

11

**Функционална и технолошка
својства протеина и скроба псеудожита**

Радослав Грујић



UDK 543.635.252:633.175
DOI 10.7251/PRB2504299G

Цитирање: Грујић Р (2025) Функционална и технолошка својства протеина и скроба псеудожита. У: Пржуљ Н, Грујић Р (уредници) Нутрицеутске гајене биљке. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука. Монографија LXV:299–323

Cite as: Grujić R (2025) Functional and technological properties of protein and starch of pseudocereals. *In:* Pržulj N, Grujić R (eds) Nutraceutical cultivated plants. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka. Monograph LXV:299–323

Сажетак. У овом поглављу дат је преглед функционалних и технолошких својстава протеина и скроба из штира, киноа, хељде и чија сјеменки. Протеини псеудожита имају молекуле сложене структуре. Функционална и нутритивна својства зависе од структуре протеина. Као основна функционална својства псеудожита у литератури се наводе: растворљивост, способност апсорпције воде, способност апсорпције уља, способност задржавања воде, способност задржавања воде и уља, емулгирајућа својства, својства стварања и одржавања (стабилност) пјене и својства желатинизација. Функционална својства протеина псеудожита односе се на њихово понашање током припреме, обраде и складиштења хране. Својства скроба значајно утичу на функционална својства прехранбених производа израђених на бази псеудожита, због чега је потребно, анализом релевантних истраживања, разјаснити карактеристике и понашање скрובה различитог поријекла током прераде.

Кључне ријечи: псеудожита, структура протеина, функционална и технолошка својства протеина, биоактивност пептида, технолошка својства брашна

11.1. Увод

Протеини псеудожита имају сложену тродимензионалну структуру, која је одређена саставом и редослиједом аминокиселина. Оваква структура утиче на специфична функционална и нутритивна својства протеина псеудожита. Према растворљивости, фракције протеина из псеудожита класификују се на албумине (растворљиве у води), глутелине (растворљиве у киселим и базним растворима), глобулине (растворљиве у физиолошким растворима) и пролаmine (растворљиве у алкохолним растворима) (Rivero Meza и сар. 2023). Међусобни однос фракција протеина зависи од врсте псеудожита. Уопштено речено, међу фракцијама протеина из псеудожита преовлађују албумини и глобулини, што их чини различитим од протеина већине жита, у којима преовлађују проламини и глутелини (Janssen и сар. 2017). Међусобни однос фракција протеина псеудожита сличнији је односу фракција протеина махунарки, него протеина жита (Vidaurre-Ruiz и сар. 2023).

Протеини киноа се претежно састоје од албумина и глобулина. Преовлађујући глобулин је тип 11S (*Chenopodin*), који представља 37% укупног протеина киноа. *Chenopodin* је богат глутамином / глутаминском киселином, аспарагином / аспарагинском киселином, аргинином, серином, леуцином и глицином, али садржи релативно мало аминокиселина које

садрже сумпор (метионин и цистеин). Албумин типа 2S је други најзаступљенији протеин у кинои (представља око 35% укупних протеина у кинои). Овај албумин има висок садржај цистеина, аргинина, хистидина и лизина, и релативно низак садржај метионина (Rivero Meza и сар. 2023). Садржај проламина, који немају штетно дјеловање на пацијенте са целијакијом, у кинои је мали (1,7%) (Janssen и сар. 2017).

Албумини представљају главну фракцију протеина штира (11–52%). Овдје су најзаступљенији сљедећи протеини: 7S и 11S глобулин (16–51%), глутелин (7–36%) и проламин (0–13%) (Janssen и сар. 2017). Преовлађујући глобулин у штиру је 11S (amarantin), док је 7S глобулин (conamarantin) знатно мање заступљен (Vidaurre-Ruiz и сар. 2023). Албумини и глобулини садрже значајну количину есенцијалних аминокиселина као што су лизин, метионин, изолеуцин, триптофан и треонин (Rivero Meza и сар. 2023).

Протеини хељде имају висок удио албумина и глобулина (38,44–77%), и мањи удио проламина (0,7–7,01%) и глутелина (11,5–59%). Обична хељда садржи мање албумина, глутелина и проламина од татарске хељде. Главни протеини хељде су глобулин 13S (43% укупних протеина у зрну) и 8S и 2S (Bender и Schoenlechner 2021).

11.2. Биофункционална својства пептида

Да би се сматрали биоактивним, пептиди морају показивати значајну биолошку активност без изазивања токсичности или алергености (Mensah и сар. 2024). Ензимска хидролиза је широко кориштена метода за генерисање биоактивних пептида. Овдје се најчешће користе протеазе попут пепсина, алкалазе, бромелаина и папаина, те пробавни ензими пепсин, трипсин и химотрипсин (Rader и сар. 2018). Ови ензими цијепају молекуле протеина на мање пептиде, често повећавајући њихову биоактивност.

Биоактивни пептиди добијени из чија сјеменки обично се састоје од 3–20 аминокиселина, са молекулским масама испод 3 kDa (Jones и сар. 2019). Здравствене користи чија пептида на молекуларном нивоу су широко документоване у литератури. Ови пептиди показују широк спектар биоактивности, укључујући антиоксидативне, противупалне, антихипертензивне и антидијабетичке ефекте, као и неуропротективно и антимикуробно дјеловање. Молекуларни механизми путем којих ови пептиди остварују своје благотворне ефекте су разнолики и сложени, често укључују интеракције са кључним ћелијским путевима, ензимима и рецепторима.

У Таб. 11.1 дат је сажетак биоактивних својстава чија пептида на којима се заснива њихово дјеловање (Khushairay и сар. 2025). Широки распон дјеловања ових пептида наглашава њихов потенцијал као функционалних састојака у храни која промовише здравље и као потенцијал терапијских средстава за управљање различитим здравственим стањима.

Таб. 11.1. Биоактивност чија пептида и механизми њиховог дјеловања (адаптирано према: Khushairay и сар. 2025)

Table 11.1. Bioactivity of chia peptides and mechanisms of their action (Adapted from Khushairay et al. 2025)

Својство	Механизми/ефекти	Протеинска фракција
Антиоксидативно дјеловање	Способност уклањања оксида, водоник пероксида, супероксида и DPPH-а, те инхибирање ензима 5-липоксигеназе (5- LOX), циклооксигеназе 1 и 2 (COX-1-2) и индуцибилне синтазе азот-оксида (iNOS)	Албумин, глобулин, глутелин
	Албумин снажно инхибира ABTS и DPPH радикале, док проламин и глобулин показују висок капацитет за хелирање јона жељеза	Албумин, проламин, глобулин
Антихипертензивно дјеловање	Показује ACE инхибиторну активност	Глобулин, албумин
	Интеракција пептидне секвенце са девет водоникових и осам хидрофобних веза на ACE каталитичком мјесту	Leu-Ile-Val-Ser-Pro-Leu-Ala-Gly-Arg-Leu
Противупално дјеловање	Реагује са COX-2, p65-NF-κB, LOX-1 и TLR4. Смањује ослобађање H ₂ O ₂ и азот-оксида и модулира нивое про- и антиинфламаторних цитокина (IL-10, IL-1β, IL-6 и TNF-α)	Фракције пептида 1–3 kDa
	Смањује упалне медијаторе нуклеарног фактора капа-лаког ланца активираних В ћелија (NF-κB p56) и рецептора активираних пролифератором пероксисома гама (PPAR-γ) у масном ткиву мишева	Leu-Pro-Val-Phe-Gly-Leu-Ala-Ala-Glu-Gly-Asn-Val-Val-Thr-Tyr-Leu-His
Неуропротективно дјеловање	Смањују проинфламаторне медијаторе (TNF-α, IL-6, NO, H ₂ O ₂) и реактивне врсте кисеоника у ћелијама хуманог микроглијалног клона 3 (HMC3)	Фракције пептида < 3 kDa

Својство	Механизми/ефекти	Протеинска фракција
Антидијабетско дјеловање	Инхибира DPP-IV (43,60%) и α -глюкозидазу (3,39%), при чему су IW и PW фрагменти показали ниску енергију везивања за ове ензиме (in-silico студија)	Пептиди
	Смањује концентрацију глукозе у плазми 30 минута након примјене код девет дијабетичара компетитивним везивањем за активна мјеста сахаразе, α -амилазе и α -глюкозидазе, инхибирајући њихове активности	Пептиди
Антимикробно дјеловање	Инхибира <i>Escherihia coli</i> и <i>Listeria monocytogenes</i> оштећујући њихове ћелијске мембране, узрокујући деформацију и успоравајући раст бактерија	Фракције пептида < 3 kDa
	Инхибира <i>E. coli</i> O157:H7 B6-914, <i>E. coli</i> ATCC 25922, <i>Salmonella enterica</i> serovar <i>Typhimurium</i> K1028, <i>Listeria monocytogenes</i> 10403S и <i>Listeria innocua</i> ATCC 33090	Фракције пептида < 3 kDa
	Инхибира грам-позитивне бактерије <i>L. monocytogenes</i> ATCC 51,414, <i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25,923 и грам-негативне бактерије <i>Bacillus subtilis</i> ATCC 465, <i>Shigella flexneri</i> ATCC 9748, <i>Salmonella typhimurium</i> ATCC 51,821, <i>Salmonella typhi</i> ATCC 19,430, <i>Salmonella Paratyphi</i> ATCC 9150, <i>Salmonella Enteritidis</i> ATCC 13,076, <i>Escherihia coli</i> ATCC 43,895	Lys-Leu-Lys-Lys-Asn-Leu; Lys-Lys-Tyr-Arg-Val-Phe; Met-Leu-Lys-Ser-Lys-Arg; Met-Ser-Lys-Ala-Lys-Pro-Gly-Arg-Ser-Met; Ser-Val-Val-Ala-Lys-Ala-Pro-Val-Gly-Lys-Arg
Спречавање старења	Имитира путеве који преносе сигнале до колагена и других влакнастих протеина попут еластина и фибрина. ВР-ови (тј. палмитоил-тетрапептид-7) смањују IL-6, покрећу синтезу новог колагена и еластина и одлажу стварање бора	Пептиди
	Инхибира ензиме (на примјер, еластаза, тирозиназа, колагеназа и хијалуронидаза) који су одговорни за боре на кожи	Фракције пептида < 3 kDa

Својство	Механизми/ефекти	Протеинска фракција
	Инхибира матриксна металопроотеиназа-1 (ММР-1), 2 (ММР-2) и на тај начин је смањује степен оштећења колагена	Пептиди
Хиполипидемијско и хипогликемијско дјеловање	Инхибира активност HMG-CoA редуктазе са ефектом упоредивим са правастатином, формирајући јединствену класу инхибитора који блокирају мевалонатни пут, помажући у спречавању хиперхолестеролемије	Фракције пептида < 3 kDa

11.3. Функционално-технолошка својства протеина псеудожита

Протеини из псеудожита показују различита функционална и технолошка својства. Захваљујући томе псеудожита се могу користити у изради различитих прехранбених и непрехрамбених производа. Међу релевантним технолошким и функционалним својствима протеина, а која битно утичу на прераду хране, спадају растворљивост, способност емулговања, својства стварања и одржавања пјене и способност желатинизације (Vidaurre-Ruiz и сар. 2023).

Функционална својства чија протеина односе се на понашање протеина током припреме, обраде и складиштења хране, што зависи од величине, облика, састава аминокиселина, расподеле набоја, структуре итд. (Małeckі et al. 2021). Као основна функционална својства псеудожита протеина, Chen и Luo (2024) наводе: растворљивост, капацитет апсорпције воде и уља, капацитет задржавања воде и уља, емулгирајуће својство, својства стварања и одржавања (стабилност) пјене и својство желатинизација. Томе треба додати утицај фактора који у пракси појачавају или потискују наведена својства (Сл. 1).

Фактори који могу побољшати функционална својства протеина из чија сјеменки			
Растворљивост	Виши рН (>3) Виша температура (50°C) Додавање соли Виши степен хидролизе	Способност везивања воде	Виши садржај глутелина Третман лиофизацијом
Емулгујућа својства	Виши рН (<3) Виши степен хидролизе	Способност везивања уља	Виши степен хидролизе Фракције са нижим садржајем протеина
Стварање пјене	Виши рН (<3) Виши степен хидролизе Третман сушења распршивањем	Способност везивања воде	Виши садржај глутелина
Својства желирања	Фракције са већим садржајем протеина	Способност задржавања уља	Виши садржај глутелина

Сл. 11.1. Преглед основних функционалних својстава протеина чија сјеменки и фактора који појачавају или смањују наведена својства (Chen и Luo 2024)

Fig. 11.1. An overview of the basic functional properties of seed proteins and factors that enhance or reduce these properties (Chen and Luo 2024)

Растворљивост представља количину протеина која може да се раствори у растварачу. Ово својство утиче на друга функционална својства. Протеини из киноа, штира и хељде имају већу растворљивост од протеина осталих жита, али мању од растворљивости протеина махунарки (Vidaurre-Ruiz и сар. 2023), што је последица састава протеина псеудожита. Ови протеини, посебно глобулини, растворљиви су у води и другим растварачима. Према Vidaurre-Ruiz и сар. (2023) растворљивост протеина псеудожита је следећа: киноа 17% код рН 7; штир 22% код рН 7; хељда 41–65% код рН 2–10.

Максимална растворљивост протеина псеудожита постиже се код рН вриједности ниже од 4 или више од 7. У опсегу рН вриједности између 4 и 7, растворљивост има тенденцију опадања (око 50%), јер се изоелектричне тачке протеина налазе у том распону рН вриједности. На примјер, низак ниво растворљивости изолата протеина штира при неутралном рН може бити повезан са присуством глобулина (Constantino и Garcia-Rojas 2022). Најнижа растворљивост протеина хељде постиже се при рН 4, а највећа при рН 7 или већој, достижући вриједност и до 65%. Растворљивост у изолатима протеина киноа се значајно повећава при рН вриједностима вишим од 5, достижући своју максималну алкалну растворљивост (скоро 100%) при рН 10.

Недовољна растворљивост протеина псеудожита представља недостатак и ствара препреке за примјену псеудожита. Недостаци се могу отклонити, а растворљивост повећати модификовањем структуре протеина. То утиче на повећање удјела изложених и поларних регије ланаца протеина и њихову бољу интеракцију са молекулима воде. На крају то води ка повећању растворљивости протеина.

Својства стварања и одржавања (стабилност) пјене односе се на начин формирања и стабилизацију већ формиране пјене. На својства пјене протеина шири велики утицај има рН вриједност. Због брже дифузије и адсорпције на граници ваздух/вода, протеини најбоље стварају пјену код рН 2,0. Код овог рН протеини шири су стабилни, јер се у овим условима формирају флексибилни и високоеластични међуфазни филмови. Оптимални рН за стварање пјене може варирати у зависности од сорте и поступка екстракције протеина. Албумини из шири ефикасније стварају пјену него глобулини, и она је стабилнија од пјене глобулина (Janssen и сар. 2017). Протеини хељде показују боља својства пјене од протеина шири и она су боља код виших рН вриједности.

На својства пјене изолата протеина киное утичу хидрофобност, својства међуфазног слоја и способност задржавања воде. Капацитет пјене изолата протеина киное зависи од концентрације протеина. Ензимска хидролиза може побољшати стварање пјене (Dakhili и сар. 2019). Неке врсте киное садрже сапонине који, због своје површинске активности, значајно утичу на стварање пјене и њену стабилност.

Емулгирајућа својства протеина односе се на способност протеина да олакшају формирање и допринесу стабилизацији емулзија. Ово својство зависи од способности протеина да се распоређују на граници уље–вода и да формирају стабилизујуће филмове око капљица уља и тако дуже вријеме спречавају коалесценцију и друге промјене емулзије.

На способност емулговања и стабилизације протеина шири има утицај рН вриједност. Способност емулговања протеина шири је мала. Утврђено је да се и протеини шири и протеини соје понашају слично у погледу својих емулгирајућих својстава. Што се тиче протеина киное, доказано је да они имају мањи капацитет стварања емулзије од албумина говеђег серума (*Bovine Serum Albumin*, BSA). Међутим, стабилност емулзије киное може бити већа од стабилности протеина пшенице и соје.

Својства желатинизација. Механизам желатинизација заснива се на формирању кохезивне тродимензионалне мреже, унутар које се задржавају молекуле воде. Због доприноса текстури и сензорној перцепцији хране,

својству желатинизације се посвећује значајна пажња. Гелови које формирају протеини имају кључну улогу код задржавања воде, шећера и других састојака хране, формирања укуса, те укупног квалитета хране (Dakhili и сар. 2019).

Сушење код благих услова довело је до стварања јачих и еластичнијих гелова протеина хељде, који су стабилизовани хидрофобним интеракцијама и дисулфидним везама (Sun и сар. 2022). Да би протеини штира формирали гелове потребна је минимална концентрација протеина од 7,0% и температура од 70 °C. Структура гела се углавном стабилизује интер-молекуларним дисулфидним и нековалентним везама. На структуру гела и капацитет желатинизације протеина киное значајно утичу рН услови током процеса изоловања протеина.

11.4. Технолошка и функционална својства пептида из чија сјеменки

Чија протеини показују различита технолошка и функционална својства, што указује на његов потенцијал за различиту примјену у преради хране и изради нутрацеутика. На ова својства, која се односе на понашање протеина током припреме, прераде и складиштења хране, утичу фактори као што су величина протеина, облик, састав аминокиселина, расподјела набоја и структурна конформација (Malecki и сар. 2021).

Чија протеини имају добра функционална својства, укључујући растворљивост, способност емулговања, способност стварања пјењења, апсорпцију воде и уља, способност задржавања воде и уља, те својства желатинизација. Ове карактеристике значајно утичу на текстуру, конзистенцију и укупни квалитет прехранбених производа, што чија протеине чини врло корисним за израду хране (Khushairay и сар. 2025).

Табела 11.2 пружа свеобухватан преглед кључних функционалних својстава чија протеина.

Таб. 11.2. Технолошке и функционалне карактеристике чија протеина
(адаптирано према: Khushairay и сар. 2025)

Table 11.2. Technological and functional characteristics of chia protein (Adapted from Khushairay et al. 2025)

Технолошка и функционална својства	Опис дјеловања
Растворљивост	Кључни фактор у способности протеина да реагују са другим компонентама хране, утичући на његова емулгирајућа и желирајућа својства, те стварање пјене, уз истовремено побољшање дисперзије и конзистенције у воденим системима хране.
Капацитет апсорпције воде и уља	Односи се на способност протеина да апсорбује и задржава воду или уље. Неопходан је за текстуру, вискозитет и емулговање хране. Побољшава задржавање влаге и масти, побољшавајући текстуру, богатство и структуру производа попут тијеста, кобасица и других производа.
Капацитет задржавања воде и уља	Односи се на способност протеина да задржавају воду или уље под утицајем вањских сила. Својство има кључан утицај на одржавање текстуре, стабилности и конзистенције у храни као што су мајонеза и кобасица, уз истовремено спречавање одвајања током складиштења и обраде.
Емулгирајуће својство	Односи се на способност протеина да стабилизује уље и воду у једноличну смјесу. Неопходан је за побољшање текстуре, стабилности и спречавање одвајања у производима као што су маргарин, преливи, мајонезе, умаци и сладолед.
Својство стварања пјене и стабилност пјене	Односи се на способност протеина да формира и стабилизује пјену хватањем мјехурића ваздуха унутар течне или чврсте фазе. Побољшава текстуру и изглед хране повећањем волумена пјене и стабилности код производа као што су шлаг, мус, колачи, и пиво.
Својство желатинизација	Желатинирајућа својства односе се на способност протеина да формирају гел под одређеним условима (топлоте или хлађења). Ово својство утиче на текстуру, чврстоћу и задржавање воде, доприносећи укупној стабилности производа, на примјер џемова, желеа, гумених бомбона, гелова, пудинга и биљних алтернатива.

11.5. Технолошка својства интегралног брашна псеудожита

11.5.1. α -амилаза, оштећење скроба и моћ упијања воде

De Bock и сар. (2021) испитивали су активност α -амилазе и степен оштећења скроба, те моћ упијања воде интегралног брашна (WMF-а) штира, киноа и хељде

(Таб. 11.3).

Таб. 11.3. Степен оштећења α -амилазе и скроба, те моћ упијања воде интегралног брашна од штира, киноа и хељде (адаптирано према: De Bock и сар. 2021).

Table 11.3. The degree of damage to α -amylase and starch, and the water absorption capacity of wholemeal flour from amaranth, quinoa and buckwheat (Adapted from De Bock et al. 2021).

Својство	Штир	Киноа	Хељда
Активност α -амилазе (CU/g CM)	0,06–0,22	0,05–1,07	0,03–0,10
Степен оштећења скроба (% CM)	3,10–3,95	3,51–4,44	0,94–1,43
Моћ упијања воде (g/g)	1,86–2,15	1,52–2,05	1,59–1,77

CM – сува материја

Највећа просјечна вриједност **активности α -амилазе** утврђена је у интегралном брашну штира (0,15 CU/g CM). Ова вриједност може утицати на технолошка својства брашна. Код већине узорака брашна киноа активност α -амилазе се кретала између 0,05 CU/g CM и 0,11 CU/g CM. Слична вриједност α -амилазе је измјерена и током других истраживања: 0,04 CU/g (Elgeti и сар. 2014) до 0,09 CU/g (Mäkinen и сар. 2013). Најнижа активност α -амилазе измјерена је у интегралном брашну хељде и кретала се између 0,03 и 0,10 CU/g CM. Phiarais и сар. (2005) измјерили су активност α -амилазе од 0,1 CU/g SM. Инактивност α -амилазе у присуству/одсуству AgNO_3 повећава максимални вискозитет брашна сорте *A. hypochondriacus*, док код брашна добијеног од штира сорте *A. caudatus* није уочена разлика (Nie Phiarais и сар. 2010). Поред тога, сорта *A. hypochondriacus* показала је ширу и већу активност α -амилазе, што може објаснити нижи вискозитет ових сорти.

Степен оштећења скроба штира током сувог мљењења варирао је између 3,10% и 3,95% CM (Таб. 11.3) (De Bock и сар. 2021). Мљењење већих сјеменки резултирало је већим оштећењем скроба. Величина оштећења скроба у интегралном брашну киноа кретала се између 3,51% CM и 4,44% CM. Степен оштећења скроба у интегралном брашну хељде био је знатно нижи у односу на брашно киноа (De Bock и сар. 2021).

Моћ упијања воде од стране интегралног брашна киное варирала је од 1,52 g/g до 1,74 g/g, односно од 0,89 g/g до 1,22 g/g (Aluwi и сар. 2017). Моћ упијања воде од стране брашна хељде (просјечне вриједности 1,67 g/g) слична је капацитету брашна киное. Bhinder и сар. (2020) измјерили су нешто веће вриједности моћи упијања воде (2,25–2,73 g/g). На моћ упијања воде интегралног брашна хељде највећи утицај имају скроб и дијетална влакна, као главни хидрофилни састојци.

11.5.2. Способност бубрења

Различита псеудожита имају различиту способност бубрења. То се објашњава разликом у организацији гранула скроба (Adebowale и сар. 2002), односно његовој компоненти амилопектин (Li и Yeh 2001).

De Bock и сар. (2021) одредили су способност бубрења интегралног брашна штира, киное и хељде на температурама 55 °C, 65 °C, 75 °C, 85 °C и 95 °C. Повећање температуре брашна са 65 °C на 75 °C резултирало је значајним порастом способности бубрења интегралног брашна штира (са 3,18 на 10,87 g/g). Повећање температуре узрокује оштећење гранула скроба и омогућава да грануле апсорбују већу количину воде (Li и Yeh 2001). Способност бубрења брашна киное расте са повећањем температуре (са 3,33 g/g код 55 °C на 8,71 g/g код 95 °C) (De Bock и сар. 2021).

Упркос великом капацитету бубрења, интегрално брашно штира је имало најнижу вриједност максималног вискозитета (1.657 ± 180 mPas) (De Bock и сар. 2021). На отпорност на топлоту и силу смицања набубрених скробних гранула највише утичу амилозно-липидни комплекси. Због ниског садржаја амилозе, утицај амилозно-липидног комплекса има ограничено дејство на интегрално брашно штира. То доводи до високе осјетљивости на смицање и ниског максималног вискозитета (Srichuwong и сар. 2017). Амилоза директно утиче на вискозитет, па виши максимални вискозитет сугерише на већи садржај амилозе у брашну (Repo-Carrasco и сар. 2010). Максимални вискозитет брашна киное кретао се у распону 1.418–2.606 mPas (De Bock и сар. 2021).

У односу на брашно других псеудожита, брашно хељде је имало значајно већи максимални вискозитет (2.771 mPas), што је вјероватно посљедица већег садржаја скроба и амилозе у хељдином брашну (Haros и сар. 2017).

Као резултат реасоцијације скробних гранула након хлађења, вискозитет се повећава (Menegassi и сар. 2011). Коначни вискозитет интегралног брашна штира (1.502 mPas) нижи је у односу на максимални вискозитет. Укупни пад вискозитета брашна штира био је низак (395 mPas). То указује на ниску стопу

ретроградације скроба (Menegassi и сар. 2011). Коначни вискозитет (2.677 mPas) и укупни пад (767 mPas) били су највећи код брашна киное (De Bock и сар. 2021).

Хлађење замјеса изазвало је повећање вискозитета код брашна хељде, што се види у вриједности задржавање (3.702 mPas). Крајњи вискозитет код овог брашна (6.421 mPas) био је два до три пута већи у поређењу са брашном киное (De Bock и сар. 2021).

Технолошки изазови у развоју хране на бази псеудожита без глутена зависе од физичких карактеристика зрна и функционалних својстава брашна богатог храњивим материјама. Замјес композитног брашна без глутена добијеног од псеудожита припремљен је мијешањем брашна штира, брашна хељде и брашна киное у три различита односа: Т1, Т2 и Т3, а њихова функционална својства упоређена су са својствима пшеничног брашна (Poshadri и сар. 2023). Функционална својства композитног брашна без глутена, као што су густоћа у расутом стању, капацитет апсорпције воде, моћ бубрења, капацитет задржавања воде, капацитет апсорпције уља, капацитет пјењења и индекс растворљивости у води, значајно су се разликовала од својстава пшеничног брашна. Стандардизоване мјешавине брашна псеудожита без глутена побољшавају нутритивна, текстуална и сензорна својства функционалних прехранбених производа.

11.6. Функционална својства скроба псеудожита

Скроб је један од главних састојака сјемена псеудожита, на који отпада 51–70% суве материје сјемена (Perez-Rea и Rael Antezana-Gomez 2024). Сјеменке, које су богате скробом, могу се користити за израду хљеба, тјестенине, хране за доручак, пахулица и освјежавајућих пића. Псеудожита не садрже протеин глутен, због чега се користе за израду производа без глутена. Поред тога, постоје велике могућности да се и скроб, који је екстрахован из сјеменки псеудожита, користи за израду различитих прехранбених и непрехранбених производа.

Својства скроба значајно утичу на функционална својства прехранбених производа израђених на бази псеудожита, због чега је потребно разјаснити карактеристике и понашање скрובה различитог поријекла током прераде.

11.6.1. Скроб из сјемена киное

Садржај скроба у сјемену киное креће се од 54% до 69% суве материје сјемена, због чега ово сјеме представља добар извор енергије (Perez-Rea и Rael Antezana-Gomez 2024). Скроб је смјештен у перисперму сјемена киное. Он се налази у облику сферичних или издужених агрегата чији пречнике је 20–30 μm . Садржај амилозе у скробу киное, који је екстрахован из неколико сорти киное, креће се између 5% и 13% (Jiang и сар. 2020; Velásquez-Barreto и сар. 2021).

Након екстракције скроба из сјеменки киное у скробу се задржава мала количина протеина (~0,25%), липида (до 1%) и других примјеса. Скроб киное, који је најмање пет пута испран водом (или има чистоћу од око 96% суве материје), у сувој материји садржи 0,11–1% протеина, 0,01–0,40% липида, 0,10–0,6% влакана и 0,04–0,6% пепела (Perez-Rea и Rael Antezana-Gomez 2024).

Li и сар. (2016) уочили су велике разлике у способности бубрења и растворљивости 26 узорака скроба киное. Аутори су примијетили да са порастом температуре долази до повећања способности бубрења и то: 55 °C (3–13%), 85 °C (19–33%) и 95 °C (21–41%). Током испитивања, растворљивост скроба се стално повећава са порастом температуре, и износи 0,4–6% на 55 °C и 41–87% на 95 °C.

Желатинизација скроба је ендотермни процес. Термичка својства скроба киное из јужноамеричких сорти упоредива су са својствима сорти из Канаде, али је температура желатинизације много нижа него код сорти из Индије и Кине. У поређењу са скроровима другог ботаничког поријекла, скроб киное из Јужне Америке има нижу температуру желатинизације од скророва из штира, кукуруза, проса и сирка, али сличне вриједности као скроб из пшенице (Srichuwong и сар. 2017; Fuentes и сар. 2019).

Промјена **вискозитета** водене суспензије скроба током програмираног циклуса гријање – кување – хлађење представља важан параметар за примјену скроба у производњи хране. Fuentes и сар. (2019) утврдили су смањења вискозитета за 9%, што указује да је скроб киное врло отпоран на механичко смицање током кувања.

Ретроградња је термин који се користи за опис промјена које се јављају након желатинизације скроба, односно за опис промјена које се дешавају током преласка из аморфног стања у кристално стање. Старењем, формирани скробни гел губи капацитет задржавања воде, узрокујући процес враћања реда у кристалној структури. Ове промјене негативно утичу на текстуру хране

богате скробом (Grujić и сар. 2017). Брзина и обим ретроградње зависе од многих фактора, као што су однос амилозе и амилопектина, садржај воде и температура током складиштења. Кристализација амилозе је брз процес и може се завршити у року од два дана, док је овај процес у амилопектинским геловима спор и може се завршити након 30 или 40 дана. Помоћу DSC анализе Steffolani и сар. (2013) проучавали су ретроградњу скроба киноне током складиштења 14 дана на 4 °C и утврдили низак постотак ретроградње (између 2% и 6%) са вршном ендотермом на око 51 °C.

Реолошка својства скробног гела који је замрзнут па одмрзнут обично се разликују од својстава истог незамрзнутог гела. Синереза је најважнија појава процеса замрзавања и одмрзавања скробног гела. Она се може дефинисати као количина воде одвојене након више пута поновљених циклуса замрзавања и одмрзавања. Гел скроба киноне је отпоран на ретроградацију, што указује на могућност његове примјене у замрзнутим прехранбеним производима. У неким случајевима синереза (од 12%) појавила се тек након деветог циклуса замрзавањ–одмрзавање (Perez-Rea и Antezana-Gomez 2024).

Нутритивна својства скроба у храни могу се окарактерисати гликемијским индексом (GI). Брзина *in vitro* дигестије скроба из хљеба на бази брашна киноне процијењена је помоћу мултиензимског система за дијализу (Wolter и сар. 2013). Резултат је показао да је пробављивост скроба у хљебу од киноне висока (GI = 95), што је мало нижа вриједност од пробављивости скроба у пшеничном хљебу (GI = 100).

Скроб се може хидролизовати помоћу ензима амилаза. Проведена су истраживања о осјетљивости гранула скроба киноне на β-амилазу и изоамилазу, глукоамилазу и α-амилазу свињског панкреаса на температури 37–40 °C (Perez-Rea и Antezana-Gomez 2024). Li и сар. (2016) одредили су пробављивост скроба из 26 сорти киноне у распону од 48% до 81%.

Грануле скроба се користе за стабилизацију прехранбених емулзија. Грануле скроба из киноне имају добру способност стабилизације ових емулзија, посебно када су хидрофобно модификоване са додатком анхидрид н-октенил сукцинског анхидрида (OSA) или поступком топлотне обраде (Timgren и сар. 2013). Модификовани OSA скроб (E1450), са степеном супституције до 3% скроба, добро је познат састојак хране. Суво загријавање утиче на повећање хидрофобности скроба, узрокујући промјену протеина на површини гранула скроба из хидрофилног у хидрофобни карактер.

Прехрамбене емулзије припремљене с OSA модификованим гранулама скроба киноне могу се примијенити на различите начине. Једна од могућности примјене је код капсулирања осјетљивих биоактивних или вриједних

састојака у прехранбеним и фармацеутским производима. Скорб из киное дјелује као баријера која контролише својства ослобађања или штити осјетљива једињења од различитих врста разградње (на примјер, оксидацију и реакције са другим састојцима) током обраде и складиштења.

Природни скорб киное се може користити за израду безбојних, прозирних, флексибилних јестивих биоразградивих филмова. Ови филмови имају добра механичка својства, те представљају баријере за кисеоник и водену пару.

11.6.2. Скорб штира

У сјеменкама штира скорб је најзаступљенија компонента угљених хидрата (између 55% и 64%). Скорб високе чистоће (~98%) добијен је из сјемена штира. Скорб штира садржи 0,15– 1,03% протеина, 0,14% масти, 0,19% влакана и 0,26% пепела (Fuentes и сар. 2019; Velásquez-Barreto и сар. 2021). Зрна скроба из врсте *Amaranthus* су полигоналног облика са благо удубљеним странама. За скорб *A. caudatus* Fuentes и сар. 2019, и Velásquez-Barreto и сар. 2021. измјерили су просјечне пречнике од 1,50 μm и 1,85 μm , респективно.

Садржај амилозе у скробу из врсте *Amaranthus* је врло низак. Пријављено је да садржај амилозе у скробу *A. Caudatus* варира од 0% до 10% (Fuentes и сар. 2019; Velásquez-Barreto и сар. 2021). Скорб *A. Caudatus*, који се састоји само од амилопектина, има просјечну молекулску масу (M_w) од $20 \times 10^8 \text{ g/mol}$.

Velasquez-Barreto и сар. (2021) утврдили су да скорб *A. caudatus* на температурама од 50 °C до 90 °C има способност бубрења 5–40 g/g и вриједност растворљивости 5–81%. *A. caudatus* скорб има знатно ниже температуре желатинизација од скроба *A. cruentus* и *A. hypochondriacus*. Уочена је значајна корелација између fine структуре амилопектина и термичких параметара. Проценат ретроградње за скорб штира након складиштења на 4 °C током седам дана, био је 5,2%. Пробављивост *in vitro* код скроба *A. caudatus* испитивана је симулацијом дигестије у цријевима (Velasquez-Barreto и сар. 2021). Садржај брзо сварљивог скроба је био 29,5%, а споро сварљивог скроба 26,5% и био је врло сличан сварљивости скроба киное.

У односу на немодификовани скорб штира, OSA-модификовани скорб има побољшану моћ бубрења, бистрину пасте и стабилност током процеса смрзавање–одмрзавање, повећану вискозност и смањену температуру желатинизација. Ови резултати указују на то да се OSA-модификовани скорб штира може примијенити у прехранбеној индустрији, посебно током процеса емулговања (Bhosale и Singhal 2007). Pal и сар. (2002) открили су значајно

побољшање стабилности гела током циклуса замрзавање—одмрзавање и предложили употребу OSA-модификованог скроба штира као згушњивача за замрзнуту храну.

11.6.3. Скроб хељде

Скроб је најзаступљенија компонента угљених хидрата у хељди, чинећи 67–70% суве материје. Садржај нерастворљивог скроба у обичној хељди је већи од његовог садржаја у житима. Скроб хељде садржи 0,1–1,47% пепела, 0,16–1,35% протеина и 0,05–1,8% липида (Perez-Rea и Antezana-Gomez 2024). Грануле скроба хељде имају неправилне облике и често су повезане у агрегате. Расподјела величине честица хељдиног скроба је између 2 μm и 19 μm .

Садржај амилозе из скроба обичне и татарске хељде био у распону од 21% до 29% (Perez-Rea и Antezana-Gomez 2024). Растворљивост скроба хељде кретала се од 0,6% до 3,9% на 60 °C, од 4,2% до 7,1% на 70 °C, од 7,7% до 10,9% на 80 °C и од 9,9% до 24,4% на 90 °C. Растворљивост скроба код татарске хељде била је значајно нижа од растворљивости скроба обичних сорти хељде (Gao и сар. 2016). Хељдин скроб је показао моћ бубрења између 13,02 и 34,2 на 90 °C (Liu и сар. 2015). Обични скроб хељде показује ограничену моћ бубрења на 85–95 °C и ниску растворљивост у води на 55–95 °C.

Гелови од хељдиног скроба су показали нижи степен ретроградње него гелови од кукурузног и пшеничног скроба (Qian и сар. 1998). Након складиштења 3–10 дана на 4 °C, гелови хељдиног скроба показали су нижи постотак синерезе воде него гелови кукурузног и пшеничног скроба (Qian и сар. 1998).

Утврђено је да је *in vitro* сварљивост скроба у прокуваној хељдиној крупици и у серијама хљеба направљеног мијешањем 30–70% хељдиног брашна или хељдине крупице и бијелог пшеничног брашна већа од 90% (Perez-Rea и Antezana-Gomez 2024). GI за прокувану хељдину крупицу (GI = 66) и хљеб печен са 50% хељдине крупице (GI = 61) значајно су нижи него код бијелог пшеничног хљеба (GI = 100) (Skrabanja и сар. 2001). У хљебу без глутена, *in vitro* сварљивост скроба и предвиђени GI били су нижи за хљеб од хељде (GI = 80) него за хљеб од киноа (GI = 95) (Wolter и сар. 2013).

Природни хељдин скроб може имати различиту примјену у прехранбеној и непрехрамбеној индустрији. Међутим, њихова примјена је ограничена због ниске отпорности на смицање и топлоту, термичко распадање и склоност ретроградњи. Обични скроб од хељде може се модификовати како би се

промијенила његова физичко-хемијска својства и како би се добила већа могућност за примјену у преради хране. Проведено је неколико студија о различитим методама физичког модификовања скроба хељде: процеси печења, третман микроталасима, третман сушења у бубњу комбинован са мљевењем, третман под високим притиском, хидротермална обрада, суперfino мљевање, третман са поновљеном ретроградњом (у распону 1–3 пута) на различитим температурама складиштења (4 °C; 4/25 °C), с интервалом од 24 сата; 25 °C (Perez-Rea и Antezana-Gomez 2024; Ма и сар. 2020; Guo и сар. 2021; Li и сар. 2014; Vieira и сар. 2021; Zhou и сар. 2022; Huang и сар. 2021; Wu и сар. 2021).

Припрема јестивих филмова од хељдиног скроба добра је и корисна за особе са целијакијом, јер не садржи глутен (Kothakota и сар. 2014). Хељдин скроб је кориштен у рецептурама замјеса за колаче и пите.

11.7. Употреба псеудожита и својства прехрамбених производа

Додавање псеудожита у замјесе за прехрамбене производе обично се користи у сврху побољшања нутритивне вриједности и функционалних својстава хране. Псеудожита нуде широк спектар технолошких и функционалних својстава, која могу значајно утицати на побољшање квалитета производа и његову сензорну перцепцију (Vidaurre-Ruiz и сар. 2023).

Како би се добили сензорно прихватљиви производи, значајна количина пшеничног брашна у пекарским производима се може замијенити брашном од псеудожита (25–50%). Са друге стране, недостатак протеина који формирају глутен слаби вискозно-еластичну мрежу глутена. То води ка производњи збијених хљебова мање запремине и густе и хетерогене структуре средине (Bender и Schönlechner 2021). Недавно је објављено истраживање о додавању брашна киноа у панетоне, слатки хљеб који се конзумира у Италији, а одакле се проширио у сусједне државе Европе. У овом случају пшенично брашно се може замијенити брашном киноа у количини до 26%. Уочено је да протеини и влакна киноа фаворизују употребу нижег садржаја масти (7,6%), чиме се постиже прихватљива текстура средине (Huánusco-Azabache и сар. 2022).

У свијету се производи велики број производа без глутена који садрже хељду (безглутенски хљеб, тјестенина, резанци, колачи и друго). Испитивани су ефекти постепене замјене пшеничног брашна хељдиним брашном у

рецептури кекса од ђумбира. Хељдино брашно је додато у количини од 30%, 40%, 50% и двије гранулације (фине и крупне). Резултати су показали повећану тврдоћу тијеста и смањену адхезивност (Filipčev и сар. 2015). Хељдино брашно је истраживано за припрему колача (Torbica и сар. 2012) и хљеба (Torbica и сар. 2010) на бази пиринча са односом пиринчаног брашна и хељдиног брашна 90 : 10, 80 : 20 и 70 : 30. Према резултатима, колачи обogaћени са 20% хељдиног брашна показали су боља сензорна својства него колачи од пшеничног брашна. Хљебови су имали већу способност упијања воде, мању стабилност и слабију структуру протеинске мреже.

У пекарским производима без глутена, прихватљиво је додавање брашна псеудожита у количини између 5% и 50%. То значајно повећава садржај протеина, минерала и влакана у производима у односу на безглутенски хљеб направљен од чистог скроба или пиринчаног брашна, које је тренутно највише заступљено на тржишту. Добра способност апсорпције воде коју имају глобулини киное и садржај липида у брашну побољшавају вискозитет тијеста (Repo-Carrasco-Valencia и Vidaurre-Ruiz 2022).

Циљ додавања псеудожита у замјесе за тјестенину и резанце јесте побољшање нутритивног профила готовог производа. Тјестенина без глутена, направљена од брашна штира, мање је чврста и захтијева краће вријеме кувања од тјестенине направљене од брашна киное или хељде. Додавање брашна штира у тјестенину од риже без глутена повећава растворљивост протеина, али не утиче на губитке током кувања. Међутим, тјестенина направљена само од брашна псеудожита (брашно штира – 20%, брашно киное – 20% и брашно хељде – 60%) имала је већи губитак током кувања и мању еластичност у односу на тјестенину од дурум пшенице (Janssen и сар. 2017). Нап и сар. (2021) радили су на побољшању квалитета резанаца од татарске хељде без глутена тако што су у хељдино брашно додавали екструдирани скроб.

Брашно од псеудожита може се користити за прављење различитих ферментисаних напитака. Због високог садржаја протеина, ниског садржаја сапонина и мањег губитка вискозитета током ферментације, црвена киноа има супериорне карактеристике које ју препоручују за примјену у процесима ферментације. Показало се да кување током екструзије брашна од штира побољшава органолептичка својства и повећава вискозитет напитака (Bender и Schönlechner 2021).

11.8. Закључак

Протеини из псеудожита показују добра функционална и технолошка својства. Захваљујући томе псеудожита се могу користити у изради различитих прехранбених и непрехрамбених производа. Међу важна технолошка и функционална својства протеина псеудожита спадају растворљивост, способност емулговања, својства стварања и одржавања пјене и способност желатинизације.

Грануле скроба из киное имају добру способност стабилизације ових емулзија, посебно када су хидрофобно модификоване са додатком анхидрид н-октенил сукцинског анхидрида (OSA) или поступком топлотне обраде. Модификовани OSA скроб (E1450) дуго се користи као прехранбени адитив у производњи хране.

Додавање псеудожита у замјесе за прехранбене производе обично се користи у сврху побољшања нутритивне вриједности и функционалних својстава хране. Псеудожита нуде широк спектар технолошких и функционалних својстава, која могу значајно утицати на побољшање квалитета производа и његову сензорну перцепцију. У пекарским производима без глутена, прихватљиво је додавање брашна псеудожита у количини између 5% и 50%. То значајно повећава садржај протеина, минерала и влакана у производима у односу на безглутенски хљеб направљен од чистог скроба или пиринчаног брашна, које је тренутно највише заступљено на тржишту. Добра способност апсорпције воде глобулина и садржај липида у брашну киное побољшавају вискозитет тијеста.

Литература

- Adebowale KO, Adeniyi Afolabi T, Lawal OS (2002) Isolation, chemical modification and physicochemical characterisation of Bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*) starch and flour. *Food Chem* 78(3):305–311. doi.10.1016/S0308-8146(02)00100-0
- Aluwi NA, Murphy KM, Ganjyal GM (2017) Physicochemical characterization of different varieties of quinoa. *Cereal Chem* 94(5):847–856. doi.10.1094/CCHEM-10-16-0251-R
- Bender D, Schonlechner R (2021) Recent developments and knowledge in pseudocereals including technological aspects. *Acta Aliment* 50(4):583–609. doi:10.1556/066.2021.00136
- Bhinder S, Kaur A, Singh B, Yadav MP, Singh N (2020) Proximate composition, amino acid profile, pasting and process characteristics of flour from different Tartary buckwheat varieties. *Food Res Int* 130:108946. doi.10.1016/j.foodres.2019.108946.

- Bhosale R, Singhal R (2007) Effect of octenylsuccinylation on physicochemical and functional properties of waxy maize and amaranth starches. *Carbohydr Polym* 68(3):447-456. doi. 10.1016/j.carbpol.2006.11.011
- Velasquez-Barreto FF, Minano HA, Alvarez-Ramirez J, Bello-Perez LA (2021) Structural, functional, and chemical properties of small starch granules: andean quinoa and kiwicha. *Food Hydrocoll* 120(1):106883. doi.10.1016/j.foodhyd.2021.106883
- Vidaurre-Ruiz J, Bender D, Schonlechner R (2023) Exploiting pseudocereals as novel high protein grains. *J Cereal Sci* 114:103795. doi:https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103795
- Vieira RLD, Gaglieri CDE, Oliveira CS, Ferreir LT, Schnitzler E, Bannach G (2021) Effect of the milling process on the thermal behavior and crystallinity of buckwheat starch. *J Therm Anal Calorim* 144(3):689-697. doi.10.1007/s10973-020-09498-x
- Gao J, Kreft I, Chao G, Wang Y, Liu X, Wang L, et al (2016) Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) starch, a side product in functional food production, as a potential source of retrograded starch. *Food Chem* 190:552-558. doi:10.1016/j.foodchem.2015.05.122
- Guo C, Zhang M, Devahastin S (2021) Improvement of 3D printability of buckwheat starch-pectin system via synergistic Ca21-microwave pretreatment. *Food Hydrocoll* 113(8):106483. doi:10.1016/j.foodhyd.2020.106483
- Grujić R, Tadić G, Vujadinović, Vukić M (2017) Osnove prehrambenih tehnologija, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Tehnološki fakultet Zvornik, str. 259 ISBN: 978-99955-81-23-7
- Dakhili S, Abdolalizadeh L, Hosseini SM, Shojaee-Aliabadi S, Mirmoghtadaie L (2019) Quinoa protein: composition, structure and functional properties. *Food Chem* 299:125161 doi:10.1016/j.foodchem.2019.125161
- 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(3):651. doi:10.3390/foods10030651
- Elgeti D, Nordlohne SD, Föste M, Besl M, Linden MH, Heinz V (2014) Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. *J Cereal Sci* 59(1):41-47. doi.10.1016/j.jcs.2013.10.010
- Zhou X, Chen J, Wang S, Zhou Y (2022) Effect of high hydrostatic pressure treatment on the formation and in vitro digestion of Tartary buckwheat starch/flavonoid complexes. *Food Chem* 382:132324. doi.10.1016/j.foodchem.2022.132324
- Janssen F, Pauly A, Rombouts I, Jansens KJA, Deleu LJ, Delcour JA (2017) Proteins of amaranth (*Amaranthus* spp.), buckwheat (*Fagopyrum* spp.), and quinoa (*Chenopodium* spp.): a food science and technology perspective. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 16(1):39-58. doi.10.1111/1541-4337.12240
- Jiang F, Du C, Guo Y, Fu J, Jiang W, Du S-K (2020) Physicochemical and structural properties of starches isolated from quinoa varieties. *Food Hydrocoll* 101(3-4):105515. doi.10.1016/j.foodhyd.2019.105515
- Jones D, Caballero S, Davidiv-Pardo G (2019) Chapter 6 – bioavailability of nanotechnology-based bioactives and nutraceuticals. *Adv Food Nutr Res* 88:235-273 doi:10.1016/bs.afnr.2019.02.014

- Kaur S, Singh N, Rana JC (2010) *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus caudatus* germplasm: Characteristics of plants, grain and flours. *Food Chem* 123(4):1227–1234. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.091>
- Khushairay ESI, Yusop SM, Maskat MY, Babji AS (2025) Defatted chia (*Salvia hispanica* L.) flour peptides: Exploring nutritional profiles, techno-functional and bio-functional properties, and future directions. *Curr Res Food Sci* 10:101035. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.101035>
- Kothakota A, Thimmaiah B, Adhinath K, Kumar A, Gaurh A (2014) Development and characterization of buckwheat starch biodegradable films. *Vegetos* 27(2):349–356. doi.10.5958/2229-4473.2014.00056.1
- Li G, Wang S, Zhu F (2016) Physicochemical properties of quinoa starch. *Carbohydr Polym* 137:328–338. doi.10.1016/j.carbpol.2015.10.064
- Li JY, Yeh AI (2001) Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. *J Food Eng* 50(3):141–148. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00236-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00236-3)
- Li W, Cao F, Fan J, Ouyang S, Luo Q, Zheng J, Zhang G (2014) Physically modified common buckwheat starch and their physicochemical and structural properties. *Food Hydrocoll* 40:237–244. doi. 10.1016/j.foodhyd.2014.03.012
- Liu H, Lv M, Peng Q, Shan F, Wang M (2014) Physicochemical and textural properties of tartary buckwheat starch after heat-moisture treatment at different moisture levels. *Starch-Starke* 67(3–4):276–284. doi.10.1002/star.201400143
- Ma Q, Zhao Y, Wang H-L, Li J, Yang Q-H, Gao L-C, et al (2020) Comparative study on the effects of buckwheat by roasting: antioxidant properties, nutrients, pasting, and thermal properties. *J Cereal Sci* 95(1):103041. doi. 10.1016/j.jcs.2020.103041
- Mäkinen OE, Zannini E, Arendt EK (2013) Germination of Oat and Quinoa and Evaluation of the Malts as Gluten Free Baking Ingredients. *Plant Foods Hum Nutr* 68(1):90–95. doi.10.1007/s11130-013-0335-3.
- Małecki J, Muszynski S, Sołowiej BG (2021) Proteins in food systems-Bionanomaterials, conventional and unconventional sources, functional properties, and development opportunities. *Polymers* 13(15):2506 doi:10.3390/polym13152506.
- Menegass, B, Pilosof AMR, Arêas JAG (2011) Comparison of properties of native and extruded amaranth (*Amaranthus cruentus* L.—BRS Alegria) flour. *LWT Food Sci Technol* 44(9):1915–1921. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.04.008>
- Mensah EO, Nadtochii L, Adada P, Agyei D (2024) Chia derived bioactive peptides: extraction, characterization, pharmacological activities and potential food applications. *Food Biosci* 59(2):103975. doi:10.1016/j.fbio.2024.103975
- Nic Phiarais BP, Wijngaard HH, Arendt EK (2005) The impact of kilning on enzymatic activity of buckwheat malt. *J Inst Brew* 111(3):290–298. doi.10.1002/j.2050-0416.2005.tb00685.x
- Pal J, Singhal RS, Kulkarni PR (2002) Physicochemical properties of hydroxypropyl derivative from corn and amaranth starch. *Carbohydr Polym* 48(1):49–53. doi.10.1016/S0144-8617(01)00209-0
- Perez-Rea D, Antezana-Gomez R (2024) The functionality of pseudocereal starches. In: *Starch in Food*: 337–402. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-96102-8.00013-9>

- Poshadri A, Deshpande HW, Machewad G, Kshirsagar RB, Gadhe KS, Kadam SD (2023) Functional properties of selected composite gluten-free pseudocereals flour. *Food and Humanity* 1:1200–1205. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.015>
- Rader AF, Weinmuller M, Reichart F, Schumacher-Klinger A, Merzbach S, Gilon C (2018) Orally active peptides: is there a magic bullet? *Angew Chem Int Ed* 57:14414–14438. <https://doi.org/10.1002/anie.201807298>.
- 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(1):128–133. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.087>
- Repo-Carrasco-Valencia R, Vidaurre-Ruiz JM (2022) Quinoa, kaniwa, amaranth, and lupin as ingredients in gluten-free baking. In: *Native Crops in Latin America*. CRC Press, Boca Raton: 35–59. doi:10.1201/9781003087618-2
- Rivero Meza SL, Hirsch Ramos A, Canizares L, Raphaelli C de O, Bueno Peres B, Gaioso CA, et al (2023) A review on amaranth protein: composition, digestibility, health benefits and food industry utilisation. *Int J Food Sci Technol* 58:1564–1574. doi:10.1111/ijfs.16056
- Skrabanja V, Liljeberg Elmstahl, HGM, Kreft I, Björck IM (2001) Nutritional properties of starch in buckwheat products: studies in vitro and in vivo. *J Agric Food Chem* 49:490–496. doi: 10.1021/jf000779w
- Srichuwong S, Curti D, Austin S, King R, Lamothe L, Gloria-Hernandez H (2017) Physicochemical properties and starch digestibility of whole grain sorghums, millet, quinoa and amaranth flours, as affected by starch and non-starch constituents. *Food Chem* 233:1–10. doi:10.1016/j.foodchem.2017.04.019
- Steffolani ME, Leon AE, Perez GT (2013) Study of the physicochemical and functional characterization of quinoa and kaniwa starches. *Starch-Starke* 65:976–983. doi:10.1002/star.201200286
- Sun L, Wang Y, Weng L, Liu M, Miao S, Liu G, Cao M (2022) Effects of transglutaminase on gel properties of buckwheat protein isolate. *Sci Technol Food Ind* 43(24):112–122. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040076>.
- Timgren A, Rayner M, Dejmeek P, Marku D, Sjoo M (2013) Emulsion stabilizing capacity of intact starch granules modified by heat treatment or octenyl succinic anhydride. *Food Sci Nutr* 1:157–171. doi:10.1002/fsn3.17
- Torbica A, Hadnađev M, Dapčević T (2010) Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocoll* 24(6):626–632. doi:10.1016/j.foodhyd.2010.03.004
- Torbica A, Hadnađev, M, Dapčević, Hadnađev T (2012) Rice and buckwheat flour characterisation and its relation to cookie quality. *Food Res Int* 48:277–283. doi:10.1016/j.foodres.2012.05.001

Functional and technological properties of protein and starch of pseudocereals

Radoslav Grujić

Summary

Abstract. This chapter provides an overview of the functional and technological properties of protein and starch from amaranth, quinoa, buckwheat and chia seeds. Pseudocereal proteins have molecules with a complex structure. Functional and nutritional properties depend on the protein structure. The basic functional properties of pseudocereals are: solubility, water absorption capacity, oil absorption capacity, water holding capacity, oil holding capacity, gelling property, foaming properties and gelling properties. Functional properties of pseudocereal proteins refer to their behavior during food preparation, processing and storage. The properties of starch significantly affect the functional properties of food products made on the basis of pseudocereals, which is why it is necessary to clarify the characteristics and behavior of starches during processing by analyzing relevant research.

Keywords: Pseudocereals, Protein Structure, Protein Properties, Peptide Bioactivity, Technological Properties of Flour