowotworowe jest powiązane z oddziaływaniem na hormony. Badania wykazały, że estrogeny (w pewnych warunkach) mogą prowadzić do procesów nowotworowych (34). Indolo-3-karbinol przekształca estrogeny do produktów nie indukujących/wspierających rozwój nowotworu (w przypadku pewnych nowotworów hormonozależnych).

N e o g l u k o b r a s y c y n a – podobnie jak glukobrasycyna jest pochodną L-tryptofanu. Najwięcej neoglukobrasycyny znajduje się w brokułach (29) (tab. II).

P r o g o i t r y n a uważana za substancję antyodżywczą z uwagi na ograniczanie wchłaniania jodu przez organizm ludzki (jod nie jest przyłączany do tyrozyny lub tyroniny, tym samym nie są wytwarzane hormony tarczycy), należy do związków wolotwórczych. Najwięcej progointryny występuje w kapuście brukselskiej (6) (tab. II).

Table II. Zawartość wybranych glukozynolanów i ich pochodnych w warzywach krzyżowych
 Table II. Content of chosen glucosinolates and their derivatives in cruciferous

Nazwa zwyczajowa (skrót)	Nazwa chemiczna (bazy PubChem Compound)	Zawartość glukozynolanów i ich pochodnych w wybranych roślinach wg autora	Zawartość w mg/kg	Masa cząst. w g/mol (bazy PubChem Compound)
Glukobrasycyna (GBS; GB)	3-Indolylmethyl	jarmuż: 7,12 mmol/g s.m. kapusta głowiasta biała: 294 mmole/100 g s.m. kapusta głowiasta czerwona: 175 mmol/100 g s.m. brokuly: 350 mmol/100 g s.m. 0,38 mmol/g s.m. 2,3–11 mmol/kg s.m. kapusta brukselska: 3,74 mmol/g s.m. kalafior: 1,53 mmol/g s.m.	3193,11 mg/kg s.m. 1318,50 mg/kg s.m. 784,82 mg/kg s.m. 1569,65 mg/kg s.m. 170,42 mg/kg s.m. 1031,48–4933,17 mg/kg s.m.	448,47
		Cartea i in.2008 Verkerk i in. 2001 Verkerk i in. 2001 Verkerk i in. 2001 Tian i in. 2005 Rosa i Rodrigez 2001 Tian i in. 2005 Tian i in. 2005		
Glukoiberyna (GIB)	3-Methylsulfinylpropyl	jarmuż: 7,9 mmol/g s.m. kapusta głowiasta biała: 542 mmole/100 g s.m. 46,04 mmol/100 g s.m. kapusta głowiasta czerwona: 103 mmol/100 g s.m. brokuly: 165 mmol/100 g s.m. 0,13 mmol/g s.m. 17,7 mmol/100 g s.m. kapusta brukselska: 0,58 mmol/g s.m. 1,5 mmol/100 g s.m. kalafior: 0,42 mmol/g s.m. 1,34 mmol/100 g s.m.	3337,51 mg/kg s.m. 2289,79 mg/kg s.m. 194,51 mg/kg s.m. 435,14 mg/kg s.m. 697,08 mg/kg s.m. 54,92 mg/kg s.m. 74,78 mg/kg s.m. 245,03 mg/kg s.m. 6,34 mg/kg s.m. 177,44 mg/kg s.m. 5,66 mg/kg s.m.	422,47
		Cartea i in.2008 Verkerk i in. 2001 Palani i in. 2016 Verkerk i in. 2001 Verkerk i in. 2001 Tian i in. 2005 Song i Tormalley 2007 Tian i in. 2005 Song i Tormalley 2007 Tian i in. 2005 Song i Tormalley 2007		

Table II. Zawartość wybranych glukozynolanów i ich pochodnych w warzywach krzyżowych (cd.)
 Table II. Content of chosen glucosinolates and their derivatives in cruciferous (cont.)

Nazwa zwyczajowa (skrót)	Nazwa chemiczna (bazy PubChem Compound)	Zawartość glukozynolanów i ich pochodnych w wybranych roślinach wg autora	Zawartość w mg/kg	Masa cząst. w g/mol (bazy PubChem Compound)
Glukorafanina (GRA; RAPH)	4-Metylosulfinylobutył	jarmuż: 0,13 mmol/g s.m. kapusta głowiasta biała: 4 mmole/100 g s.m. kapusta głowiasta czerwona: 425 mmol/100 g s.m. brokuly: 735 mmol/100 g s.m. 1,05 mmol/g s.m. 7,1 mmol/g s.m. 4,4–28,5 mmol/kg s.m. 29,4 mmol/100g s.m. kapusta brukselska: 0,15 mmol/g s.m. 0,55 mmol/100 g s.m. kalfalior: 0,05 mcromol/g s.m. 0,31 mmol/100 g s.m.	56,75 mg/kg s.m. 17,46 mg/kg s.m. 1855,13 mg/kg s.m. 3208,28 mg/kg s.m. 458,33 mg/kg s.m. 3099,15 mg/kg s.m. 1920,60-12440,25 mg/kg s.m. 128,33 mg/kg s.m.	436,50
		Cartea i in. 2008 Verkerk i in. 2001 Verkerk i in. 2001 Verkerk i in. 2001 Tian i in. 2005 Jeffery E. i in. 2003 Rosa i Rodrigez 2001 Song i Tomalley 2007 Tian i in. 2005 Song i Tomalley 2007 Tian i in. 2005 Song i Tomalley 2007	21,83 mg/kg s.m. 2,40 mg/kg s.m. 21,83 mg/kg s.m. 1,35 mg/kg s.m.	
Indolo-3-karbinol (I3K)	1 <i>H</i> -Indolo-3-metanol;	kapusta: 0,1–1,9 mmol/kg s.m. kalfalior: 0,1–1,6 mmol/kg s.m. kapusta brukselska: 0,5–3,2 mmol/kg s.m.	0,01–0,03 mg/kg s.m. 0,01–0,24 mg/kg s.m. 0,07–0,47 mg/kg s.m.	147,18
Neogluko-brasycyna (NGBS; NeoGB)	1-Methoxy-3-indolylmethyl	jarmuż: 0,7 mmol/g s.m. kapusta głowiasta biała: 8 mmole/100 g s.m. kapusta głowiasta czerwona: 2,2 mmol/100 g s.m. brokuly: 96 mmol/100 g s.m. 0,11 mmol/g s.m. 0,4–10,9 mmol/kg s.m. kalfalior: 0,23 mmol/g s.m.	334,94 mg/kg s.m. 38,28 mg/kg s.m. 10,53 mg/kg s.m. 459,35 mg/kg s.m. 52,63 mg/kg s.m. 191,40–5215,54 mg/kg s.m. 110,05 mg/kg s.m.	478,49
		Cartea i in. 2008 Verkerk i in. 2001 Verkerk i in. 2001 Verkerk i in. 2001 Tian i in. 2005 Rosa i Rodrigez 2001 Tian i in. 2005		

Table II. Zawartość wybranych glukozyzolanów i ich pochodnych w warzywach krzyżowych (cd.)
 Table II. Content of chosen glucosinolates and their derivatives in cruciferous (cont.)

Nazwa zwyczajowa (skrót)	Nazwa chemiczna (bazy PubChem Compound)	Zawartość glukozyzolanów i ich pochodnych w wybranych roślinach wg autora	Zawartość w mg/kg	Masa cząst. w g/mol (bazy PubChem Compound)	
Progoitrina (PRO; PROG)	2 (R)-2-Hydroxy-3-butenyl; 2-hydroksy-3-butenyl	jarmuż: 0,72 mmol/g s.m. kapusta głowiasta biała: 113 mmole/100 g s.m. kapusta głowiasta czerwona: 99 mmol/100 g s.m. brokuły: 254 mmol/100 g s.m. 0,0009 mmol/g s.m. 3,33 mmol/100 g s.m. 0–12,9 mmol/kg s.m. kapusta bruksejska: 1,33 mmol/g s.m. 2,41 mmol/100 g s.m. 0,7–2,8 g/kg s.m. kalfalior: 0,086 mmol/g s.m. 0,45 mmol/100 g s.m.	Cartea i in. 2008 Verkerk i in. 2001 Verkerk i in. 2001 Verkerk i in. 2001 Tian i in. 2005 Song i Tormalley 2007 Rosa i Rodrigez 2001 Tian i in. 2005 Song i Tormalley 2007 Doorn i in. 1998 Tian i in. 2005 Song i Tormalley 2007	279,64 mg/kg s.m. 438,88 mg/kg s.m. 384,51 mg/kg s.m. 986,51 mg/kg s.m. 0,35 mg/kg s.m. 12,93 mg/kg s.m. 0–5010,23 mg/kg s.m. 516,56 mg/kg s.m. 9,36 mg/kg s.m. 700–2800 mg/kg s.m. 33,04 mg/kg s.m. 1,75 mg/kg s.m.	388,39
Sulforafan (SNF)	1-izotio-cjanato-4-metylo-sulfinylobutan	kapusta biała głowiasta: 3,0 mg/g s.m. 3,91–52 mg/kg s.m. brokuły: 14,6 mg/g s.m.	Liang i in. 2006 Li i in. 2012 Liang i in. 2006	3 mg/kg s.m. 5,73–52 mg/kg s.m. 14,6 mg/kg s.m.	177,29
Synigrina (SIN)	Glukozyzolan allilu	chrzan: 95,5 µmol/g s.m. jarmuż: 9,44 mmol/g s.m. kapusta głowiasta biała: 961 mmole/100 g s.m. 60,38 mmol/100 g s.m. kapusta głowiasta czerwona: 81 mmol/100 g s.m. brokuły: 0 mmol/100 g s.m. 0,00115 mmol/g s.m. 1,40 mmol/100 g s.m. kapusta bruksejska: 1,55 mmol/g s.m. 8,56 mmol/100 g s.m. 1,3–4,9 g/kg s.m. kalfalior: 0,42 mmol/g s.m. 5,28 mmol/100 g s.m.	Li i Kushad 2005 Cartea i in. 2008 Verkerk i in. 2001 Palani i in. 2016 Verkerk i in. 2001 Verkerk i in. 2001 Tian i in. 2005 Song i Tormalley 2007 Tian i in. 2005 Song i Tormalley 2007 Doorn i in. 1998 Tian i in. 2005 Song i Tormalley 2007	37957,43 mg/kg s.m. 3752,20 mg/kg s.m. 3891,59 mg/kg s.m. 239,99 mg/kg s.m. 321,94 mg/kg s.m. 0,46 mg/kg s.m. 5,56 mg/kg s.m. 616,06 mg/kg s.m. 34,02 mg/kg s.m. 1300–4900 mg/kg s.m. 166,93 mg/kg s.m. 20,99 mg/kg s.m.	397,46

Sulforafan powstaje jako produkt hydrolizy glukorafaniny w obojętnym pH (14). Jego korzystne działanie przeciwnowotworowe jest związane z hamowaniem cykli komórkowych oraz wywoływaniem apoptozy. Badania wykazały aktywność antybakteryjną względem *Helicobacter pylori* (17).

Synigrina (allil glukozynolanu) jest tiocukrem występującym w roślinach krzyżowych odpowiada za specyficzny smak tych warzyw. Najobficiej występuje w chrzanie, z którego jest pozyskiwana przemysłowo (35, 36). Wśród omawianych warzyw krzyżowych najwięcej synigriny znajduje się w kapuście brukselskiej (6) (tab. II).

Wpływ warunków uprawy na zawartość glukozynolanów

Zawartość glukozynolanów w warzywach kapustnych jest zależna od warunków wzrostu warzywa (typ gleby, nasłonecznienie, ilość opadów, temperatury, nawożenia), oraz zabiegów i warunków prowadzonych po zbiorze (składowanie, krojenie, blanszowanie, gotowanie) (1, 16, 23, 25, 39, 40). Glukozynolany w roślinach są syntetyzowane z aminokwasów podczas szeregu reakcji chemicznych (40). Badania wskazują na dodatnią korelację pomiędzy siarką a zawartością pochodnych glukozynolanów w roślinach i jednocześnie ujemny wpływ wzrostu ilości azotu w nawozach na zawartość całkowitą glukozynolanów (41). Badano również wpływ stężenia CO₂ na poziom gls w brokułach podczas wzrostu warzyw. Wykazano, że zastosowanie wyższego stężenia CO₂ (685–820 ppm), wpłynęło korzystnie na całkowitą zawartość glukozynolanów, niż zastosowanie niższych koncentracji CO₂ (430–480 ppm) (39). Naukowcy sugerują, że korelacja pomiędzy stężeniem CO₂ a zawartością glukozynolanów może mieć związek z wpływem tego gazu na zawartość azotu, oraz stosunku azotu do siarki w roślinie (39). Również termin zbioru wpływał na zawartość glukozynolanów. *Rosa i Rodrigez* (29) wykazali, że brokuły uprawiane w terminie późniejszym (zbiór sierpień–styczeń) zawierały więcej glukozynolanów, niż warzywa ze zbioru wczesnego (maj–lipiec).

Wpływ procesów technologicznych oraz warunków przechowywania na zawartość glukozynolanów

Warzywa krzyżowe w celach kulinarnych są poddawane wielu procesom technologicznym jak: krojenie, kisenie, gotowanie (długie ale i krótkotrwałe), blanszowanie, mrożenie. Wpływ tych zabiegów na zawartość glukozynolanów oraz ich pochodnych, jest różny. Naukowcy przyznają, że zawartość pochodnych glukozynolanów rośnie w przypadku rozdrabniania warzyw. Dzieje się tak z uwagi na uwolnienie mirozyny, a tym samym umożliwienie zajścia reakcji enzymatycznej (23). Procesowi temu sprzyja środowisko wodne.

Kiszenie najczęściej jest stosowane do kapusty głowiastej białej (ale i do kapusty głowiastej czerwonej, brokułów czy kalafiora). Proces kisenia powoduje powstanie specyficznej mikroflory kształtującej smak, zapach i teksturę produktu ale i powodującej zmiany w składzie/zawartości glukozynolanów i ich pochodnych. Badania *Ciska i Pathak* (42) wskazują, iż proces kisenia prowadzi do całkowitego rozkładu glukozynolanów a wzrostu zawartości jego pochodnych (sulforafan, I3K).

Gotowanie powoduje spadek zawartości glukozynolanów z uwagi na rozkład termiczny i enzymatyczny oraz przechodzenie związków do roztworu. Z uwa-

gi na to korzystne jest gotowanie warzyw z użyciem mikrofal (12, 28). Badania potwierdziły spadek zawartości glukozyłanów w żywności pasteryzowanej, pakowanej (12).

Blanszowanie ma różny wpływ na zawartość glukozyłanów w zależności od gatunku warzywa. Badania Park i współprac. (12) wykazały, że blanszowanie kalafiora (w czasie 120 s) nie wpłynęło na zawartość glukozyłanów, natomiast w przypadku brokułów – spowodowało spadek w zawartości gls. Należy pamiętać, że stosowanie wysokiej temperatury powoduje unieczynnienie mirozynazy.

Stosowanie mikrofal oraz smażenie zmniejsza zawartość glukozyłanów jednak w mniejszym stopniu niż gotowanie z uwagi na migrację gls do roztworu (w przypadku gotowania). Badania Song i Thornalley (28) wykazały brak znaczącego spadku w zawartości glukozyłanów w przypadku obróbki warzyw z użyciem mikrofal (w 10% w/w roztworze wodnym).

Przechowywanie brokułów (0°C; 5 dni), spowodowało wzrost zawartości glukorafaniny i glukobrasycyny. Jednak w przypadku kalafiora zanotowano spadek zawartości syringiny i glukonapiny (5 dni przechowywania) (12).

Wzrost w ilości glukozyłanów w czasie przechowywania jest związany z syntezą metabolitów II rzędowych w komórkach roślinnych. Czynnikiem sprzyjającym wzrostowi całkowitej zawartości glukozyłanów w czasie przechowywania jest wilgotność zwłaszcza w czasie wzrostu temperatury (12). Zauważono, że największy przyrost w zawartości glukozyłanów następuje podczas pierwszych 3 dni przechowywania warzyw (12). Przechowywanie warzyw w warunkach kontrolowanej atmosfery nie wpływało na zawartość glukozyłanów (Hansen i in. 1995). Badania Verkerk i współprac. (23) wykazały, że starzenie się brokułów skutkowało silną hydrolizą (autolizą) glukozyłanów. W przypadku kapusty następował wzrost ale i spadek w zawartości glukozyłanów w czasie przechowywania (42). Glukozyłany są związkami stabilnymi chemicznie, stąd podczas przechowywania następuje jedynie niewielki rozkład, bardziej wrażliwymi na warunki składowania są glukozyłany indolowe niż aromatyczne czy alifatyczne (12, 28).

Suplementy diety

Z uwagi na prozdrowotne właściwości glukozyłanów na rynku dostępne są suplementy diety zawierające pochodne gls jak:

- BroccoPhane (Swanson Health Products) o deklarowanej przez producenta zawartości sulforafanu na poziomie 4000 ppm,
- Detoxitabs (Hankintatukku Oy), o deklarowanym składzie: sulforafan glukozyłolat 30 mg,
- Jarrow Formulas BroccoMax, (Jarrow) – 30 mg sulforafanu,
- Broccoli Sprouts (Source Naturals) z zawartością sulforafanu na poziomie 2 mg,
- Vitacost Broccoli Sprout Extract (Vitacost) 60 mg glukozyłanów w tabletkach.

Należy jednak pamiętać, że suplementy diety często charakteryzują się niższą biodostępnością określonego składnika, niż w przypadku gdy związek ten występuje w żywności.

Pochodne glukozyłanów są substancjami o wysokim potencjale aktywności przeciw nowotworowej, jednak ich działanie jest efektywne wówczas jeśli są przyjmowane jako element zróżnicowanej diety.

K. Sikorska-Zimny

CHOSEN GLUCOSINOLATES AND ITS DERIVATIVES: SOURCES, CHARACTERISTIC AND INFLUENCES ON HUMAN BODY

PIŚMIENNICTWO


1. Palani K, Harbaum-Piayda B, Meske D, Keppler J, Bockelmann W, Heller K., Schwarz K.: Influence of fermentation on glucosinolates and glucobrassicin degradation product in sauerkraut. *Food Chem.*, 2016; 190: 755-762. – 2. Maag D., Erb M., Köllner T., Gershenzon J.: Defensive weapons and defense signals in plants: Some metabolites serve both roles. *BioEss.*, 2015; 37(2): 167-174. – 3. Tian Q., Rosselot R., Schwartz S.: Quantitative determination of intact glucosinolates in broccoli, broccoli sprouts, Brussels sprouts, and cauliflower by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry. *Anal. Biochem.*, 2005; 343(1): 93-9. – 4. Sosińska E., Obiedziński M.: Badania nad bioaktywnymi glukozynolanami w wybranych odmianach warzyw krzyżowych techniką HPLC. *Zywn. Nauk. Technol.*, 2007; 5(54): 129-136. – 5. He, H., Liu, L., Song, S., Tang, X. and Wang, Y.: evaluation of glucosinolate composition and contents in chinese brassica vegetables. *Acta Hort.*, 2003; 620: 85-92. – 6. Doorn H., Kruk G., Holst G.-J., Raaijmakers-Ruijs N., Postma E., Groeneweg B., Jongen W.: The glucosinolates sinigrin and progoitrin are important determinants for taste preference and bitterness of Brussels sprouts. *J.Sci. Food Agric.*, 1998; 78(1): 30-38. – 7. Bazy PubChem Compound <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pccompound>. – 8. Tiwari U., Sheehy E., Rai D., Gaffney M., Evans P., Cummins E.: Quantitative human exposure model to assess the level of glucosinolates upon thermal processing of cruciferous vegetables. *Food Sci.Tech.*, 2015; 63(1): 253-261. – 9. Sikorska-Zimny K.: Składniki prozdrowotne w warzywach kapustowatych. *Nowości warzywnicze*, 2010, 51: 51-63. – 10. Agerbirk N., De Vos M., Kim J., Jander G.: Indole glucosinolate breakdown and its biological effects. *Phytochem.* 2009, 8, 101-120.
11. Rangkadilok, N.; Nicolas, M.E.; Bennett, R.N.; Premier, R.R.; Eagling, D.R.; Taylor, P.W.J.: Developmental changes of sinigrin and glucoraphanin in three Brassica species (*Brassica nigra*, *Brassica juncea* and *Brassica oleracea* var. *italica*). *Sci. Horticult.*, 2002; 96(1): 11-26. – 12. Park M., Arasu M., Park N., Choi Y., Lee S., Al-Dhabi N., Kim J., Kim S.: Variation of glucoraphanin and glucobrassicin: anticancer components in *Brassica* during processing. *Food Sci. Technol. (Campinas)*, 2013; 33(4). – 13. Padilla G., Cartea M., Velasco P., Haro A., Ordas A.: Variation of glucosinolates in vegetable crops of *Brassica rapa*. *Phytochem.*, 2007; 68: 536-545. – 14. Li Z., Liu Y., Fang Z., Yang L., Zhuang M., Zhang Y., Sun P.: Development and verification of sulforaphane extraction method in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) and broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Planch.). *J. Med. Plants Res.*, 2012; 6(33): 4796-4803. – 15. Traka M., Mithen R.: Glucosinolates, isothiocyanates and human health. *Phytochem Rev*, 2009; 8: 269-282. – 16. You Y., Wu Y., Mao J., Zou L., Liu S.: Screening of Chinese brassica species for anti-cancer sulforaphane and erucin. *Afr J. Biotechnol.*, 2008; 7(2): 147-152. – 17. Triska J., Vrchotová N., Houška M., Strohalm J.: Comparison of total isothiocyanates content in vegetable juices during high pressure treatment, pasteurization and freezing. *High. Pressure Res.*, 2007; 27(1): 147-149. – 18. Jeffery E., Brown A., Kurilich A., Keck A., Matusheski N., Klein B., Juvik J.: Variation in content of bioactive components in broccoli. *J. Food Compos. Anal.*, 2003; 16: 323-330. – 19. Santos C., Yu H., Noel M.: Identification of major glucosinolates in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) by liquid chromatography – mass spectrometry (LC-MS) and determination of anticancer properties of broccoli extracts. Presented at the Research Congress 2013, De La Salle University Manila, March 7-9, 2013. – 20. Jain M., Kumari N.: A novel formulation of veggies with potent liver detoxifying activity. *Int. J. Comput. Biol. Drug Design.*, 2015; 8(1): 75-86.
21. Licznarska B., Baer-Dubowska W.: Intrakrynologia estrogenów a terapia i chemoprewencja w nowotworach piersi. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2010; 64: 220-230. – 22. Mandelová L., Totušek J.: Broccoli juice treated by high pressure: chemoprotective effects of sulforaphane and indole-3-carbinol. *High Pressure Res.*, 2007; 27(1): 151-156. – 23. Verkerk R., Dekker M., Jongen W.: Post-harvest increase of indolyl glucosinolates in response to chopping and storage of Brassica vegetables. *J. Sci. Food Agric.*, 2001; 81: 953-958. – 24. Śmiechowska A., Bartoszek A., Namieśnik J.: Determination of glucosinolates and their decomposition products-indoles and isothiocyanates in cruciferous vegetables. *Crit. Rev. Anal. Chem.*, 2010; 40: 202-216. – 25. Clarke JD., Dashwood R., Ho E.: Multi-targeted prevention of cancer by sul-

foraphane. *Cancer Lett.*, 2008; 269(2): 291-304. – 26. *Liang H., Yuan Q., Dong H., Liu Y.*: Determination of sulforaphane in broccoli and cabbage by high-performance liquid chromatography. *J. Food Compos. Anal.*, 2006; 19: 473-476. – 27. *Park E., Pezzuto J.*: Botanicals in cancer chemoprevention. *Cancer Metastasis Rev*, 2002; 21: 231-255. – 28. *Song L., Thornalley P.*: Effects of storage, cooking and processing on glucosinolates and related metabolites in Brassica vegetables. *Food and Chem. Toxicol.*, 2007; 45: 216-224. – 29. *Rosa E., Rodrigues A.*: Total and individual glucosinolate content in 11 broccoli cultivars grown in early and late seasons. *J. Hort. Sci.*, 2001; 36(1): 56-59. – 30. *Kwiatkowska E.*: Izotiocyjaniany wasabi (*Wasabia japonica*). *Borgis – Postępy Fitoterapii*, 2007; 1: 7-11.

31. *Cartea M., Velasco P., Obregon S., Padilla G., de Haro A.*: Seasonal variation in glucosinolate content in Brassica oleracea crops grown in northwestern Spain. *Phytochem.*, 2008; 69: 403-410. – 32. *Karel Hrnčirik K., Valusek J., Velisek J.*: Investigation of ascorbigen as a breakdown product of glucobrassicin autolysis in Brassica vegetables. *Eur. Food Res. Technol.*, 2001, 212: 576-581. – 33. *Armah C., Derdemezis C., Traka M., Dainty J., Doleman J., Saha S., Leung W., Potter J., Lovegrove J., Mithen R.*: Diet rich in high glucoraphanin broccoli reduces plasma LDL cholesterol: Evidence from randomised controlled trials. *Mol. Nutr. Food Res.*, 2015; 59(5): 918-926. – 34. *Liang J., Shang Y.*: Estrogen and Cancer. *Ann. Rev. Physiol.*, 2013; 75: 225-240. – 35. *Li X., Kushad M.*: Purification and characterization of myrosinase from horseradish (*Armoracia rusticana*) roots. *Plant Physiol. Biochem.*, 2005; 43 (6): 503-511. – 36. *Abramski W., Chmielewski M.*: Practical synthesis of siringin. *Carbohydr. Chem.*, 1996; 15(1): 109-113. – 37. Strona internetowa bazy chemicznej ChEBI; CHEBI:24279 – glucosinolates, <http://www.ebi.ac.uk/chebi/searchId.do?chebiId=24279>. – 38. *Bialik I., Okulicz M., Chichłowska J.*: Effect of indole-3-carbinol on detoxification enzymes and lipid metabolism. *Med. Vet.*, 2002, 1(2): 5-11. – 39. *Schonhof I., Klaring H., Krumbein A., Schreiner M.*: Interaction between atmospheric CO₂ and glucosinolates in broccoli. *J. Chem. Ecol.*, 2007; 33: 105-114. – 40. *Hansen M., Moller P., Sorensen H., Cantwell de Trejo M.*: Glucosinolates in Broccoli Stored under Controlled Atmosphere. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1995; 120(6): 1069-1074.

41. *Montaut S., Barillari J., Iori R., Rollin P.*: Glucoraphasatin: Chemistry, occurrence, and biological properties. *Phytochem.*, 2010; 71: 6-12. – 42. *Ciska E., Pathak DR.*: Glucosinolate derivatives in stored fermented cabbage. *J. Agric Food Chem.*, 2004; 52(26): 7938.

Adres: 96-100 Skierniewice, ul. Konstytucji 3 Maja 1/3

 Address correspondence to: Sarah C. Tinker, PhD, 1600 Clifton Road, MS-E86, Atlanta GA 30333