

8

Биолошки активне материје у псеудожитима

Радослав Грујић



UDK 631.563:[633.11:664.6/.7
DOI 10.7251/PRB2504233G

Цитирање: Грујић Р (2025) Биолошки активне материје у псеудожитима. У: Пржуљ Н, Грујић Р (уредници) Нутрицеутске гајене биљке. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука. Монографија LXV:233–254

Cite as: Grujić R (2025) Biologically active substances from pseudocereals. *In:* Pržulj N, Grujić R (eds) Nutraceutical cultivated plants. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka. Monograph LXV:233–254

Сажетак: Штир, хељда, киноа и чија су богат извор биолошки активних материја (нутрицеутика). У овом поглављу дат је преглед истраживања о садржају ових важних једињења. У центру интересовања био је приказ садржаја полифенола, флавоноида, беталаина и других једињења. Поред тога, дате су структуре најважнијих биолошки активних једињења и указано је на врсту дјеловања сваке од наведених група једињења. Овај преглед је користан за све који желе да унаприједи своју исхрану, а посебно за стручњаке који се баве развојем функционалне хране и хране за специфичне категорије потрошача.

Кључне ријечи: псеудожита, фитохемикалије, нутрацеутици, полифеноли, флавоноиди, беталаини, утицај на очување здравља, биоактивне материје у кексу од псеудожита

8.1. Увод

Псеудожита (штир, киноа, чија и хељда) садрже бројне састојке који промовишу здравље и који играју важну улогу у људском тијелу (Gamel 2023). Међу биоактивним једињењима посебну пажњу заслужују: полифеноли, флавоноиди (кемпферол, рутин и кверцетин), беталаини, аминокиселине (аргинин, триптофан, лизин и хистидин), биоактивни протеини и пептиди, дијетална влакна, лигнини, витамини (А, Б2, Б6, Е, Ц, ниацин и фолна киселина), минерали (жељезо, цинк и калцијум), антиоксиданси, фагопиритол и друге есенцијалне компоненте (Feitosa и сар. 2024; Martinez-Villaluenga и сар. 2020). Преглед садржаја неких од биоактивних једињења у кинои, штиру и хељди дат је у Таб. 8.1. У Таб 8.2 приказане су њихове структуре.

Таб. 8.1. Садржај биоактивних једињења у псеудожитима (киноа, штир, хељда) и пшеници (адаптирано према: Nandan и сар. 2024)

Table 8.1. Content of bioactive compounds in pseudocereals (quinoa, amaranth, buckwheat) and wheat (Adapted from: Nandan et al. 2024)

Псеудожито	Киноа	Штир	Хељда	Пшеница
Састојак	Просјечан садржај			
Укупни феноли (mg GAE/100 g)	167,2–308,3	21,2–57,0	275,5–532,0	16,2
Сапонини (mg/100 g CM)	470–1633,3	0,1–0,5	–	–
Укупни каротеноиди (mg/kg CM)	4,6–18,1	3,7–4,7	3,6–3,7	–
Лутеин (mg/kg CM)	5,8–12,0	3,6–4,4	3,71	1,40–2,51
Зеаксантин (mg/kg CM)	0,3–5,4	0,3	–	–

CM – сува материја

8.2. Преглед најзначајнијих биоактивних једињења из псеудожита и њихове структуре

Хемијске анализе, које су недавно проведене током испитивања састава брашна различитих псеудожита, потврдиле су велике разлике у садржају флавоноида (антоцијанина, флавона, флаванона, изофлавоноида и флавонола), фенолних једињења (хидроксидинамици, хидроксилни деривати хидроксилних киселина и деривати хидроксилних киселина) (Rochetti и сар. 2019; Martinez-Villaluenga и сар. 2020). Познавање садржаја фенолних једињења различитих сорти псеудожита је добар смијер за развој безглутенске хране и побољшања нутритивног квалитета производа уопште.

Зрно хељде садржи велику количину флавоноида. У хељди је екстраховано и идентификовано шест флавоноида: рутин, оријентин, витексин, кверцетин, изовитексин и изооријентин. Ољуштене сјеменке хељде садрже само рутин и изовитексин као флавоноиде, али љуска садржи свих шест набројаних флавоноида (Gamel 2023). Флавоноиди имају способност да снижавају садржај холестерола у крви, да одржавају капиларе и артерије чврстима и флексибилнима и помажу у превенцији високог крвног притиска (Gamel 2023).

Псеудожита садрже фитостероле који спречавају апсорпцију холестерола у цријевима, чиме се смањује ниво укупног холестерола у плазми и ниво холестерола липопротеина ниске густине (LDL) (Martínez-Villaluenga и сар. 2020). Штирово уље садржи токотриенол и сквален, два природна хемијска једињења која су укључена у метаболизам холестерола и могу допринијети снижавању нивоа LDL холестерола у крви и инхибирању хемијски индуковане туморигенезе дебелог цријева, плућа и коже (Gamel 2023). Као антиоксидативна терапија, суплементација зрном и уљем штира може помоћи у контроли хипергликемије и превенцији дијабетичких компликација (Gamel 2023). Количина сквалена у штиру се креће од 2,4% до 8,0% укупног садржаја липида (Narwade и Pinto 2018). Количина сквалена у сјеменкама штира (до 620 mg/kg) много је већа од садржаја сквалена у сјеменкама кукуруза, јечма и хељде. Од других биоактивних једињења штир садржи каротен, витамине, полифеноле, антоцијанине и лутеин. Према Gamel (2023) црвени и зелени листови штира садрже 180 mg/100 g лутеина у сувој материји, а сјеме штира има нешто нижу концентрацију лутеина (3,55–4,44 mg/kg).

Беталаини су ароматични деривати индола који садрже азот (Martinez-Villaluenga и сар. 2020). Према хемијској структури, беталаини се могу подијелити на љубичасте бетацијанине и жуте бетаксанине, чија комбинација чини

црвене и наранџасте нијансе које коегзистирају у природи са чисто љубичастом и жутом бојом. Киноа се сматра перспективном културом за екстракцију беталаина. Abderrahim и сар. (2015) су у неким сјеменкама црвене киноа утврдили садржај беталаина (изражен као збир бетацијанина и бетаксантина) у распону између 0,15 mg/100 g и 6,10 mg/100 g. Постоји много доказа да бетаин може помоћи у спречавању хроничних болести и да конзумирање бетаина кроз исхрану може смањити хомоцистеин у плазми и помоћи цјелокупном здрављу тијела (Gamel 2023).

Сјеменке хељде садрже фагопиритоле (класа растворљивих угљених хидрата), међу којима је 3-О- α -D-галактопиранозил-D-киро-инозитол, који активно регулише сигнализацију инсулина и помаже у лијечењу дијабетес мелитуса и синдрома полицистичних јајника (Pirzadah и сар. 2020).

Сјеменке штира садрже значајну количину стерола, која се креће од 0,27 до 0,32 mg/g суве материје. Неке врсте штира су добри извори токотриенола. Токофероли и токотриеноли (изомери витамина Е) добро су познати природни антиоксиданси (Gamel 2023).

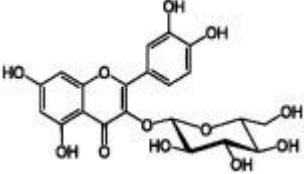
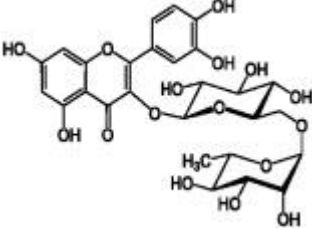
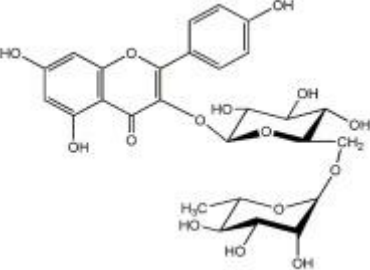
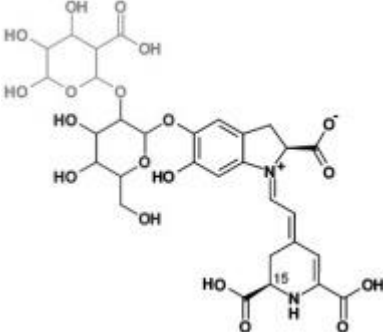
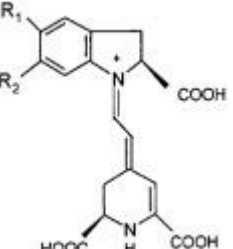
Тритерпеноидни сапонини састоје се од агликона, пентацикличког C30 скелета познатог као сапогенин. Он је везан за један или више олигосахаридних ланаца са степеном полимеризације од 2 до 5 хексоза или пентоза. Профил сапонина из сјеменки киноа и штира међусобно се разликују, што је утврђено код неколико врста и сорти биљака. Martinez-Villaluenga и сар. (2020) наводе да је у сјеменкама киноа и штира идентификовано 87, односно 15 различитих сапонина, који се углавном налазе у мекињама.

На основу садржаја сапонина, киноа се може подијелити на слатку киноу са садржајем сапонина < 0,11% (20,0–990,6 mg/100 g суве материје) и горку киноу са садржајем сапонина $\geq$ 0,11% (470,0–1630,3 mg/100 g суве материје). Због изузетно велике количине сапонина, киноа показују аналгетско, противупално, антимикумно, антиоксидативно, антивирусно и антициротоксично дјеловање (Nandan и сар. 2024). Сапонини су одговорни за горак укус сјеменки киноа. Традиционално, сапонини се уклањају из сјеменки киноа намакањем или прањем зрна у води како би се побољшала њихова органолептичка својства прије конзумирања (Martinez-Villaluenga и сар. 2020).

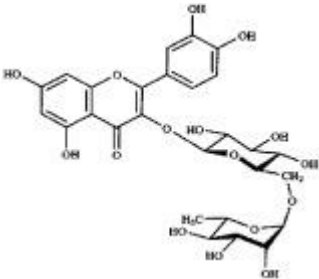
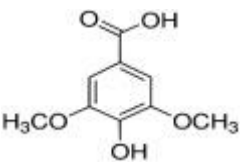
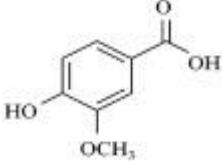
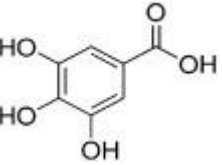
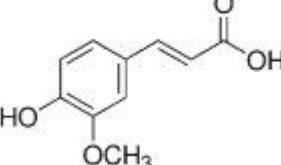
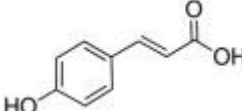
Чија сјеменке и њено уље богати су природним антиоксидансима (токофероли, фитостероли, каротеноиди и полифенолна једињења). Полифенолна једињења у чија уљу првенствено се састоје од кафеинске киселине и флавоноида, укључујући мирицетин, кверцетин и кемпферол (Modupalli и сар. 2024).

Таб. 8.2. Структура биактивних једињења присутних у сјеменкама различитих псеудожита (адаптирано према: Thakur и сар. 2021)

Table 8.2. Structure of biactive compounds present in seeds of different pseudocereals (ADAPTED from Thakur et al. 2021)

Псеудожито	Биоактивне компоненте	Структура биоактивних компоненти
Штир	Флавоноиди	 Изокварцетин  Рутин  Никотифлорин
	Беталини	 Амаратин  Бетацјанин

	Каротеноиди	Зеаксантин Лутеин β-каротен
Киноа	Флавоноиди	Кварцетин Каемпферол Мирицетин Изокварцетин
	Феноли	Ферулична киселина-4–гликозид
	Беталини	Бетанин

Хељда	Флавоноиди	 Рутин (кварцетин-3-рутинозид)
	Фенолна једињења	 р – хидроксибензоева сирингинска киселина  Ванилинска киселина  Гална киселина  Протокатехунска киселина  Ферулична киселина  р – кумаринска киселина

8.3. Фенолна једињења

Полифеноли су уобичајени микронутријенти који имају велики допринос у превенцији дегенеративних болести, укључујући рак и кардиоваскуларне болести. Здравствени утицај полифенола је одређен њиховом биорасположивошћу и количином која се конзумира. Фенолна једињења играју значајну улогу у лијечењу великог броја болести (дијабетес мелитус, малигни тумори, кардиоваскуларне болести, инфекције, гојазност, опиоидне болести итд.) (Esfanjan и сар. 2018). У Таб. 8.3 приказан је садржај фенола у различитим псеудожитима.

Таб.8.3. Садржај фенолних једињења (mg GAE/g CM) у интегралном брашну од штира, киноа и хељде (адаптирано према: Esfanjan и сар. 2018)

Table 8.3. Content of phenolic compounds (mg GAE/g CM) in amaranth, quinoa and buckwheat wholemeal flours (Adapted from Esfanjan и сар. 2018)

Фенолна једињења	Штир	Киноа	Хељда
Растворљива	0,05–0,07	0,31–0,37	0,48–1,28
Везана	1,92–2,91	2,26–3,97	3,06–3,68
Укупна	1,92–2,98	2,61–4,29	4,15–4,66

GAE – еквивалент талне киселине; CM – сува материја

Сјеменке штира садрже високу концентрацију фенолних једињења, која варира од 39 mg/100 g до 56 mg/100 g (Gamel 2023). Ферулна киселина је најзаступљенија фенолна киселина у сјемену штира, са просјечно 310 µg/g суве материје (Gamel 2023).

Рутин, кафеинска киселина, кверцетин глукозид, дериват хидроксициметне киселине, кемпферол-3-О-рутинозид, кафеоилглукарна киселина и ферулоилглукарна киселина из штира показују антиоксидативну активност (Karamać и сар. 2019).

Киноа садржи десетине различитих фенолних једињења. Најважнија фенолна једињења у сјеменкама и клицама киноа су гална киселина, р-хидроксибензоева киселина, ванилна киселина, р-кумаринска киселина, кафеинска киселина, сиригинска киселина и ферулна киселина (Gamel 2023).

Сјеме киноа садржи више деривата кверцетин гликозида и више деривата кемпферол-гликозида, који показују антибактеријско и антифугално дјеловање (Pereira и сар. 2020), те р-хидроксибензоеву киселину, р-кумаринску киселину, ферулну киселину, које имају изражену антиоксидативну активност (Carciochi и сар. 2015). Hemalatha и сар. (2016) истраживали су садржај фенолних једињења у цијелој и млевеној фракцији киноа. Ови аутори су пратили садржај више једињења: кверцетин, кемпферол, мирицетин и рутин, лутеолин и апигенин, нарингенин, флаван-3-ол (катехин) и изофлаван, која показују различито физиолошко дјеловање (антиоксидативна активност, активност везивања метала, антидијабетичка активност).

Кумаринска киселина и кемпферол-тригликозид из киноа и кафеоилкинска киселина из киноа и штира имају антиоксидативно дјеловање и показују ефекат против старења (Pilco-Quesada и сар. 2020).

Хељда је богата полифенолима који садрже гликозиде флаванола кверцетина, флаво-на апигенина и лутеолина. Martín-García и сар. (2019) и Molska и сар. (2022) у хељди-ном брашну утврдили су присуство фенолних једињења са наглашеним противупал-ним дјеловањем (рутин, епиафзелхин-епикатехин-О-диметил-галат, катехин, епика-техин и флаван-3-ол). У хељдином брашну, катехин и епикатехин су најзаступљенија везана фенолна једињења, а рутин и епиафзелхин-епикатехин-О-диметил-галат су најзаступљенији слободни фенолни спојеви. Брашно од мекиња хељде садржи најви-ше слободних фенолних једињења, док средње фракције и брашно углавном садрже везана фенолна једињења (Martín-García и сар. 2019).

Највећи садржај растворљивих фенолних једињења пронађен је у интегралном брашну хељде (1,06 до 1,28 mg GAE/g CM). Истовремено, интегрално брашно штира и киное имали су садржај растворљивих фенола у распонима $0,06 \pm 0,01$ GAE/g CM и $0,33 \pm 0,02$ mg GAE/g CM, респективно (De Bock и сар. 2021). Li и сар. (2017) објавили су да се садржај растворљивих фенола у кинои кретао у распону 0,18–0,48 mg GAE/g.

Садржај везаних фенолних једињења био је висок у брашну хељде и варирао је између 3,06 mg GAE/g CM и 3,68 mg GAE/g CM. Садржај везаних фенолних једињења у већини узорака киное се кретао између 2,26 mg GAE/g CM и 2,96 mg GAE/g CM, а у просјечни садржај фенолних једињења у већини узорака штира био је $2,53 \pm 0,34$ mg GAE/g CM. Узорци црвене киное имали су већи садржај фенолних једињења од штира (3,97 mg GAE/g CM и 3,24 mg GAE/g CM, респективно) (De Bock и сар. 2021). Према Abderrahimu и сар. (2015), садржај везаних фенолних једињења у узорцима црвене киное варирао је између 1,28 mg GAE/g и 4,52 mg GAE/g. Према De Bock и сар. (2021), у укупном садр-жају фенола везана фенолна једињења учествују са 72,2 до 88,5%, а растворљива фенолна једињења са 13,0–38,4%.

У интегралном брашну штира, од растворљивих фенолних једињења најзаступљеније су слједеће фенолне киселине (Таб. 8.4): гална, дихидроксibenзоева, ванилна и ка-феинска киселина. Дихидроксibenзоева киселина ($0,151 \pm 0,013$ mg/g CM) најзначај-нија је фенолна киселина. Истовремено, забиљежен је нешто нижи садржај галне ($0,014$ mg/g CM), ванилинске ($0,005$ mg/g CM) и кофеинске киселине ($0,004$ mg/g CM) (De Bock и сар. 2021).

У интегралном брашну киное и штира измјерен је сличан садржај фенолних киселина. Присуство кофеинске и ванилинске киселине није утврђено у свим узорцима киное. Садржај дихидроксibenзоеве киселине ($0,056$ mg/g CM) био је нижи у односу на брашно штира (De Bock и сар. 2021). Repo-Carrasco-Valencia и сар. (2010) утврдили су присуство растворљиве ферулне и р-кумаринске киселине у кинои. Интегрално браш-но хељде садржи слједеће фенолне киселине: галну, дихидроксibenзоеву, ванилин-ску и о-кумаринску киселину (De Bock и сар. 2021). У обичној хељди Guo и сар. (2011) утврдили су присуство ферулинске и р-кумаринске киселине.

Таб. 8.4. Садржај растворљивих фенолних једињења (mg/g CM) у интегралном брашну од штира, киноа и хељде (адаптирано према: De Bock и сар. 2021)
Table 8.4. Content of soluble phenolic compounds (mg/g SM) in wholemeal amaranth, quinoa and buckwheat flours (Adapted from De Bock et al. 2021)

Растворљива фенолна једињења	Штир	Киноа	Хељда
Гална киселина	0,010–0,017	0,009–0,014	0,007–0,010
Дихидроксибензоева кис.	0,135–0,169	0,008–0,109	0,012–0,038
Ванилинска киселина	0,004–0,005	0,008–0,021	0,008–0,009
Кафеинска киселина	0,003–0,005	0,003–0,017	нд
о-кумаринска киселина	нд	нд	0,031–0,091
Рутин	нд	0,033–0,110	нд

CM – сува материја; нд – присуство није утврђено

У фракцији везаних фенолних једињења у псеудожитима утврђен је мањи број једињења, али њихов садржај је био виши (Таб. 8.5). Ванилинска киселина представља најзначајније везано једињење (De Bock и сар. 2021). Највећи садржај ванилинске киселине ови аутори су пронашли у интегралном брашну штира ($0,447 \pm 0,102$ mg/g CM). Садржај ванилинске (0,228 mg/g CM) и кофеинске (0,113 mg/g CM) киселине у хељдином интегралном брашну био је сличан садржају који је измјерен у брашну киноа. Друге фенолне киселине или флавоноиди нису откривени у везаној фракцији фенолних једињења у штиру. Везана ванилинска (0,342 mg/g CM) и кафеинска (0,136 mg/g CM) киселина пронађене су у брашну киноа, али не у свим узорцима брашна. У интегралном брашну хељде пронађена је само о-кумаринска киселина (0,191–0,223 mg/g CM).

Таб. 8.5. Садржај везаних фенолних једињења (mg/g CM) у брашну од интегралног брашна од штира, киноа и хељде (адаптирано према: De Bock и сар. 2021)
Table 8.5. Content of bound phenolic compounds (mg/g DM) in wholemeal flours from amaranth, quinoa and buckwheat (Adapted from De Bock et al. 2021)

Везана фенолна једињења	Штир	Киноа	Хељда
Ванилинска киселина	0,247–0,564	0,248–0,621	0,160–0,334
Кафеинска киселина	нд	0,111–0,157	0,108–0,119
о-кумаринска киселина	нд	нд	0,191–0,223

CM – сува материја; нд – присуство није утврђено

Од фенолних једињења екстракт чија сјеменки највише садржи розмаринску киселину (75,39 μ g/ml), хлорогенску киселину (21,77 μ g/ml) и галну киселину (7,03 μ g/ml), док су друга фенолна једињења присутна у нижим концентрацијама (Таб. 8.6) (Motyka и сар. 2023; Gebremeskai и сар. 2024) извјестили су да дијелови чија биљке садрже различиту количину розмаринске киселине: љуске чија сјеменки (198,53 mg/100 g CM), стабљика (185,12 mg/100 g CM), цвјетови (149,45 mg/100 g CM), клице (134,27 mg/100 g CM) и сјеменке (127,25 mg/100 g CM).

Таб. 8.6. Упоредни приказ садржаја фенола у екстракту чија сјеменки и екстракту сјеменки лана ($\mu\text{g/ml}$) (адаптирано према: Gebremeskal и сар. 2024)Table 8.6. Comparative presentation of phenol content in chia seed extract and flax seed extract ($\mu\text{g/ml}$) (Adapted from Gebremeskal et al. 2024)

Фенолна једињења	Чија сјеменке	Ланено сјеме
Гална киселина	7,03	1,31
Хлорогенска киселина	21,77	35,72
Катехин	0	0
Метил-галат	2,1	0
Кофеинска киселина	3,51	2,81
Шпрична киселина	0,87	0,12
Рутин	0	0
Елагична киселина	2,31	1,2
Кумаринска киселина	0,51	0,36
Ванилин	4,03	0,34
Ферулинска киселина	0,18	0,78
Нарингенин	0,75	0,59
Рузмаринска киселина	75,39	1,51
Даидзеин	2,71	0
Кварцетин	0,31	0
Циметна киселина	2,04	0

8.4. Садржај биоактивних једињења у кексу обогаћеном брашном псеудожита

Hidalgo и сар. (2017) испитивали су садржај биоактивних једињења (каротеноида, токола – токоферола и токотриенола, фенолних једињења) и антиоксидативна својства кекса обогаћеног брашном псеудожита (штир, киноа и хељда). Током испитивања аутори су припремили кекс од интегралног пшеничног брашна обогаћеног киноом, штиром или хељдом. Као контролу користили су кекс израђен од интегралног пшеничног брашна.

Идентификована су следећа фенолна једињења: ферулна киселина (87,8% укупних фенолних киселина), р-кумаринска киселина (4,9%), ванилинска киселина (2,5%), р-хидроксibenзоева киселина (1,8%) и сиригична киселина (1,5%) (Таб. 8.7). Садржај слободних фенолних киселина у супернатанту био је низак и он је углавном био испод границе детекције. Везане фракције фенола у узорцима кекса имале су већи садржај од конјугованих фракције (у просјеку 677 mg/kg CM наспрам 72 mg/kg CM). Кекс израђен од пшенице показао је значајно виши садржај везане ферулне киселине од кекса обогаћеног псеудожитима.

Таб. 8.7. Садржај фенолних киселина у кексу, супернатанту и седименту након *in vitro* дигестије у желуцу и цријевима (mg/kg CM) (адаптирано према: Hidalgo и сар. 2017)

Table 8.7. Phenolic acid content in the biscuit, supernatant and sediment after *in vitro* digestion in the stomach and intestines (mg/kg CM) (Adapted from Hidalgo et al. 2017)

Узорак	Кекс бисквит		„Дигестија у желуцу“		„Дигестија у цријевима“	
	Седимент	Супернатант	Седимент	Супернатант	Седимент	Супернатант
р-хидроксибензоева киселина						
30% хељде	16,6	11,5	15	5,2	13,2	14,5
30% штира	4,6	12,1	6,4	9	3,2	14,8
30% киное	3,5	10	6,4	6,3	2	10,6
пшеница	2,1	1,8	2,8	1,6	1,5	6,2
Ванилинска киселина						
30% хељде	5	8,6	7,2	5,7	4,4	12,6
30% штира	4,9	8,9	6,5	5,6	4,3	10,3
30% киное	7,1	26,7	14,3	20,3	4,6	31,4
пшеница	7,3	8,3	8	2,9	4	11,6
Сиричанска киселина						
30% хељде	4,7	6,2	8,7	3,1	7,6	6,1
30% штира	4,9	4,4	7,7	2,6	6,7	5,6
30% киное	5,8	4,2	6,8	2,9	4,5	4,7
пшеница	7,5	7	12,7	4,5	7,8	10,6
р-кумаринска киселина						
30% хељде	30,6	5,5	27,1	1,3	24,4	1,1
30% штира	30,9	4,3	26,1	1,8	21,9	1,4
30% киное	28,2	11,6	27,4	4,9	15,1	5,1
пшеница	22,6	1,9	15,7	0,7	14,2	1,4
Ферулична киселина						
30% хељде	570	27,5	528	25,8	496	43,4
30% штира	580	38,7	564	30,2	534	56,3
30% киное	545	38,6	543	33,7	364	54,5
пшеница	697	30,4	599	30,3	562	53,9

Садржај конјугованих и везаних фенолних киселина у седименту и супернатанту након *in vitro* „дигестије у желуцу“ и *in vitro* „дигестије у цријевима“ приказан је у Таб. 8.8. Разлике у рецептури кекса имале су приличан утицај на садржај фенолних киселина: већи садржај р-хидроксибензоеве киселине уочен је у интестиналном супернатанту кекса обогаћеног штиром и хељдом (14,8 и 14,5 mg/kg CM, респективно), док је већи садржај ванилинске киселине (31,4 mg/kg CM) и р-кумаринске киселине (5,1 mg/kg CM) карактеристичан за кекс обогаћен киноом. Након *in vitro* дигестије у цријевима, уочено је значајно повећање садржаја конјуговане р-хидроксибензоеве, ванилинске,

ферулне и сиригинске киселине, док је садржај р-кумаринске киселине значајно смањен (Таб. 8.7).

Таб. 8.8. Садржај фенолних киселина и укупних полифенола, те антиоксидативни капацитет кекса, у седименту и супернатанту, након *in vitro* дигестије у желуцу и *in vitro* дигестије у цријевима (mg/kg CM) (адаптирано према: Hidalgo и сар. 2017)

Table 8.8. Content of phenolic acids and total polyphenols, and antioxidant capacity of biscuits, in sediment and supernatant, after *in vitro* digestion in the stomach and *in vitro* digestion in the intestines (mg/kg DM) (Adapted from Hidalgo et al. 2017)

Узорак	Кекс бисквит		„Дигестија у желуцу“		„Дигестија у цријевима“	
	Седимент	Супернатант	Седимент	Супернатант	Седимент	Супернатант
Фенолне киселине						
30% хељде	652	84,32	629	45,7	575	100,6
30% штира	625	69,7	615	50,8	571	92,3
30% киное	589	92,7	600	69,2	392	111
пшеница	737	51,5	641	41,6	591	89,2
Укупни полифеноли						
30% хељде		2.697		1.118		6.964
30% штира		1.691		1.796		5.954
30% киное		1.896		1.658		5.700
пшеница		991		713		6.594
Антиоксидативни капацитет кекса						
30% хељде		12,5		5,1		23,3
30% штира		8,3		4,9		22,6
30% киное		8,7		4,3		23,1
пшеница		3,8		1,7		20,8

Таб. 8.9. Просјечне вриједности садржаја каротеноида и токола у кексима и растворљивој фракцији након *in vitro* „дигестије у цријевима“ (mg/kg CM) (адаптирано према: Hidalgo и сар. 2017)

Table 8.9. Average values of carotenoid and tocol content in biscuits and soluble fraction after *in vitro* “intestinal digestion” (mg/kg DM) (Adapted from Hidalgo et al. 2017)

Састојак	Узорак	Садржај у кексу	Растворљиво у цријевима
Укупни каротеноиди	30% хељде	3,49	2,71
	30% штира	2,79	2,36
	30% киное	3,34	2,80

	пшеница	1,05	0,68
Укупни токоли	30% хељде	75,3	51,6
	30% штира	66,4	43,8
	30% киное	69,4	49,8
	пшеница	56,0	32,9

У Таб. 8.9 приказан је укупни садржај каротеноида и токола у испитиваним узорцима кекса добијеног из мјешавине интегралног брашна пшенице (70%) и псеудожита (30%). Као контрола кориштен је кекс израђен од брашна пшенице.

Идентификовани су сљедећи каротеноиди: ($\alpha + \beta$)-каротен, β -криптоксантин, зеаксантин и лутеин. Садржај лутеина био је највећи (Таб. 8.10).

Таб. 8.10. Просјечне вриједности садржаја каротеноида у кексу и супернатанту након *in vitro* „дигестије у цријевима“ (mg/kg CM) (адаптирано према: Hidalgo и сар. 2017)

Table 8.10. Average values of carotenoid content in biscuits and supernatant after *in vitro* “intestinal digestion” (mg/kg DM) (Adapted from Hidalgo et al. 2017)

Састојци	Узорак	Кекс	Супернатант након „дигестије у цријевима“
$(\alpha + \beta)$ -каротен	30% хељде	0,33	0,14
	30% штира	0,32	0,25
	30% киное	0,32	0,32
	пшеница	0,1	0,06
β -криптоксантин	30% хељде	0,1	0,06
	30% штира	0,08	0,06
	30% киное	0,07	0,05
	пшеница	0,01	нд
Лутеин	30% хељде	2,86	2,34
	30% штира	2,23	1,91
	30% киное	2,77	2,28
	пшеница	0,83	0,55
Зеаксантин	30% хељде	0,19	0,17
	30% штира	0,16	0,15
	30% киное	0,19	0,15
	пшеница	0,1	0,07

Садржај укупних токола у кексу приказан је у Таб. 8.9, а присуство α и β токоферола и α и β токотриенола у узорцима кекса у Таб. 8.11. Кекс обогаћен киноом показао је

присуство γ -токоферола, док је кекс обогаћен хељдом садржавао γ -токоферол и δ -токоферол.

Таб. 8.11. Просјечне вриједности садржаја токола у кексима и растворљивој фракцији након *in vitro* „дигестије у цријевима“ (mg/kg CM) (адаптирано према: Hidalgo и сар. 2017)

Table 8.11. Average values of tocol content in biscuits and soluble fraction after *in vitro* "intestinal digestion" (mg/kg DM) (Adapted from Hidalgo et al. 2017)

Узорак	Кекс	Супернатант након „дигестије у цријевима“
α-токоферол		
30% хељде	9,5	7,3
30% штира	11,2	8,2
30% киное	15	11,3
пшеница	7,9	5,3
α-окотриенол		
30% хељде	9,3	6,1
30% штира	9,4	5,8
30% киное	9,3	6,2
пшеница	3,6	1,7
β-токоферол		
30% хељде	3,7	3,0
30% штира	12	9,3
30% киное	4,4	3,4
пшеница	7,3	5,3
β-токотриенол		
30% хељде	33.2	18.8
30% штира	33.7	20.4
30% киное	31.8	22.4
пшеница	37.1	20.5
δ-токоферол		
30% хељде	18,3	16,4
30% штира	нд	нд
30% киное	8,9	6,5
пшеница	нд	нд
δ-токоферол		
30% хељде	1,2	нд
30% штира	нд	нд
30% киное	нд	нд
пшеница	нд	нд

нд – није утврђено

Укупна количина антиоксидативних једињења (укупни каротеноиди, укупни токоли и укупне фенолне киселине) измјерена у кексу, као и неки индекси топлотног оштећења кекса приказани су у Таб. 8.12.

Таб. 8.12. Садржај укупних антиоксиданса (каротиноиди + токоли + фенолне киселине; mg/kg CM) и индикатори топлотног оштећења – фуразин (mg/100 g протеина), гликосилисомантол (GLI; mg/kg CM), хидроксиметил-фурфурол (HMF; mg/kg CM) и фурфурал (mg/kg CM) у кексу (адаптирано према: Hidalgo и сар. 2017)

Table 8.12. Content of total antioxidants (carotenoids + tocots + phenolic acids; mg/kg DM) and heat damage indicators – furosine (mg/100 g protein), glycosylisomantol (GLI; mg/kg DM), hydroxymethylfurfural (HMF; mg/kg DM) and furfural (mg/kg DM) in biscuits (Adapted from Hidalgo et al. 2017)

Узорак	Укупни антиоксиданси	Фирозини	GLI	HMF	Фурфурал
30% хељде	163,0	158,9	0,6	3,0	8,2
30% штира	138,9	227,2	1,0	4,9	7,8
30% киное	165,5	295,3	0,5	4,4	8,5
пшеница	108,5	190,6	1,3	1,1	16,2

Кекс израђен са различитим рецептурама показао је различиту антиоксидативну активност. Садржај конјугованих фенолних киселина у супернатанту се повећао (30%), а садржај везаних форми у седименту је смањен (17%). То указује на дјеломичну конверзију из везаног у конјуговани облик. Након дигестије у цријевима, антиоксидативни капацитет се повећавао без обзира на врсту и количину антиоксиданса у кексу. Прооксидативни капацитети AAPH у ћелијама кориштене културе били су смањени код свих верзија кекса, а посебно код кекса са брашном киное. Ови резултати наглашавају потенцијалне здравствене предности недовољно искориштених жита и потребу за *in vitro* или *in vivo* моделима за боље рјешавање потенцијалне биоактивности у цријевима и циљним органима (Hidalgo и сар. 2017).

8.5. Биолошке активности једињења

Биолошке активности неких од једињења која се налазе у псеудожитима приказане су у Таб. 8.13 (Nandan и сар. 2024).

Таб. 8.13. Потенцијални утицаји на здравље биоактивних једињења присутних у псеудожитима (адаптирано према: Nandan и сар. 2024; Priyanka Thakur и сар. 2021)

Table 8.13. Potential health effects of bioactive compounds present in pseudocereals (Adapted from Nandan et al. 2024; Priyanka Thakur et al. 2021)

НУТРИТИВНИ САСТОЈЦИ		
ПСЕУДОЖИТА	ХЕЉДА	– Протеини – Угљени хидрати – Дијетална влакна – Липиди – Минерали – Витамини
		БИОАКТИВНИ САСТОЈЦИ
		ДДЕЛОВАЊЕ
	КИНОА	– Флавоноиди – Кварцетин – Изокварцетин – Рутин – Кампферол – Мирицетин – Никотифлорин – Фенолна једињења – Ванилинска киселина – Гална киселина – р-хидроксибензоева к. – Ферулична киселина – Кумаринска киселина – Протокатехуринска киселина
		– Антимикробно – Антиоксидативно – Антидијабетско – Утицај на старења – Противупално – Антикancerогено – Ублажавање остeопорозе – Антихиперсензитивно – Јачање здравља срца и крвотока – Пребиотичко
	ШТИР	– Каротеноиди – Лутеин – Каротен – Зеаксантин – Беталини – Бетанин – Амаратин – Бетацијани

8.6. Закључак

Псеудожита (штир, киноа, чија и хељда) садрже бројне састојке који промовишу здравље и који играју важну улогу у људском тијелу. Међу биоактивним једињењима посебну пажњу заслужују: полифеноли, флавоноиди, беталаини, фагопиритол и друге есенцијалне компоненте.

У хељди је екстраховано и идентификовано шест флавоноида: рутин, оријентин, витексин, кверцетин, изовитексин и изооријентин. Штирово уље садржи токотриенол и сквален. Количина сквалена у сјеменкама штира (до 620 mg/kg) много је већа од садржаја сквалена у сјеменкама кукуруза, јечма и хељде. Од других биоактивних једињења штир садржи каротен, витамине, полифеноле, антоцијанине и лутеин. Сјеменке штира садрже значајну количину стерола, која се креће од 0,27 до 0,32 mg/g суве материје. Неке врсте штира су добри извори токотриенола, који су познати природни антиоксиданси. У сјеменкама киноа утврђено је присуство беталаина (изражен као збир бетацијанина и бетаксантина) у распону између 0,15 mg/100 g и 6,10 mg/100 g. Сјеменке хељде садрже фагопиритол (класа растворљивих угљених хидрата), међу којима је 3-O- α -D-galaktopiranozil-D-kiro-inozitol.

Здравствени учинак биолошки активних једињења је одређен њиховом биорасположивошћу и количином која се уноси кроз храну. Ово поглавље наглашава потенцијалне здравствене предности недовољно искориштених псеудожита и потребу за даљим истраживањима *in vitro* или *in vivo* модела за боље искориштење биоактивних једињења у цијелима и циљним органима.

Прехрамбени производи (на примјер, кекс), израђени уз додатак псеудожита (штир, киноа и хељда), садрже значајну количину биоактивних једињења (каротеноида, токола, фенолних једињења) и показују антиоксидативна својства. Познавање садржаја биоактивних једињења у различитим врстама псеудожита је добар смијер за развој безглутенске хране и побољшања нутритивног квалитета прехрамбених производа уопште.

Литература

- Abderrahim F, Huanatico E, Segura R, Arribas S, Gonzalez MC, Condezo-Hoyos L (2015) Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. Food Chem 183:83–90. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.029>.
- Alyssa H, Ferraretto A, De Noni I, Bottani M, Cattaneo S, Galli S, Gamel HT (2023) Screening and improving of nutritional and health-related compounds of pseudocereals. Developing Sustainable and Health Promoting Cereals and Pseudocereals. 2023 Elsevier Inc. pp. 87-97. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90566-4.00016-3>
- Gebremeskal HY, Nadtochii AL, Eremeeva BN, Mensah OE, Kazydub GN, Soliman NT, Baranenko AD, El-Messery MT, Tantawy AA (2024) Comparative analysis of the nutritional composition, phytochemicals, and antioxidant activity of chia seeds, flax

- seeds, and psyllium husk. *Food Biosci* 61:104889.
<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104889>
- Guo XD, Ma YJ, Parry J, Gao JM, Yu LL, Wang M (2011) Phenolics content and antioxidant activity of tartary buckwheat from different locations. *Molecules* 16:9850–9867.
<https://doi.org/10.3390/molecules16129850>
- De Bock P, Daelemans L, Selis L, Raes K, Vermeir P, Eeckhout M, Van Bockstaele F (2021) Comparison of the Chemical and Technological Characteristics of Wholemeal Flours Obtained from Amaranth (*Amaranthus sp.*), Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Buckwheat (*Fagopyrum sp.*) Seeds. *Foods* 10:651.
<https://doi.org/10.3390/foods10030651>
- Esfanjani AF, Assadpour E, Jafari SM (2018) Improving the bioavailability of phenolic compounds by loading them within lipid-based nanocarriers. *Trends Food Sci Technol*, 76:56–66. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.002>
- Karamac, M, Gai F, Longato E, Meineri G, Janiak MA, Amarowicz R, Peiretti PG (2019) Antioxidant activity and phenolic composition of amaranth (*Amaranthus caudatus*) during plant growth. *Antioxidants* 8(6):173. doi.
<https://doi.org/10.3390/antiox8060173>
- Li G, Zhu F (2017) Physicochemical properties of quinoa flour as affected by starch interactions. *Food Chem* 221:1560–1568.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.137>
- Martinez-Villaluenga C, Penas E, Hernandez-Ledesma B (2020) Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food Chem Toxicol* 137:111178.
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111178>
- Martín-García B, Pasini F, Verardo V, Gomez-Caravaca A. M, Marconi E, Caboni MF (2019) Distribution of free and bound phenolic compounds in buckwheat milling fractions. *Foods* 8(12):670. <https://doi.org/10.3390/foods8120670>
- Modupalli N, Sunil CK, Venkatachalapathy N (2024) Unit operations in pseudocereals and heritage grains processing. *Unit Operations in Food Grain Processing*. 2024 Elsevier Inc. pp.425–451. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18965-4.00014-5>
- Molska M, Reguła J, Kapusta I, Swieca M (2022) Analysis of phenolic compounds in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* moench) sprouts modified with probiotic yeast. *Molecules* 27(22):77–173. <https://doi.org/10.3390/molecules27227773>
- Motyka S, Skała E, Ekiert H, Szopa A (2023) Health-promoting approaches of the use of chia seeds. *J Funct Foods* 103:105480. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105480>
- Nandan A, Koirala P, Tripathi DA, Vikranta U, Shah K, Gupta J A, Agarwal A, Nirmal N (2024) Nutritional and functional perspectives of pseudocereals. *Food Chem* 448:139072. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139072>
- Narwade S, Pinto S (2018) Amaranth-a functional food. *Concepts Dairy Vet Sci* 1:112.
<http://dx.doi.org/10.32474/CDVS.2018.01.000112>
- Pereira E, Cadavez V, Barros L, Encina-Zelada C, Stojkovic, D, Sokovic M, Calhelha RC, Gonzales-Barron U, Ferreira IC (2020) *Chenopodium quinoa* willd. (quinoa) grains: A good source of phenolic compounds. *Food Res Int* 137:109574.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109574>
- Pilco-Quesada S, Tian Y, Yang B, Repo-Carrasco-Valencia R, Suomela JP (2020) Effects of germination and kilning on the phenolic compounds and nutritional properties of

- quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). J Cereal Sci 94:102–996. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102996>
- Pirzadah TB, Malik B, Tahir I, Ul Rehman R (2020) Buckwheat journey to functional food sector. Curr Nutr Food Sci 16(2):134–141. <http://dx.doi.org/10.2174/1573401314666181022154332>
- Repo-Carrasco-Valencia R, Hellström JK, Pihlava JM, Mattila PH (2010) Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Food Chem 120:128–133. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.087>
- Rochetti G, Lucini L, Rodriguez JML, Barba FJ, Giuberti G (2019) Gluten-free flours from cereals, pseudocereals and legumes: phenolic fingerprints and *in vitro* antioxidant properties. Food Chem 271:157–164. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.176>
- Thakur P, Kumar K, Dhaliwal SH (2021) Nutritional facts, bio-active components and processing aspects of pseudocereals: A comprehensive review. Food Biosci 42:101170. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101170>
- Fonseca FB, Barros THJ, Feitoza FVJ (2024) Pseudocereals – A bibliometric analysis and literature review on the potential for manufacturing flours, bakery products and milk analogues. NFS J 34:100163. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2024.100163>
- Hemalatha P, Bomzan DP, Rao BS, Sreerama YN (2016) Distribution of phenolic antioxidants in whole and milled fractions of quinoa and their inhibitory effects on α -amylase and α -glucosidase activities. Food Chem 199:330–338. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.025>
- Hidalgo A, Ferraretto A, De Noni I, Bottani M, Cattaneo S, Galli S, Brandolini A (2018) Bioactive compounds and antioxidant properties of pseudocereals-enriched water biscuits and their *in vitro* digestates. Food Chem 240:799–807. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.014>
- Carciochi RA, Manrique GD, Dimitrov K (2014) Optimization of antioxidant phenolic compounds extraction from quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. J Food Sci Technol 52:4396–4404. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1514-4>

Biologically active substances from pseudocereals

Radoslav Grujić

Summary

Amaranth, buckwheat, quinoa and chia are rich sources of biologically active substances (nutraceuticals). This chapter provides an overview of research on the content of these important compounds. The focus was on the content of polyphenols, flavonoids, betalains and other compounds. In addition, the structures of the most important biologically active compounds are given and the type of action of each of the above groups of compounds is indicated. This review is useful for anyone who wants to improve their diet, and especially for experts involved in the development of functional foods and foods for specific categories of consumers.

Keywords: Pseudocereals, Phytochemicals, Nutraceuticals, Polyphenols, Flavonoids, Betalains, Health Effects, Bioactive Substances in Pseudocereal Biscuits