

12

**Поступци и технолошке
операције за прераду псеудожита**

Радослав Грујић



UDK 664.6/.7:633.11]:631.563
DOI 10.7251/PRB2504325G

Цитирање: Грујић Р (2025) Поступци и технолошке операције за прераду псеудожита. У: Пржуљ Н, Грујић Р (уредници) Нутрицеутске гајене биљке. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука. Монографија LXV:325–360

Cite as: Grujić R (2025) Procedures and technological operations for processing pseudocereals. *In:* Pržulj N, Grujić R (eds) Nutraceutical cultivated plants. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka. Monograph LXV:325–360

Сажетак. Псеудожита се користе на више начина. У прехранбеној и фармацеутској индустрији користе се сјеменке псеудожита или производи добијени обрадом сјеменки. Том приликом се примјењују различите технолошке операције. У овом поглављу дат је преглед кључних технолошких операција и њихов утицај на функционална и технолошка својства састојака сјеменки псеудожита, прије свега протеина, те допринос формирању пожељних својстава производа. Осим основних технолошких операција, као што су чишћење, љуштење, аспирација, одвајање честица по величини и просијавање, мљевање и фракционисање, које се користе за обраду стрних жита, код обраде зрна псеудожита користи се и неколико специфичних операција (на примјер, топлотна обрада: кување, печење или пржење, кокичење, експандирање, намакање, клијање, ферментација, екструзија и експандирање). Екстракција протеина из псеудожита може се провести хемијским, физичким и ензимским поступцима. Модификовање протеина псеудожита пружа нове могућности за развој иновативних прехранбених и непрехранбених протеинских производа, који испуњавају специфичне захтјеве рецептура производа.

Кључне ријечи: псеудожита, прерада сјеменки, технолошке операције, екстракција протеина, модификовање протеина

12.1. Увод

Reddy и сар. (2024) у опсежном прегледу анализирали су безбједно коришћење и утицај различитих техника обраде, укључујући намакање, мљевање, кокичење, експандирање, клијање, ферментацију, кување и печење, на хранљива, функционална и биоактивна својства псеудожита. Према мишљењу ових аутора (Reddy и сар. 2024), постоји неколико предности и неколико недостатака сваког од наведених поступака прераде. Ферментација побољшава биоактивна својства и пробиотички потенцијал хране, док кокичење и експандирање модификују садржај протеина и масти, одржавајући повољан однос ω -6/ ω -3 масних киселина. Док клијање повећава антиоксидативну активност и доступност нутријената, поступци топлотне обраде, као што су печење и кување на пари, утичу на садржај фолата и аминокиселина. Печење, упркос смањењу садржаја неких корисних спојева, може повећати антиоксидативну активност кроз Мајлардову реакцију. Ипак, нове нетермичке технике (на примјер, ултразвук ниске фреквенције, обрада под високим притиском и обрада помоћу микроталаса)

обећавају побољшање функционалних својстава и смањење садржаја антинутријената.

Истраживања о нутритивним, технолошким и здравственим предностима псеудожита показала су да процеси обраде псеудожита (на примјер, намакање, клијање, ферментација, печење, пржење и друго), утичу на повећање нутритивног профила, органолептичких својстава, побољшање пробављивости нутријената, те смањење садржаја антинутријента (Siwatch и Yadav 2017).

У Таб. 12.1 дат је преглед утицаја различитих техника прераде на нутритивне и биоактивне компоненте псеудожита.

Таб. 12.1. Технике прераде псеудожита (адаптирано према: Reddy и сар. 2024)

Table 12.1. Pseudocereal processing techniques (Adapted from Reddy et al. 2024)

Псеудожито	Технике прераде	Ефекти примјене технике
Штир	Печење	Смањење антинутритивних једињења
	Експандирање	Смањење садржаја аминокиселина
	Пржење	Смањење пробављивости протеина и скроба
	Екструзија	Смањење могућности екстракције фитинске киселине, полифенола и жељеза
		Повећање садржаја растворљивих влакана
		Смањење садржаја фитата
	Клијање	Смањење садржаја фитата и танина
		Повећање садржаја фенола
	Ферментација	Смањење садржаја минерала и антинутријената
	Експандирање	Смањење садржаја протеина, лизина и минерала
Киноа	Пржење	Повећање садржаја фенола
	Загријавање у аутоклаву	Смањење садржаја сапонина
	Намакање	Повећање садржаја биоактивних једињења
		Повећање садржаја биоактивних једињења
		Значајно повећање садржаја укупних токоферола и аскорбинске киселине
	Клијање	Смањење садржаја фитинске киселине
		Смањење садржаја танина
Хељда	Ферментација	Смањење садржаја минерала
	Пржење	Смањење садржаја флавоноида
	Загријавање у пари	Смањење садржаја флавоноида и фенола

Псеудожито	Технике прераде	Ефекти примјене технике
	Обрада микроталасима	Смањење садржаја фенола и флавоноида
	Кување	Смањење садржаја фенолне киселине
	Намакање	Повећање садржаја биоактивних и нутритивних једињења
	Ферментација	Смањење садржаја антинутритивних једињења
		Смањење садржаја танина
	Клијање	Повећање садржаја фенола
		Смањење садржаја фитинске киселине

12.2. Технолошке операције у преради псеудожита

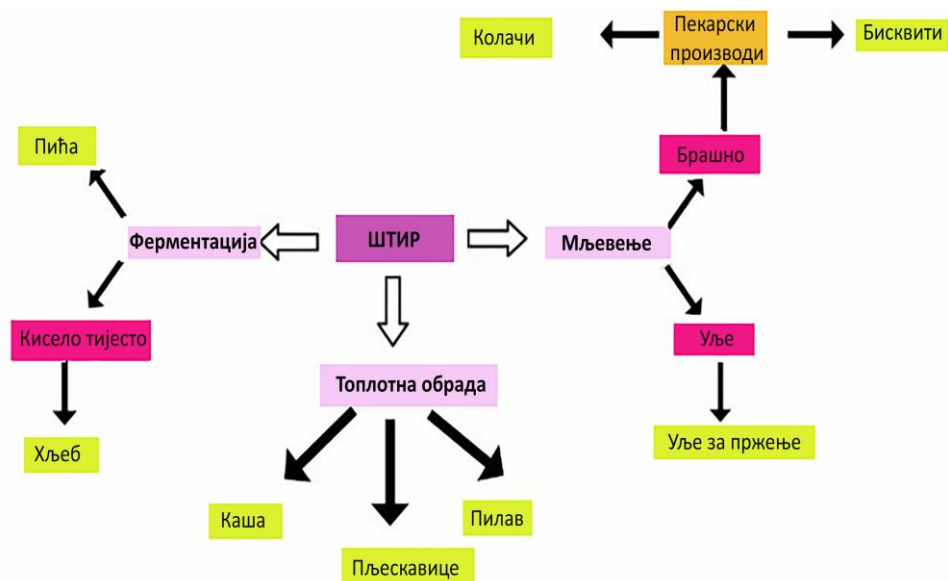
Због јединствених физичких и хемијских својстава псеудожита, током њихове прераде захтијева се специјализовано знање и примјена специфичних технологија (Modupalli и сар. 2024). Знање и технологије доприносе осигурању безбједности и подизању квалитета и нутритивне вриједности готових производа. Како би се псеудожита могла ефикасно и успјешно прерадити и укључити у израду хране, важно је да се добро познају основна својства псеудожита. Том приликом у обзир треба узети сљедеће факторе: величину зрна, ботаничко поријекло, недостатак глутена и малу способност за стварање протеинске мреже, те структуру скроба и величину гранула скроба (Modupalli и сар. 2024).

Да би се максимално искористила нутритивна вриједност псеудожита, током обраде зрна примјењују се различити механички третмани, било појединачно, било комбиновано два или више поступака. Осим основних технолошких операција, као што су чишћење, љуштење, аспирација, одвајање честица по величини и просијавање, мљевање и фракционисање, које се користе за обраду стрних жита, код обраде зрна псеудожита користи се и неколико специфичних операција (Modupalli и сар. 2024). Чишћење представља процес уклањања страних материја (на примјер, каменчићи, дрвени опиљци и зрна других биљака итд.). Љуштење је процес уклањања вањских слојева зрна и откривање ендосперма у којем је смјештена већина хранљивих материја. Мљевање је процес током којег се смањује величина честица, а зрно претвара у брашно. На крају, фракционисање представља раздвајање брашна на више фракција на основу величине или састава честица.

Структура зрна псеудожита утиче на присуство потенцијалних загађивача, укључујући микотоксине, пестициде и тешке метале, као и ендогена токсична једињења која могу представљати ризик по здравље.

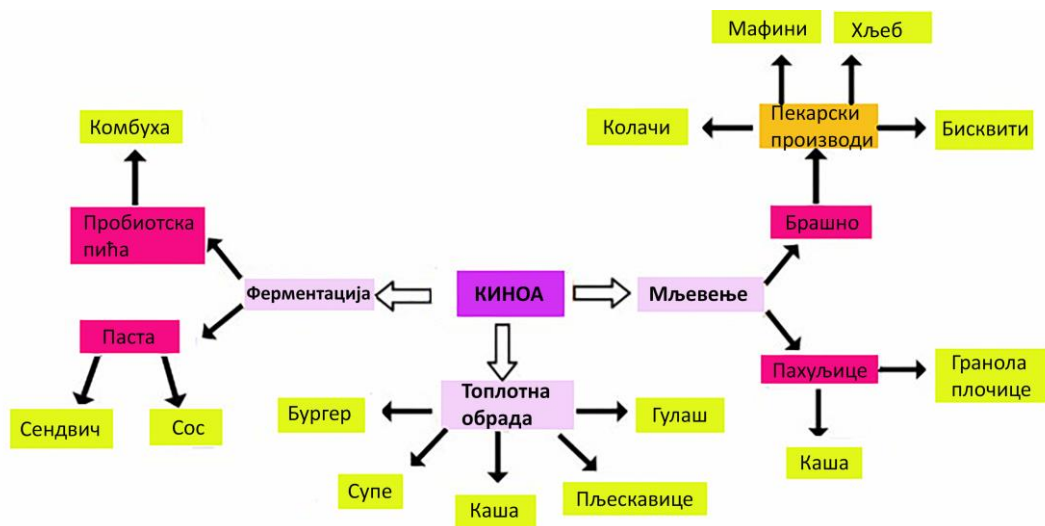
Како би се побољшали нутритивни квалитет и органолептичка својства током прераде псеудожита и израде специфичних производа од псеудожита користе се и други поступци обраде, на примјер, топлотна обрада (кување, печење или пржење), намакање, клијање, ферментација, екструзија и експандирање (Thakur и сар. 2021). Током екструзије и експандирања примјењују се високи притисак и температура, које помажу ширењу и обликовању зрна. Ове операције се користе у производњи грицкалица и житарица за доручак. Ферментација и клијање се користе за побољшање нутритивног квалитета, укуса и продужење рока употребе производа.

На Сл. 12.1–12.3 дат је преглед главних технолошких операција које се користе током обраде псеудожита и преглед основних производа и нус-производа који настају током тих поступака. Неке од наведених операција биће описане у наставку.



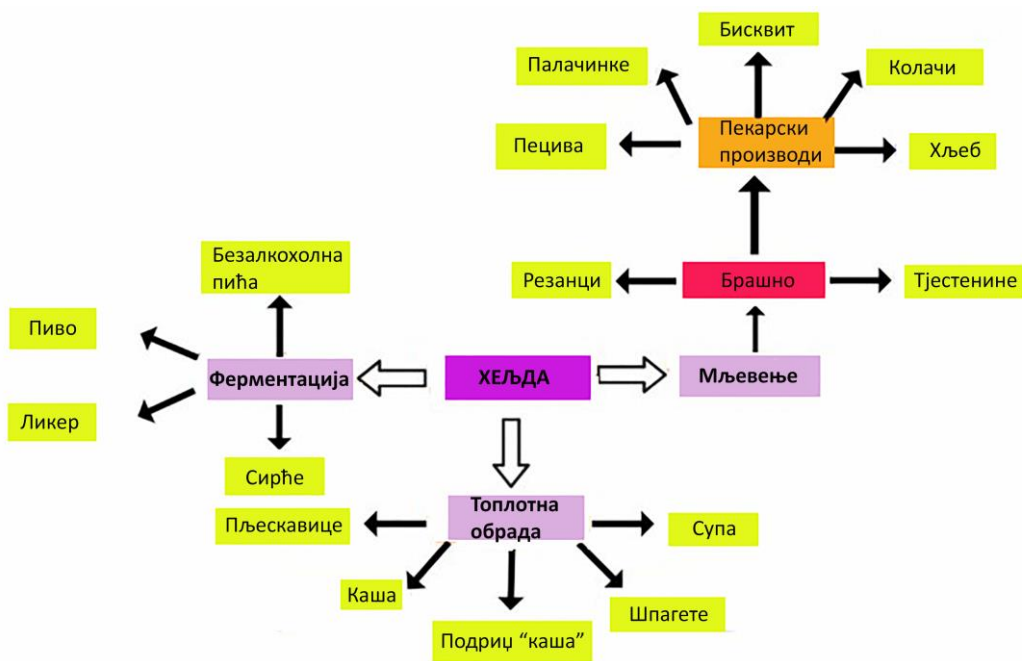
Сл. 12.1. Технолошке операције које се користе током прераде штира и производа добијени током прераде (адаптирано према: Reddy и сар. 2024)

Fig. 12.1. Technological operations used during amaranth processing and products obtained during processing (Adapted from Reddy et al. 2024)



Сл. 12.2. Технолошке операције које се користе током прераде киное и производи добијени током прераде (адаптирано према: Reddy и сар. 2024)

Fig. 12.2. Technological operations used during quinoa processing and products obtained during processing (Adapted from Reddy et al. 2024)



Сл.12.3. Технолошке операције које се користе током прераде хељде и производи добијени током прераде (адаптирано према: Reddy и сар. 2024)

Fig. 12.3. Technological operations used during buckwheat processing and products obtained during processing (Adapted according to Reddy et al. 2024)

12.2.1. Мљевање

Суво мљевање се може користити за одвајање компоненти зрна псеудожита. Међутим, одвајање скроба од протеина је тежак задатак. Поступак за одвајање компоненти сјемена штира обухвата пречишћавање и мљевање, након чега слиједе поступци фракционисања смјесе и екстракција уља из фракције клица. Фракционисање се постиже просијавањем смјесе помоћу сита чији се пречник креће између 0,8 mm и 5 mm (Haros и Wronkowska 2017).

У вањским слојевима сјемена зрна киноа налазе се сапонини. Традиционално, киноа се детаљно пере како би се уклонила ова горка једињења (Ng и сар. 2007). Након кувања у води сјеменке хељде се пажљиво суше. Током кувања сјеменки, скроб у ендосперму упија воду, узрокујући ломљење љуске. Истовремено, језгро постаје тврдо и еластично. Када се зрно охлади и дјелимично осуши, љуска постаје ломљива, што омогућава ефикасно љуштење. Међутим, постоји мишљење да би се сапонини ефикасно могли уклонити и процесом мљевања. Према наводима Nandan и сар. (2024), сапонини из киноа се могу уклонити поступком мљевања. Са повећањем степена мљевања са 0% на 27,23%, садржај сапонина, укупних фенола и флавоноида је смањен за 41,8%, 31,5% и 41,4%, респективно. Након уклањања сапонина цијела зрна киноа се обично мељу. пасус је о кинои, а онда упада реченица о хељди

Мљевање утиче на сварљивост зрна и на састав хранљивих материја у готовом производу. Током мљевања киноа, вањски слој и клица зрна се уклањају, а као резултат тога губи се више од 50% садржаја минерала, 60% протеина и готово сви феноли (Mhada и сар. 2020).

За одговарајућа сензорне својства и задржавање фитохемикалија у кинои, Нап и сар. (2019) препоручили су нижи степен мљевања (15,89%).

12.2.2. Микронизација

Микронизација или техника ултрафиног мљевења користи се за омогућавање лакшег приступа биоактивним једињењима присутним у материјалу који се меље. Током овог поступка обрађује се цијело зрно псеудожита без стварања нуспроизвода.

12.2.3. Експандирање, кокичење и љуштење

Експандирање, кокичење и љуштење су најједноставније и најраширеније технике топлотне обраде зрна. Оне се користе за израду кокица, пахуљица и сличних надуваних производа. За израду житних пахуљица могу се користити цијела зрна или њихови дијелови, те фино мљевени материјал житарица који је претходно екструдиран.

12.2.4. Екструзија

Екструзија је процес који укључује неколико корака. Он омогућава израду великог броја прехранбених производа (на примјер, тјестенине, житне пахуљице, грицкалице и текстурирани биљни протеини и друго). У односу на традиционалне методе у изради производа на бази жита и псеудожита, екструзија има неколико предности: мала цијена, велика брзина, висока продуктивност, свестраност, могућност стварања јединствених облика производа и енергетска ефикасност (Faraј и сар. 2004).

Процес екструзије се проводи унутар затворене цијеви у којој је смјештен једноструки или двоструки пуж. Цијев се загријава и у њој долази до топлотне обраде и пластифицирања скробних материјала. Током екструзије долази до различитих биомолекуларних промјена (желатинизације скроба и умрежавања протеина). Као резултат наведених промјена формира се јединствени укус производа. Уочено је да екструзија утиче на смањење нерастворљивих и повећање растворљивих дијеталних влакана. У више истраживања је утврђено да топлотна обрада екструзијом доприноси повећању безбједности производа, јер смањује садржај микотоксина и антинутритивних фактора (Khaneghah и сар. 2018).

Екструдирано брашно има боља својства хидратације и већи индекс растворљивости у води, боља својства растворљивости протеина, већу способност везивања уља и боља својства стварања пјене (Espinosa-Ramírez и сар. 2021).

Екструдати кукурузног брашна у које је додато до 50% брашна штира или киное задржавају добра физичка својства (висок индекс експанзије пресека и мала тврдоћа), и истовремено пружају додатну нутритивну вриједност (на примјер, повећан садржај фолата) (Ramos Diaz и сар. 2017). Brennan и сар. (2012) утврдили су да је замјена дијела пшенице или кукуруза брашном од штира или хељде у производњи екструдираних житарица за доручак промијенила нутритивни квалитет финалног производа.

12.2.5. Печење и кување

Псеудожита се често користе за производњу пекарских производа и то најчешће за израду хљеба. Често се мијешају са пшеницом како би се побољшала нутритивна вриједност рафинисаног брашна кориштеног у замјесима. Проведена су опсежна истраживања о употреби псеудожити у пекарским производима. Штир је највише проучаван као сировина за печење хљеба. Haros и Wronkowska (2017) сугерисали су да се квалитет хљеба може ефикасно сачувати уз додатак штира у количини мањој од 5%. Укупна тврдоћа средине се смањује са додатком штира до 15%, а додавање 10–15% штира успорава нарастање (Kurek и Krzemińska 2020).

Због недостатка глутена у псеудожитима, технолошка својства хљеба израђеног само од псеудожити су инфериорнија у односу на својства хљеба израђеног од пшенице. Употреба велике количине псеудожити у замјесима (30% или више) може резултирати краћим тијестом са лошим високоеластичним својствима и ограниченом толеранцијом ферментације. То утиче на формирање компактних структура. Sluková и сар. (2017) упоредили су понашање тијеста од хељде и пшеничног тијеста и утврдили да у хељди нема континуиране протеинске фазе са суспендованим скробним гранулама. Умјесто тога, фини и дисконтинуирани премаз, који окружује грануле скроба, не формира филаменте какве формира глутен.

Motta и сар. (2017) открили су да печење и кување на пари утичу на садржај фолата у псеудожитима. Наведени поступци прераде утичу на смањује садржаја фолата у штиру, повећање садржаја фолата у кинои и немају значајан утицај на промјену садржаја фолата у хељди. Nenjon и сар. (2020) потврдили су да кување под притиском може сачувати висок садржај фенола. Што се тиче антинутритивног аспекта, кување значајно не утиче на смањење фитинске киселине.

Rero-Carrasco-Valencia и сар. (2010) проучавали су утицај кувања и печења сјеменки киное и штира на нутритивне карактеристике сјеменки. Садржај

биоактивних једињења (феноли, дијетална влакна и минерали калцијум, цинк и жељезо) повећан је у третираним у односу на нетретирана псеудожита. Аутори су утврдили да је након третмана дошло до повећања биорасположивости цинка, жељеза и калцијума.

Главни процес који се користи за израду производа од хељде је печење. Овај процес утиче на повећање концентрације неколико фитостерола, укључујући кампостерол (24 α -метил-5-холестен-3- β -ол), β -ситостерол, авенастерол, δ -7 стигмастерол и циклоартедол, али он утиче и на смањење концентрације стигмастерола (Dziedzic и сар. 2016).

Током печења тијеста за колаче на бази киноа на 181 °C у трајању од 18 минута, уочено је значајно повећање антиоксидативне активности (Jan и сар. 2018). Ово побољшање аутори повезују са реакцијама настанка меланоидина током Мајлардове реакције.

12.2.6. Ферментација

Ферментација је важна метода у производњи прехранбених производа. Pongrac и сар. (2016) анализирали су утицај ферментације на концентрацију фенолних једињења и антиоксиданса у сјеменкама киноа. Они су утврдили да је током ферментације дошло до значајног смањења садржаја токоферола и аскорбинске киселине, али значајног повећања антиоксидативне активности и садржаја фенолних компоненти. Ферментација утиче на нутритивне компоненте штира. Amare и сар. (2016) су утврдили да се током ферментације садржај протеина, масти и пепела повећао за 3%, 22%, односно 14%, респектибилно.

Ферментација утиче на смањење антинутритивних фактора танина и фитинске киселине (Modupalli и сар. 2024). Процес ферментације киселог тијеста индиректно повећава активност фитазе тако што утиче на стварање рН окружења повољног за активност ендогених фитаза. Ugural и Akyol (2020) истраживали су фармаколошки потенцијал псеудожита, наглашавајући да технике попут ферментације и клијања могу побољшати нутритивни профил псеудожита. Ове методе поспјешују раст корисних пробиотичких микроорганизама, посебно сојева *Lactobacillus*, што резултира производњом краткочланчаних масних киселина кроз пребиотске активности. Употреба киселог тијеста од хељде током печења повећала је садржај есенцијалних аминокиселина, магнезијума, дијеталних влакана и фенолних спојева, док је истовремено утицала на смањење садржаја антинутритивних фактора (на

примјер, фитинске киселине и танина), што је допринијело побољшању укупног квалитета и продужењу рока употребе хљеба (Languan и сар. 2023).

Захваљујући побољшању биоактивних својстава, пробиотичке активности и садржаја нутритивних састојака, ферментација псеудожита потенцијално може допринијети рјешавању здравствених проблема, као што су осјетљивост на глутен, гојазност, нетолеранција на лактозу и поремећаји повезани са хроничним упалама (Abdelshafy и сар. 2024). Ова побољшања наглашавају потенцијал ферментације да, осим што побољша здравствене предности производа од хељде, производе чини привлачнијим за потрошаче (Reddy и сар. 2024).

Ugural и Akyol (2020) проучавали су нутрицеутски потенцијал псеудожита и описали да се њихове нутритивне карактеристике могу додатно побољшати кориштењем бројних техника обраде као што су ферментација и клијање. Као што се из Таб. 12.1 види, ферментација утиче на садржај фенолних једињења, изомера токоферола, витамина Ц и антиоксидативно дјеловање у сјеменкама киноа. Током ферментације долази до смањења концентрације витамина Е и Ц. Садржај фенолних једињења и антиоксидативна активност током ферментације значајно су порасли (Carciochi и сар. 2016). Ферментација се показала као најприкладнија техника за повећање биоактивног потенцијала киноа. Ферментација киселог тијеста је најбоља метода за побољшање реолошких, сензорних, нутритивних и функционалних својстава псеудожита и уклањање антинутријената.

Киноа, штир и хељда су погодни пробиотички супстрати за ферментацију. Својим пребиотичким својствима могу дјеловати као супстрат за раст пробиотика, посебно сојева *Lactobacillus*.

12.2.7. Намакање и клијање

Процес клијања је традиционална метода прераде жита током које се добија производ познат под називом слад. Процес клијања зрна или сјемена започиње апсорпцијом воде (намакањем). То доводи до убрзања метаболизма и повећања запремине зрна или сјемена. Како се активност хидролитичког ензима повећава, макромолекуле у ткивима се хидролизирају, узрокујући лабављење ћелијског ткива и промјену механичких својстава сјемена (Mäkinen и Arendt 2015). То доводи до промјена у нутритивном саставу, укључујући доступност нутријената и повећање садржаја секундарних метаболита од којих нека могу имати биоактивна својства.

Укупна количина витамина Е и Ц у проклијалим сјеменкама након 72 сата клијања знатно је већа у односу на садржај ових витамина у сјеменкама прије клијања. Такође, током клијања је дошло до повећања антиоксидативних својстава и садржаја укупних фенолних једињења (Carciochi и сар. 2016).

Процес клијања сјеменки киное утицао је на повећање садржаја жељеза, цинка, калцијума, каротеноида и витамина Ц и на смањење садржаја антинутријента фитинске киселине, сапонина и танина (Darwish и сар. 2021). Истраживање Shreeja и сар. (2021) показало је да се садржај протеина, влаге, сирових влакана, минерала (калијума и соли) повећава када су сјеменке хељде наквашене и када су стајале у води 12 сати и потом клијале на 30 °C 48 сати.

Садржај биоактивних компоненти (на примјер, витамин Ц, укупни садржај фенола, укупни садржај флавоноида и антиоксидативна активност) сјеменки киное су веће у сировом сјемену него у индустријски обрађеном сјемену у процесу намакања и клијања (Kaur и сар. 2016). Darwish и сар. (2021) утврдили да клијање сјемена киное повољно утиче на садржај жељеза, цинка, калцијума, каротеноида и витамина Ц и смањење антинутритивних компоненти као што су фитинска киселина, сапонини и танини. Shreeja и сар. (2021) проучавали су утицај клијања на нутритивну вриједност хељде. Клијање је вршено 48 сати на 30 °C након 12 сати намакања у инкубатору, после чега је уследило сушење на 60 °C. Процес клијања је резултирао повећањем садржаја протеина, влаге и садржаја сирових влакана, те садржаја калијума и натријума.

Садржај фитата у хељди је опао током клијања, али то није утицало на повећање биорасположивости жељеза (Pongrac и сар. 2016).

Клијање зрна штира, према истраживању Rahmana и сар. (2023), утиче на повећање садржаја протеина, антиоксиданса и дијеталних влакана, уз смањење садржаја фитинске киселине и танина, што значајно утиче на побољшање нутритивне вриједности штира. Поред тога, клијање утиче на повећање садржаја већине есенцијалних аминокиселина и есенцијалних масних киселина, као што су олеинска и линолна киселина, уз смањење садржаја палмитинске киселине. Cornejo и сар. (2019) уочили су да је након 24 сати клијања зрна штира дошло до повећања садржаја фенола (212,98%). Исто тако, током 72 сата клијања у сјеменкама хељде је дошло до повећања садржаја фенола за 125,32%. Клијање побољшава нутритивна и функционална својства псеудожита, чинећи их кориснијим за очување здравља (Reddy и сар. 2024).

Утицај различитих третмана обраде на нутритивне и биоактивне компоненте псеудожита приказан је у Таб. 12.2.

Таб. 12.2. Утицај различитих третмана током обраде на нутритивне и биоактивне компоненте псеудожита (адаптирано према: Thakur и сар. 2021)

Table 12.2. The effect of different processing treatments on the nutritional and bioactive components of pseudocereals (Adapted from Thakur et al. 2021)

Поступци обраде	Резултати обраде
Кување	– Значајно повећање биорасположивости жељеза, калцијума и цинка након кувања (пржења и печења) сјеменки киноа и штира. – Значајно смањење укупних фенола, антиоксидативне активности и укупних флавоноида примјеном термичке обраде у брашну од татарске хељде.
Клијање	– У сјеменкама штира повећава се активност полифенола и антиоксиданса. – Значајно повећање садржаја полифенола и антиоксидативне активности у проклијалој хељди у односу на проклијали штир и киноу. – Забиљежено је повећање укупних дијеталних влакана у хељди за 118% након клијања током 168 сати. – Повећање редукујуће способности шећера, фенолних једињења, сирових протеина, флавоноида и антиоксиданса у хељди, смањена активност инхибитора трипсина (TIA), фитинске киселине и сирове масти. – Повећање садржаја танина у хељди од 44% након 168 сати клијања. – Након 72 сата клијања, дошло је до значајног повећања садржаја витамина Е и витамина Ц у поређењу са садржајем у сировим сјеменкама киноа. – Дошло је до повећања антиоксидативне активности киноа од 78% како је процијењено FRAP тестом и 3% смањења с DPPH тестом.
Ферментација	– <i>In vitro</i> сварљивост протеина штира смањена је за 4,8–7,5%. – Хемијски састав масти, протеина и пепела повећан је за 3, 22, односно 14 % у зрну штира.

У Таб. 12.3 дат је приказ утицаја поступака обраде на садржај макро и микро нутријента киноа, штира и хељде.

Таб. 12.3. Утицај различитих поступака обраде на макро и микро нутријенте присутне у псеудожитима (адаптирано према: Nandan и сар. 2024)

Table 12.3. The effect of different processing methods on macro- and micronutrients present in pseudocereals (Adapted from Nandan et al. 2024)

	Ферментација	Намакање/клијање	Печење/пржење
Киноа	↑ Витамини Б2, Б9, Б12, Ц и Е ↑ Слободне аминокиселине ↑ ГАВА ↑ Пробављивост протеина ↑ Пептиди ↑ Приступ микронутријентима ↑ Укупна фенолна једињења ↑ Биорасположивост Fe и Zn ↓ Антинутритивни фактори (фитат, инхибитор трипсина и танини)	↑ Садржај протеина ↑ Биорасположивост Zn, Cu, Mn и Fe ↑ Растворљива дијетална влакна ↑ Витамин Ц ↑ Садржај пептида и аминокиселина ↑ Сварљивост скроба ↓ Садржај угљених хидрата ↓ Садржај масти ↓ Горчина ↓ Физички инхибитори, антинутритивни фактори и танини	↑ Садржај укупних фенолних једињења ↑ Укупни садржај флавоноида ↑ Антиоксидативна активност ↑ Линоленска киселина ↑ Линолна киселина ↑ Меланоиди ↓ Остале масне киселине ↓ Антинутритивни фактори – сапонини
Штир	↑ Слободне аминокиселине у црвеним, бијелим и смеђим варијантама осим аргинина, тирозина и глутаминске киселине ↑ Есенцијалне аминокиселине ↑ Биорасположивост минерала ↑ Витамини Б2 и Б12 ↓ Цистеин, лизин и метионин ↓ Антинутритивни фактори, инхибитори трипсина и танини	↑ Садржај протеина ↑ Биорасположивост Zn, Cu, Mn и Fe ↑ Растворљива дијетална влакна ↑ Биоактивна једињења ↑ Скроб ↑ Витамини Ц и Б2 ↓ Садржај угљених хидрата ↓ Садржај масти ↓ Антинутритивни фактори (сапонини, фитати, трипсин инхибитор, танини)	↑ Укупни садржај флавоноида ↑ Антиоксидативна вриједност ↓ Садржај протеина ↓ Садржај масти ↓ Пробављивост протеина ↓ Садржај минерала ↓ Угљени хидрати ↓ Влакна ↓ Линоленска киселина ↓ Антинутритивни фактори (фитат, оксалати и трипсин)
Хељда	↑ Биорасположивост минерала	↑ Садржај протеина ↑ Биорасположивост	↑ Садржај протеина ↑ Садржај масти

Ферментација	Намакање/клијање	Печење/пржење
↑ Есенцијалне аминокиселине	Zn, Cu, Mn и Fe	↑ Укупна фенолна једињења
↑ Биорасположивост Fe	↑ Биоактивна једињења	↑ Антиоксидативна активност сорте
↑ Витамин Б12	↑ ГАВА	обична хељда
↓ Цитрати	↑ Рутин	↓ Укупни садржај флавоноида
↓ Антинутритивни фактори (фитат, инхибитор трипсина и танини)	↑ Декарбоксилаза глутаминске киселине	↓ Укупни садржај флавоноида сорте
	↑ Фенилаланин амонијалијаза	обична хељда
	↑ Укупна фенолна једињења	↓ Антиоксидативна активност тартарске сорте
	↓ Садржај угљених хидрата	
	↓ Садржај масти	
	↓ Антинутритивни фактори (сапонини, фитати, трипсин инхибитор, танини)	

12.2.8. Нове нетермичке технике

Модерне нетермичке методе, као што су хладна плазма (CP), високи хидростатички притисак (HHP), зрачење (гама зраци), пулсно електрично поље (PEF), импулсно свјетло (PL) и ултразвучна обрада, све чешће се користе у обради и конзервацији хране (Pellicer и сар. 2017; Grujić и сар 2004; Grujić и Anrežar 2013; Vukić и сар. 2016; Vukić и сар. 2017; Грујић и Мирјанић 2020). Nasab и сар. (2024) наводе више примјера кориштења нетермичких техника за обраду псеудожита. Примјена нетермичких техника ће омогућити ефикасније раздвајање састојака, побољшање укуса зрна псеудожита и побољшање укуса производа од њих (Adebo и сар. 2021). Ове методе нуде бројне предности, као што су робусно вријеме обраде, висока ефикасност на нижим температурама и прилагодљивост (Nasab и сар. 2024). Осим тога, могућност да се ове методе примијене циљано на специфичне антинутријенте повећава активност ензима и побољшава биорасположивост есенцијалних минерала, чиме се повећава укупна нутритивна вриједност хране.

Ултразвук ниске фреквенције, високи притисак и обрада микроталасима, као неконвенционалне технике прераде, нуде нове путеве за промјену структурних, функционалних и нутритивних својстава псеудожита, чиме се

проширују могућности за њихову потенцијалну примјену у прехранбеној индустрији и развој иновативних производа са додатном вриједношћу (Reddy и сар. 2024).

Ултразвук ниске фреквенције утиче на молекуларну структуру псеудожита, што се посебно одражава на промјену структуре скроба и протеина. Резултат наведених промјена видљив је кроз побољшање технолошких, функционалних и биоактивних својстава (Zhang и сар. 2023). Ултразвук ниске фреквенције убрзава хидратацију и клијање, екстракцију, ферментацију и кување. Побољшана клијавост повезана је са повећаном хидратацијом, ослобађањем промотора и елиминацијом инхибитора. Поред тога, посљедица утицаја ултразвука ниске фреквенције јесте боља екстракција фенолних једињења, полисахарида и других важних компоненти хране. Мијењајући структуру скроба, ултразвук узрокује дјелимичну денатурацију протеина, побољшавајући међуфазна својства и доступност пептида (Estivi и сар. 2022).

Прерада сјеменки под високим притиском је нова нетермичка технологија у којој су прехранбени производи изложени притисцима већим од 200 Мра (Grujić и сар. 2004). Овај третман утиче на инактивацију микроорганизама и структурну промјену састојака, углавном кроз желатинизацију скроба и полимеризацију протеина. Високи притисак утиче на побољшање функционалних својстава производа без глутена. У цјеловитим зрнима хељде високи притисак (600 МПа за 30 мин.), праћен намагањем на 40 °C током четири сата, доводи до значајних структурних промјена, побољшавајући способност упијања воде, али смањујући активност емулзије и способност стварања пјене. Додатно, високи притисак промовише формирање протеинске мреже псеудожита.

Електромагнетно зрачење фреквенција од 300 MHz до 300 GHz током обраде хране микроталасима индукује кретање молекула унутар производа, што доводи до континуираног стварања топлоте и накнадног побољшања функционалних својстава као што су пјењење, емулговање и моћ задржавања воде и уља. Истовремено, овај процес инактивише инхибиторе протеазе, смањује концентрацију биоактивних спојева и побољшава квалитет протеина (Langyan и сар. 2024).

Ове неконвенционалне технике прераде нуде обећавајуће путеве за модификовање структурних, функционалних и нутритивних својстава псеудожита, чиме се проширују могућности за њихову потенцијалну примјену у прехранбеној индустрији и развој иновативних производа са додатном вредношћу.

12.3. Добијање, састав и својства обезмашћеног брашна псеудожита

Растућа потражња за чија уљем значајно је повећала производњу обезмашћеног чија брашна (енгл. *Defatted Chia Flour*, DCF), које настаје као нуспроизвод у процесу екстракције уља. Индустрија производње чија уља по тони сјеменки генерише око 650–700 kg DCF-а (Chen и сар. 2023; Ozon и сар. 2022), што ствара проблеме у вези са управљањем отпадом и његовим утицајем на животну средину. Раније се DCF бацао или користио као сточна храна и гнојиво (Vinayashree и Vasu 2021).

DCF је богат протеинима, есенцијалним аминокиселинама, дијеталним влакнима, есенцијалним минералима и биоактивним једињењима, што га чини вриједним састојком са потенцијалном примјеном у прехранбеној и нутрацеутској индустрији. DCF је ресурс богат хранљивим материјама и пружа могућност за потпуну примјену чија сјеменки, уз истовремено рјешавање проблема одрживости у пољопривредно-прехранбеном сектору.

Метода екстракције и услови обраде чија сјеменки утичу на састав и квалитет DCF-а (Ziemichod и сар. 2019; Kibui и сар. 2018), укључујући садржај резидуалног уља, концентрацију протеина и садржај биоактивних компоненти у DCF-у. Ови фактори утичу на нутритивну вриједност и функционална својства DCF-а, која су кључна за даљу примјену у храни и нутрацеутским производима (Khushairay и сар. 2025).

У Таб. 12.4 компаративно је приказан састав макронутријената DCF-а и брашна од сјеменки других врста биљака. Подаци показују да DCF има добар нутритивни профил у поређењу са другим сјеменкама. Висок садржај протеина, те садржај дијеталних влакана и низак садржај заосталог уља, позиционирају DCF као одличну алтернативу биљног поријекла и вриједан састојак за различите врсте примјене у исхрани (Khushairay и сар. 2023).

Садржај протеина у DCF-у креће се у распону од 26% до 38% (Ferreira и сар. 2024; Khushairay и сар. 2023). У саставу протеина DCF-а доминирају глутелини (42–45%), након чега слиједе глобулин и албумин (Khushairay и сар. 2023).

Таб. 12.4. Састав макронутријената одмашћеног чија брашна и одмашћеног брашна из других врста сјемена биљака (на 100 g) (адаптирано према: Khushairay и сар. 2025)

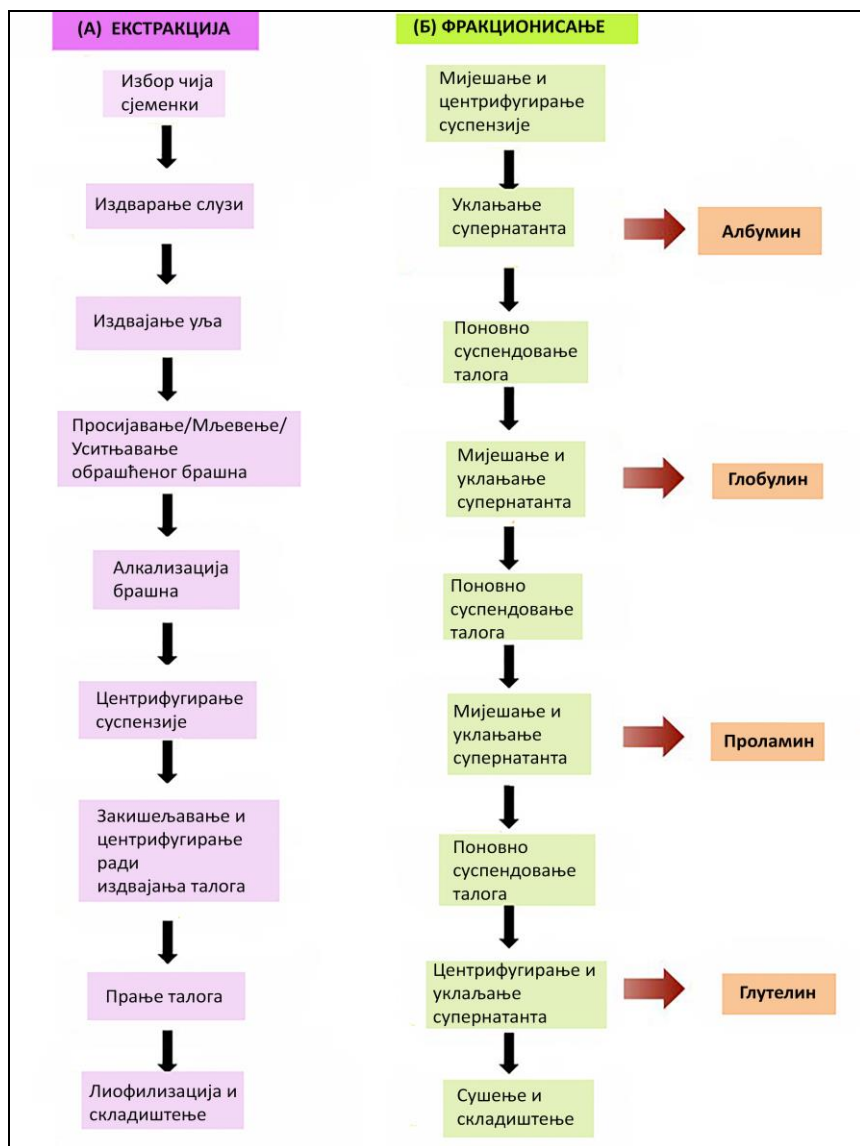
Table 12.4. Macronutrient composition of defatted chia flour and defatted flour from other plant seeds (per 100 g) (Adapted from Khushairay et al. 2025)

Макронутријент	Одмашћено чија брашно	Одмашћено брашно сјеменки лана	Одмашћено сезамово брашно
Протеини	26–38	28–35	29–46
Угљени хидрати	5–21	8–14	3–25
Дијетална влакна	20–48	8–37	4–25
Липиди	≤ 15	≤ 10	≤ 32

DCF има веома повољан профил аминокиселина, што га чини потентним извором есенцијалних аминокиселина. Профил аминокиселина DCF-а показује добро уравнотежену дистрибуцију есенцијалних (ЕАА) и неесенцијалних (NEAA) аминокиселина (Khushairay и сар. 2023).

12.4. Екстракција протеина из псеудожита

Екстракција протеина из чија сјеменки је битан и перспективан процес, јер се екстракти протеина потенцијално могу користити у прехранбеној и фармацеутској индустрији, у облику функционалних састојака, додатака у исхрани или носача за мале молекуле. Методе екстракције протеина из чија сјеменки, које су представљене у постојећој литератури, углавном слиједе сличан хемијски процес, што је приказано на Сл. 12.4.



Сл. 12.4. Дијаграм тока (А) процеса екстракције и (Б) фракционисања протеина из цијелих чија сјеменки (адаптирано према: Chen и Luo 2024)

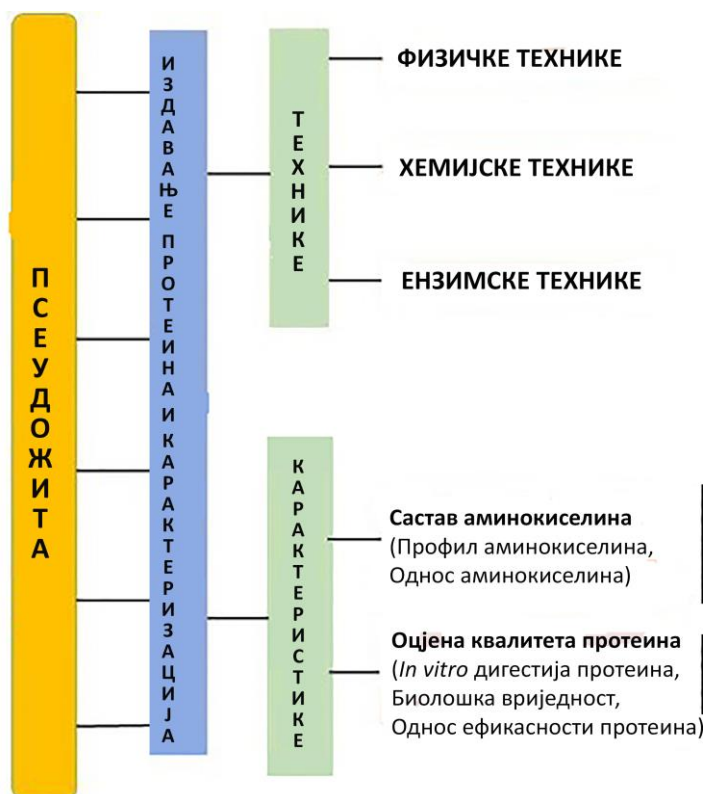
Fig. 12.4. Flow chart of (A) the extraction process and (B) fractionation of proteins from whole chia seeds (adapted from Chen and Luo 2024)

Прехрамбена индустрија се све више фокусира на производњу концентрата и изолата биљних протеина, не само због њихових функционалних својстава

у прехранбеним производима, већ и због њихове способности да побољшају квалитет (текстура, укус, конзистенција и укупна нутритивна вриједност) (Wang и сар. 2023).

У последње вријеме екстракција протеина из жита и псеудожита постала је важна тема истраживања. За добијање протеина од псеудожита највише су изучавани штир, хељда, киноа и чија. Чија протеини се сматрају одрживом алтернативом, јер нуде уравнотежен профил аминокиселина, одличну сварљивост, а погодни су за веганску и вегетаријанску исхрану.

Протеински изолати се користе у изради бројних прехранбених производа, понекад и као главни састојак производа.

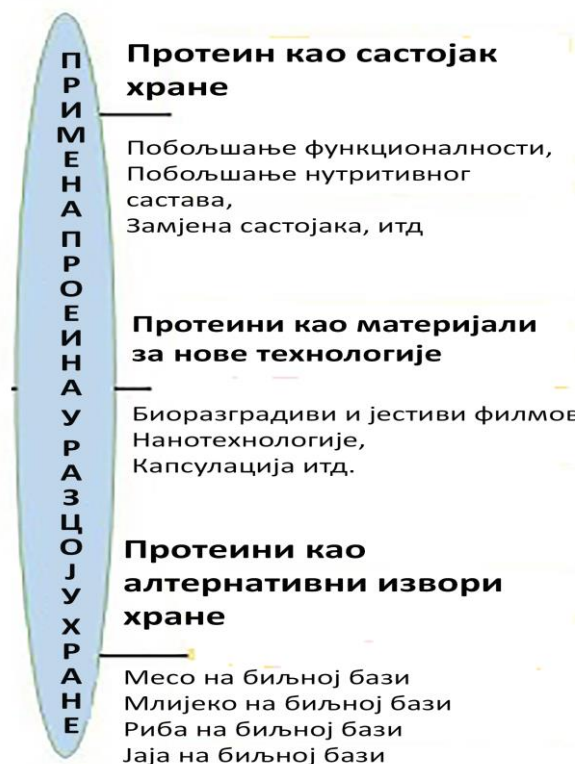


Сл. 12.5. Издвајање протеина из псеудожита, карактеристике екстрахованих протеина (адаптирано према: Malik и Singh 2022)

Fig. 12.5. Protein extraction from pseudocereals, characteristics of extracted proteins (Adapted from Malik and Singh 2022)

Разградњом матрице у којој се налазе протеини и повећањем растворљивости протеина у алкалној средини може се повећати принос током екстракције. Протеини посједују већи електрични набој када се не налазе у изоелектричној тачки (изоелектрична тачка ове групе протеина најчешће се налази у распону рН између 4,5 и 5,0). Промјена рН у подручје испод или изнад ове вриједности повећава растворљивост протеина у воденој средини (Malik и Singh 2022).

Екстракција протеина је изазовна због осјетљивости протеина на средину, која може утицати на њихова структурна својства (Gadalkar и Rathod 2020). Главни циљ екстракције је максимизирање приноса протеина, уз минимизирање оштећења његових својстава и избјегавање екстракције нежељених спојева (Ројс и сар. 2018).



Сл. 12.6. Употреба протеина псеудожита током развоја хране будућности (адаптирано према: Malik и Singh 2022)

Fig. 12.6. Proteins from pseudocereals and possibilities for their use in the development of future foods (Adapted from Malik and Singh 2022)

12.4.1. Физичке технике за издвајање протеина из псеудожита

Екстракција протеина из псеудожита може се провести хемијским, физичким и ензимским поступцима (Malik и Singh 2022). Ови поступци значајно утичу на технолошка и функционална својства екстрахованих протеина, јер изазивају одређене промјене у конформационој структури протеина. Разумијевање утицаја различитих услова екстракције на својства екстрахованих протеина је од изузетног значаја, јер директно утиче на њихову функционалност и потенцијалну примјену у прехранбеној индустрији (Vidaurre-Ruiz и сар. 2023).

Општи преглед поступака за издвајање протеина дат је на Сл. 12.5, а на Сл. 12.6 приказане су могућности употребе протеина издвојених из сјеменки псеудожита за производњу хране будућности.

Физичке технике се често користе за издвајање протеина. Оне су једноставније за примјену и економичније у поређењу са другим техникама екстракције протеина (Malik и Singh 2022). Физичке методе захтијевају потребне ресурсе и вријеме за екстракцију, али су финансијски повољније у односу на друге двије групе метода. Поред тога, физички поступци мање утичу на промјену хране. То их чини пожељнијим од ензимских и хемијских техника. Принос екстракције код ових метода је нешто мањи. Већа деструкција ћелија током физичких процеса повећава принос екстракције протеина. Суво фракционисање омогућава добијање протеина псеудожита са природним карактеристикама. Физички процес који укључује мљевање, дисперзију у води, третман ензима, деактивацију ензима, кување и лиофилизацију, користи се за добијање праха протеина од хељде. Како би се побољшао принос додатно се могу примијенити ултразвучна обрада, микроталаси, високи хидростатски притисак (Khushairay и сар. 2025). Поступак захтијева примјену одређених мјера за смањење губитака хранљивих материја и нарушавање њихових нутритивних својстава.

12.4.2. Хемијске технике за издвајање протеина из псеудожита

Употреба хемикалија за екстракцију протеина из зрна жита и псеудожита је најчешће кориштена техника. Екстракција протеина хемијским методама омогућава добијање фракција протеина високе чистоће и ефикасно вријеме обраде. Због јаког међусобног везивања компоненти, екстракција протеина из псеудожита је изазован процес (Рао и Рoonia 2023).

Хемијски поступци екстракције протеина ослањају се на кориштење различитих растварача (на примјер, вода, алкалије, органски растварачи и

киселине). У ову групу поступака убрајају се екстракција са водом, екстракција са алкалијама/киселинама и екстракција са органским растварачима. Ови поступци су исплативи, једноставни и погодни за велике погоне. Традиционалне технике екстракције протеина (екстракција са воденом или киселинско-алкални поступци екстракције), широко се користе у прехранбеној индустрији, али често ометају оптималну регенерацију висококвалитетних протеина (Khushairay и сар. 2025; Malik и Sing 2022). Проведена су истраживања како би се оптимизирала и побољшала ефикасност екстракције, уз смањење могућности оштећења функционалних својстава протеина.

Malik и Sing (2022) наводе неколико примјера хемијских поступака за издвајање протеина из штира, киное и хељде. Током издвајања протеина из штира, процес започиње суспендовањем одмашћеног брашна у води код одређене рН вриједности, након чега се суспензија мијеша и центрифугира. Супернатант се таложи и поново суспендује у води. Након више понављања овог процеса, талог се суши лиофилизацијом.

Подешавањем алкалног рН, протеини се могу изоловати из одмашћеног брашна киное. Суспензија се мијеша и центрифугира, а супернатанти се закишељавају и поново центрифугирају. Добијене пелете се поново суспендују у дејонизованој води. Код високе рН вриједности могу се добити протеини чистоће 90–93%, док ниска рН вриједност утиче на добијање протеина чистоће 82–88% (Ruiz и сар. 2016). Алкална екстракција уз помоћ ултразвука праћена ултрафилтрацијом даје знатно већи принос протеина (60 g/100 g и 89 g/100 g) из киное (Hadidi и сар. 2020). Примјеном алкалне екстракције (рН 8,0–8,5) из хељдиног брашна се могу издвојити фракције протеина албумина и глобулина.

12.4.3. Ензимске технике за издвајање протеина из псеудожита

Током ензимских поступака користе се специфични ензими за разградњу компоненти ћелијског зида као што су целулоза и пектин, што утиче на разбијање ћелијског зида и ослобађање протеина. Након тога, протеазе разграђују велике протеине на мање пептиде.

Ензимске методе се користе за добијање висококвалитетних изолата протеина и циљано прилагођавање састава изолата (Rao и Poonia 2023). Ова метода је еколошки прихватљивија у односу на хемијске методе, али је скупља.

У подручју неутралних и благо алкалних рН вриједности употреба ензима може бити алтернативни поступак за екстракцију протеина. На неколико начина ензими олакшавају екстракцију протеина. Ензими α -амилаза и фитаза побољшавају екстракцију протеина тако што прекидају интеракције протеина са скробом и фитатом унутар мекиња, које ометају екстракцију протеина (Malik и Sing 2022). Један од циљева примјене ензима је ефикасно одвајање полисахарида од протеина.

Поступци ензимске екстракције дају већи принос протеина, издвајање пептида са специфичном биоактивношћу и добијање производа веће чистоће, који су погодни за људску употребу (Khushairay и сар. 2023). Међутим, висока цијена ензима, повећана потрошња енергије и неповратна разградња угљикохидратно-протеинске матрице ограничавају примјену екстракција протеина са ензимима. У посљедње вријеме за екстракцију протеина често се користе имобилисани ензими.

12.5. Модификовање протеина псеудожита

Модификовање протеина псеудожита пружа нове могућности за развој иновативних прехранбених и непрехрамбених протеинских производа, који испуњавају специфичне захтјеве рецептура производа. Поред тога, ови модификовани протеини посједују висок ниво функционалности (на примјер, побољшану растворљивост, способност желирања, моћ задржавања воде или својства стабилизације пјене). Они могу имати примјену током израде широког спектра производа (Таб. 12.5).

Таб. 12.5. Побољшање технолошких и функционалних својстава протеина псеудожита и њихова потенцијална примјена у развоју хране (адаптирано према: Vidaurre-Ruiz и сар. 2023)

Table 12.5. Improving the technological and functional properties of pseudocereal proteins and their potential application in food development ADAPTED from Vidaurre-Ruiz et al. 2023)

Псеудожито	Технолошко и функционално својство	Метода модификовања	Утицај на технолошка и функционална својства	Врста хране у којој се користе протеини
Киноа	↑ Растворљивост ^а	Загријавање на 100 °С и рН 8–11 ^ф	↑ Растворљивост ^{а,ф,г}	Протеинска пића

Псеудожито	Технолошко и функционално својство	Метода модификовања	Утицај на технолошка и функционална својства	Врста хране у којој се користе протеини
		НИУ (700 W, 20 kHz) за 5, 10, 15, 20 и 30 мин. ^{a,g}		
	↑Стварање и стабилност пјене ^{b, c}			Сорбет, смути
	↓Својства емулзије при рН 1Р ^c			
	↑Својства емулзије код концентрације 3%	Ензимска хидролиза (алкалаза) при рН 3,0 и 8,0 ^b	↑↑Стабилност емулзије ^b	Кобасице, супе, пекарски производи, производи без глутена, аналози меса
		НИУ (500 W, 20 kHz) ^a	↑Својства емулзије ^a ↑Стабилност емулзије ^a	Производи од меса
	↑Стварање гела на 70 °C и рН 6,5 ^c			Филмови
Штир	↑Растворљивост ^{a,b}	Загријавање на 90 °C ^{a, b}	↓Растворљивост ↑Формирање баријере ^{a,b}	
		НЕ (200–600 MPa) ^a	↓Растворљивост ^a	
		НИУ (100 W, 30 kHz) ^a	↑↑Растворљивост ^a	Протеински напици, хлеб од киселог тијеста, колачи
	↑↑ Стварање и стабилност пјене при рН 2 ^b	Хемијска/ензимска хидролиза ^b	↑↑Стабилност пјене ^b	Сорбет
	↓Емулзија при рН 1Р ^b	Загријавање (50–100 °C) при рН 7,5 ^b Ензимска хидролиза (трипсин, алкалаза) при рН 2,0 ^b	↑Својства емулзије ^b	Умаци, производи без глутена, аналози меса

Псеудожито	Технолошко и функционално својство	Метода модификовања	Утицај на технолошка и функционална својства	Врста хране у којој се користе протеини
	↑Стварање гела на 70 °C и концентрацији 7% ^b			
Хељда	↑↑Растворљивост при рН 7 ^d			Протеинска пића
	↑Својства пјене ^e			Смути, хљеб од киселог тијеста
	↓Својства емулзије при рН 7–10 ^e			Кобасице, производи без глутена,
	↑Стабилност емулзије при рН 2–3 ^e			производи од меса и мајонез

↑↑ Врло високо; ↑ Високо; ↓ Ниско; IP – изоелектрична тачка; HE – обрада примјеном високог хидростатског притиска, HIU – обрада ултразвуком високог интензитета
Адаптирано према: ^a Constantino и Garcia-Rojas (2022); ^b Janssen и сар. (2017); ^c Dakhili и сар. (2019);

^d Bhinder и сар. (2020); ^e Tomotake и сар. (2002); Wang и сар. (2021) ; ^f Vera и сар. (2019).

12.5.1. Поступци за модификовање протеина псеудожита

Топлотна (термичка) обрада је један од најчешћих третмана који се примјењује за модификовање протеина. На температурама између 0 °C и 50 °C, структура протеина се не мијења. Међутим, када се температура подигне и задржи довољно дуго изнад те вриједности, протеини почињу денатурирати, што се одражава на структурну конформацију протеина. То може смањити његову растворљивост у води или изазвати агрегацију, коагулацију и таложење протеина. Растворљивост изолата протеина киное може се побољшати различитим термичким третманима. Пријављено је повећање растворљивости за 30–40% при рН 8–11 након загријавања на 100 °C. Такође, загријавање у микроталасној пећници на 80 °C у трајању од 30 минута може побољшати растворљивост протеинског изолата при неутралном рН. Због рекомбинације и полимеризације протеинских подјединица, кување на пари и печење значајно смањују растворљивост изолата протеина киное (Wang и сар. 2021). Топлотним третманом може се побољшати својство за стварања механичке баријере јестивих филмова

направљених од модификованих протеина штира. Уочено је да термичка обрада на температурама дјелимичне (70 °C) и потпуне (90 °C) денатурације погодује интеракцијама између полипептидних ланаца током формирања филма.

Ултразвук високог интензитета има значајан утицај на структуру, технолошка и функционална својства протеина (Vukić и сар. 2017). У случају обраде протеина штира, ултразвук високог интензитета утиче на повећање слободних сулфхидрилних група (-SH) на површини и узрокује промјене хидрофобности протеина, те прекид унутрашњих веза у природној структури протеина. Ово резултира смањењем величине честица и побољшањем растворљивости протеина при pH 7 (Constantino и Garcia-Rojas 2022). Код протеина киное примјена ултразвука високог интензитета, у зависности од времена третмана, узрокује промјену конформације и физичко-хемијских својстава. Ове конформацијске промјене воде ка благом повећању растворљивости протеина третираних ултразвуком високог интензитета (Vera и сар. 2019).

Обрада под високим хидростатским притиском (ННР) представља технологију која може имати реверзибилне ефекте на протеине. Током ННР обраде, протеини могу бити дјелимично или потпуно денатулисани, повећавајући број слободних SH-група, хидрофобност површине протеина и агрегацију протеина. Учинак на технолошка и функционална својства протеина зависи од степена обраде. Протеини штира показују високу осјетљивост на ННР третман. Код притисака 200 МПа и 400 МПа протеини штира били су значајно денатулисани. То је, захваљујући хидрофобним интеракцијама и успостављању дисулфидних веза (-S-S-), довело до формирања већих агрегата и смањења растворљивости. У случају изолата протеина хељде, ННР третман је праћен ензимском хидролизом, што значајно смањује везивање имуноглобулина (Ig)E. То доприноси смањењу ризика од алергија повезаних с овим протеинима (Constantino и Garcia-Rojas, 2022).

12.5.2. Пептиди из псеудожита

Различите фракције протеина из псеудожита се могу хидролизирати помоћу ензима, при чему настају бројни биолошки активни пептиди (Usman и сар. 2022). Врста ензима, услови реакције и врста третмана представљају критичне факторе у производњи ових пептида. Псеудожита се могу користити за производњу пептида за које постоје докази о ефикасном доприносу у лијечењу хроничних болести (Usman и сар. 2022).

Пептиди штира имају антихипертензивна, антиоксидативна и противупална својства, а хидролизати хељде и киноа имају изврсно антимикробно, антиканцерогено и антидијабетичко дјеловање. Фракције протеина 11S глобулина показују снажну активност код инхибирања ензима који конвертује ангиотензин и дипептидил-пептидазе IV. Уочено је да кратке секвенце аминокиселина имају добру антихипертензивну активност (Usman и сар. 2022).

12.6. Закључак

Поступци обраде сјеменки и технолошке операције које се примјењују у изради производа од сјеменки утичу на могућност примјене псеудожита у прехрамбеној индустрији и производњи хране. Због јединствених физичких и хемијских својстава, током прераде псеудожита захтијевају се специјализовано знање и примјена специфичних технологија. Истраживања о нутритивним, технолошким и здравственим предностима псеудожита показала су да процеси обраде псеудожита (на примјер, намакање, клијање, ферментација, печење, пржење и друго), утичу на повећање нутритивног профила, органолептичких својстава, побољшање пробављивости нутријента, те смањење садржаја антинутријента. Ови третмани се примјењују или појединачно или комбиновано два или више поступака. Модерне нетермичке методе све чешће се користе у обради и конзервисању хране. Примјена нетермичких техника ће омогућити ефикасније раздвајање састојака, побољшање укуса зрна псеудожита и побољшање укуса производа од њих. Ове методе нуде бројне предности, као што су робусно вријеме обраде, висока ефикасност на нижим температурама и прилагодљивост употреби.

Растућа потражња за уљем псеудожита, посебно чија уљем, значајно је повећала производњу обезмашћеног брашна, које настаје као нуспроизвод у процесу екстракције уља. Обезмашћено брашно је богато протеинима, есенцијалним аминокиселинама, дијеталним влакнима, есенцијалним минералима и биоактивним једињењима, што га чини вриједним састојком са потенцијалном примјеном у прехрамбеној и нутрацеутској индустрији.

Екстракција протеина из сјеменки псеудожита је битан и перспективан процес, јер се екстракти протеина могу користити у прехрамбеној и фармацеутској индустрији, у облику функционалних састојака, као додаток у исхрани или као носач за мале молекуле. Поред тога, протеински изолати се користе у изради бројних прехрамбених производа, понекад и као главни састојци производа. Екстракција протеина из псеудожита може се провести хемијским, физичким и ензимским поступцима. Сваки од ових поступака има

одређене предности и недостатке. Правилним избором параметара процеса могу се добити протеини жељених својстава. Након екстракције протеини се могу модификовати путем обраде топлотом, примјеном ултразвука или обрадом под високим хидростатским притиском. Псеудожита се могу користити за производњу пептида за које постоје докази о ефикасном доприносу у лијечењу хроничних болести.

Литература

- Adebo OA, Molelekoa T, Makhuvele R, Adebiyi JA, Oyedeji AB, Gbashi S, et al (2021) A review on novel non-thermal food processing techniques for mycotoxin reduction. *Int J Food Sci Technol* 56(1):13–27. doi. 10.1111/ijfs.14734
- Adhikari BB (2023) Prospects and potential of buckwheat (*Fagopyrum spp*) production in Nepal: a review. *J Inst Agric Anim Sci* 173–182. doi:10.3126/jiaas.v37i1.58593
- Amare E, Mouquet-Rivier C, Rochette I, Adish A, Haki GD (2016) Effect of popping and fermentation on proximate composition, minerals, absorption inhibitors, and mineral bioavailability of *Amaranthus caudatus* grain cultivated in Ethiopia. *J Food Sci Technol* 53(7):2987–2994. doi:10.1007/s13197-016-2266-0
- 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
- Brennan MA, Menard C, Roudaut G, Brennan CS (2012) Amaranth, millet and buckwheat flours affect the physical properties of extruded breakfast cereals and modulates their potential glycaemic impact. *Starch-Starke* 64(5):392–398. doi:10.1002/star.201100150
- Vera A, Valenzuela MA, Yazdani-Pedram M, Tapia C, Abugoch L (2019) Conformational and physicochemical properties of quinoa proteins affected by different conditions of high-intensity ultrasound treatments. *Ultrason Sonochem* 51:186–196. doi:10.1016/j.ultsonch.2018.10.026
- Vidaurre-Ruiz J, Bender D, Schonlechner R (2023) Exploiting pseudocereals as novel high protein grains. *J Cereal Sci* 114:103795. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103795>
- Vinayashree S, Vasu P (2021) Biochemical, nutritional and functional properties of protein isolate and fractions from pumpkin (*Cucurbita moschata* var. *Kashi Harit*) seeds. *Food Chem* 340:128177. doi:10.1016/j.foodchem.2020.128177
- Vukić M, Vujadinović D, Gojković V, Grujić R (2016) Influence of Cold Plasma Treatment on Textural and Color Characteristics of Two Tomato Varieties. *Quality of Life* 13(1-2):12–16. UDK 635.64:575.22. doi. 10.7251/QOL16012V
- Vukić M, Vujadinović D, Ivanović M, Gojković V, Grujić R (2017) Color change of orange and carrot juice blend treated by non-thermal atmospheric plasma. *J Food Process Preserv* e13525. doi.org/10.1111/jfpp.13525

- Gadalka SM, Rathod VK (2020) Extraction of watermelon seed proteins with enhanced functional properties using ultrasound. *Prep Biochem Biotechnol* 50(2):133–140. doi:10.1080/10826068.2019.1679173
- Grujić R, Anrejš F (2013) Održive tehnologije u prehrambenoj industriji (poglavlje u knjizi: Održive tehnologije u prehrambenoj industriji, Editors: Grujić R, Jašić M, Tehnološki fakultet Univerziteta u Novom Sadu, str: 7-42. ISBN 978-86-6253-012-7
- Grujić R, Fons-Sole E, Vučić G, Škipina B, Mirjanić D (2004) Contemporary Technologies and Safety of Foodstuff, Handbook, Faculty of Tehnology/Universitat de Lleida with consortium of Tempus JEP project 16140-2001, Banja Luka/Lleida (engleski i srpski jezik), pp 1-78 +1-74. ISBN 99938-54-01-8
- Грујић Р, Мирјанић Д (2020) Савремене технологије у производњи и преради прехранбених производа. У: Перспективе развоја прехранбене индустрије (Грујић Р, Јањић В, Тркуља Р, уредници). Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука:141-176.
- Dakhili S, Abdolalizadeh L, Hosseini SM, Shojaei-Aliabadi S, Mirmoghtadaie L (2019) Quinoa protein: composition, structure and functional properties. *Food Chem* 299:125161 doi:10.1016/j.foodchem.2019.125161
- Darwish AM, Al-Jumayi HA, Elhendy HA (2021) Effect of germination on the nutritional profile of quinoa (*cheopodium quinoa* willd.) seeds and its anti-anemic potential in Sprague-dawley male albino rats. *Cereal Chem* 98(2):315–327. doi. 10.1002/cche.10366
- Dziedzic K, Szwengiel A, Gorecka D, Rudzinska M, Korczak J, Walkowiak J (2016) The effect of processing on the phytosterol content in buckwheat groats and by-products. *J Cereal Sci* 69:25–31. doi.10.1016/j.jcs.2016.02.003
- Espinosa-Ramirez J, Rodriguez A, Dela Rosa-Millan J, Heredia-Olea E, Perez-Carrillo E, Serna-Saldivar SO (2021) Shear-induced enhancement of technofunctional properties of whole grain flours through extrusion. *Food Hydrocoll* 111:106400. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106400>
- Estivi L, Brandolini A, Condezo-Hoyos L, Hidalgo A (2022) Impact of low-frequency ultrasound technology on physical, chemical and technological properties of cereals and Pseudocereals. *Ultrason Sonochem* 86:106044 <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106044>.
- Zhang X, Shi J, Fu Y, Zhang T, Jiang L, Sui X (2023) Structural, nutritional, and functional properties of amaranth protein and its application in the food industry: A review. *Sustain Food Proteins* 1(1):45–55. <https://doi.org/10.1002/sfp2.1002>.
- Ziemichod A, Wojcik M, Rozylo R (2019) *Ocimum tenuiflorum* seeds and *Salvia hispanica* seeds: mineral and amino acid composition, physical properties, and use in gluten-free bread. *CyTA–J Food* 17:804–813. doi:10.1080/19476337.2019.1658645
- Jan KN, Panesar PS, Singh S (2018) Optimization of antioxidant activity, textural, and sensory characteristics of gluten-free cookies made from whole Indian quinoa flour. *LWT* 93:573–582. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.013>.
- 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* 16:39–58. doi:10.1111/1541-4337.12240
- Kaur I, Tanwar B, Reddy M, Chauhan A (2016) Vitamin C, total polyphenols, and antioxidant activity in raw, domestically processed, and industrially processed Indian *Chenopodium quinoa* seeds. *J Appl Pharm Sci* 6(4):139–145. doi:10.7324/JAPS.2016.60419
- Khaneghah AM, Fakhri Y, Sant'Ana AS (2018) Impact of unit operations during processing of cereal-based products on the levels of deoxynivalenol, total aflatoxin, ochratoxin A, and zearalenone: a systematic review and meta-analysis. *Food Chem* 268:611–624. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.072>
- Khushairay ESI, Ghani MA, Babji AS, Yusop SM (2023) The nutritional and functional properties of protein isolates from defatted chia flour using different extraction pH. *Foods* 12(16):3046. <https://doi.org/10.3390/foods12163046>.
- Khushairay IES, 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>
- Kibui A, Owaga E, Mburu M (2018) Proximate composition and nutritional characterization of chia enriched yoghurt. *Afr J Food Agric Nutr Dev* 18(1):13239–13253. doi:10.18697/ajfand.81.17635
- Kurek MA, Krzeminska A (2020) Effect of modified atmosphere packaging on quality of bread with amaranth flour addition. *Food Sci Technol Int* 26(1):44–52. doi:10.1177/1082013219864197
- Langyan S, Khan FN, Kumar A (2024) Advancement in nutritional value, processing methods, and potential applications of pseudocereals in dietary food: A review. In: *Food Bioproc Technol* 17(3):571–590. doi:10.1007/s11947-023-03109-x
- Makinen OE, Arendt EK (2015) Nonbrewing applications of malted cereals, pseudocereals, and legumes: a review. *J Am Soc Brew Chem* 73(3):223–227. doi:10.1094/ASBCJ-2015-0515-01
- Malik MA, Singh A (2022) Pseudocereals proteins- A comprehensive review on its isolation, composition and quality evaluation techniques. *Food Chem Adv* 1:100001. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2021.100001>
- Mhada M, Metougui ML, El Hazzam K, El Kacimi K, Yasri A (2020) Variations of saponins, minerals and total phenolic compounds due to processing and cooking of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) seeds. *Foods* 9(5):660. <https://doi.org/10.3390/foods9050660>
- Modupalli N, Sunil CK, Venkatachalapathy N (2024) Unit operations in pseudocereals and heritage grains processing. In: CK Sunil, N Venkatachalapathy, VM Balasubramaniam, KA Athmaselvi, C Anandharamakrishnan (Editors). *Unit Operations in Food Grain Processing*. Elsevier Inc. London, United Kingdom: 425–451. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18965-4.00014-5>
- Motta C, Delgado I, Matos AS, Gonzales GB, Torres D, Santos M, et al (2017) Foliates in quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus* sp.) and buckwheat (*Fagopyrum esculentum*): Influence of cooking and malting. *J Food Compos Anal* 64:181–187. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.09.003>

- Nandan A, Koirala P, Tripathi DA, Vikranta U, Shah K, Gupta JA, Agarwal A, Nirmal N (2024) Nutritional and functional perspectives of pseudocereals. *Food Chem* 448:139072. doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139072
- Nasab SS, Tahmouzi S, Feizollahi E, Mollakhalili-Meybodi N (2024) Impacts of novel non-thermal processing (NTP) on anti-nutritional compounds of food grains and seeds. *Food Control* 162:110469. doi.10.1016/j.foodcont.2024.110469
- Ng S-C, Anderson A, Coker J, Ondrus M (2007) Characterization of lipid oxidation products in quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Chem* 101:185-192. doi.10.1016/j.foodchem.2006.01.016
- Ozon B, Cotabarren J, Valicenti T, Parisi MG, Obregon WD (2022) Chia expeller: a promising source of antioxidant, antihypertensive and antithrombotic peptides produced by enzymatic hydrolysis with Alcalase and Flavourzyme. *Food Chem* 380:132185. doi:10.1016/j.foodchem.2022.132185
- Pellicer RE, Nikolic D, Sort J, Dolores Baró M, Zivic F, Grujovic N, Grujic R, Pelemis S (2017) *Appl Ind Biomater* 1-215. ISBN 978 -3-319 -62766-3. doi. 10.1007/978-3-319-62767-06
- Pojic M, Misan A, Tiwari B (2018) Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin. *Trends Food Sci Technol* 75:93–104. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.010.
- Pongrac P, Scheers N, Sandberg AS, Potisek M, Arcon I, Kreft I, et al (2016) The effects of hydrothermal processing and germination on Fe speciation and Fe bioaccessibility to human intestinal Caco-2 cells in Tartary buckwheat. *Food Chem* 199:782–790. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.071.
- Rahman S, Mohammed S, Dubey PK, Kumar S (2023) A comprehensive review on the effect of germination on the physiochemical properties of wheat, millet, and legumes. *J Food Chem Nanotechnol* 9:323–334. doi. 10.17756/jfcn.2023-s1-042
- Ramos Diaz JM, Sundarrajan L, Kariluoto S, Lampi A, Tenitz, S, Jouppila K (2017) Effect of extrusion cooking on physical properties and chemical composition of corn-based snacks containing Amaranth and quinoa: application of partial least squares regression. *J Food Process Eng* 40(1):e12320. doi. 10.1111/jfpe.12320
- Rao V, Poonia A (2023) Protein characteristics, amino acid profile, health benefits and methods of extraction and isolation of proteins from some pseudocereals—a review. *Food Prod Process Nutr* 5:37. doi:10.1186/s43014-023-00154-z
- Reddy KVM, Dubey KPr, Mishra AA, Sabeel VA (2024) Potential processing techniques for safe utilisation of pseudo cereals in the food system. *J Food Compos Anal* 1:35106609. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106609
- Repo-Carrasco-Valencia RA, Encina CR, Binaghi MJ, Greco CB, Ronayne de Ferrer PA (2010) Effects of roasting and boiling of quinoa, kiwicha and kaniwa on composition and availability of minerals in vitro. *J Sci Food Agric* 90(12):2068–2073. doi.10.1002/jsfa.4053
- Ruiz GA, Opazo-Navarrete M, Meurs M, Minor M, Sala G, van Boekel M, et al. (2016) Denaturation and in vitro gastric digestion of heat-treated quinoa protein isolates obtained at various extraction pH. *Food Biophys* 11(2):184–197. doi.10.1007/s11483-016-9429-4

- Shreeja K, Devi SS, Suneetha WJ, Prabhakar BN (2021) Effect of germination on nutritional composition of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* moench). *Int Res J Pure Appl Chem* 22(1):1–7. doi. 10.9734/IRJPAC/2021/v22i130350
- Siwatches M, Yadav B (2017) Pseudocereals: Nutritional quality, processing and potential health benefits. *Curr Nutr Food Sci* 13(4):296-302. doi.10.2174/1573401313666170214165153
- Slukova M, Levkova J, Michalcova A, Skrivan P (2017) Effect of the dough mixing process on the quality of wheat and buckwheat proteins. *Czech J Food Sci* 35(6):522-531. doi.10.17221/220/2017-CJFS
- Thakur P, Kumar K, Dhaliwal SH (2021) Nutritional facts, bio-active components and processing aspects of pseudocereals: A comprehensive review. *Food Biosci* 42(24):101170. doi.10.1016/j.fbio.2021.101170
- Tomotake H, Shimaoka I, Kayashita J, Nakajoh M, Kato N (2002) Physicochemical and functional properties of buckwheat protein product. *J Agric Food Chem* 50(7):2125–2129. <https://doi.org/10.1021/jf011248q>.
- Ugural A, Akyol A (2020) Can Pseudocereals modulate microbiota by functioning as probiotics or prebiotics? *Crit Rev Food Sci Nutr* 1–15. doi.10.1080/10408398.2020.1846493
- Usman M, Patil JP, Mehmood A, Rehman A, Shah H, Haider J, et al (2022) Comparative evaluation of pseudocereal peptides: A review of their nutritional contribution. *Trends Food Sci Technol* 122:287–313. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.009>
- Faraj A, Vasanthan T, Hoover R (2004) The effect of extrusion cooking on resistant starch formation in waxy and regular barley flours. *Food Res Int* 37:517-525. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2003.09.015>
- Ferreira DM, Machado S, Santo LE, Nunes MA, Costa ASG, Alvarez-Orti M, et al (2024) Defatted flaxseed flour as a new ingredient for foodstuffs: comparative analysis with whole flaxseeds and updated composition of cold-pressed oil. *Nutrients* 16(20):3482. <https://doi.org/10.3390/nu16203482>.
- Hadidi M, Khaksar FB, Pagan J, Ibarz A (2020) Application of Ultrasound-Ultrasonic-Assisted alkaline isoelectric precipitation (UUAIP) technique for producing alfalfa protein isolate for human consumption: Optimization, comparison, physico-chemical, and functional properties. *Food Res Int* 130:108907. doi.10.1016/j.foodres.2019.108907
- Han Y, Chi J, Zhang M, Zhang R, Fan S, Dong L, et al (2019) Changes in saponins, phenolics and antioxidant activity of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd) during milling process. *LWT* 114:108–381. doi.10.1016/j.lwt.2019.108381
- Haros CM, Wronkowska (2017) Pseudo-cereal dry and wet milling: processes, products and applications. In book: Pseudo-cereals: Chemistry and Technology, 140-162. doi.10.1002/9781118938256.ch7
- Henrion M, Labat E, Lamothe L (2020) Pseudocereals as healthy grains: an overview. *Innov Process Technol Healthy Grains* 37–59. <https://doi.org/10.1002/9781119470182.ch3>.
- Carciochi RA, Galvan-D'Alessandro L, Vandendriessche P, Chollet S (2016) Effect of germination and fermentation process on the antioxidant compounds of quinoa seeds. *Plant Foods Hum Nutr* 71(4):361–367. doi. 10.1007/s11130-016-0567-0

- Chen J, Zhu L, Wu Q, Chen Y, Wu G, Zhang H (2023) Structure characterization and bioactivities of protein hydrolysates of chia seed expeller processed with different proteases in silico and in vitro. *Food Biosci.* 55:102781. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102781>.
- Chen S, Luo X (2024) Chia seed protein as a promising source for plant-based foods: Functional properties, processing methods and potential food applications. *Appl Food Res* 4:100459. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100459>
- Constantino ABT, Garcia-Rojas EE (2022) Proteins from pseudocereal seeds: solubility, extraction, and modifications of the physicochemical and techno-functional properties. *J Sci Food Agric* 102:2630–2639. doi.10.1002/jsfa.11750
- Cornejo F, Novillo G, Villacres E, Rosell CM (2019) Evaluation of the physicochemical and nutritional changes in two amaranth species (*Amaranthus quitensis* and *Amaranthus caudatus*) after germination. *Food Res Int* 121:933–939. doi.10.1016/j.foodres.2019.01.022
- Wang L, Dong JI, Zhu YY, Shen RL, Wu LG, Zhang KY (2021) Effects of microwave heating, steaming, boiling and baking on the structure and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein isolates. *Int J Food Sci Technol* 56:709–720. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14706>.
- Wang Y, Sanchez-Velazquez OA, Martinez-Villaluenga C, Goycoolea FM, Hernandez-Alvarez AJ (2023) Effect of protein extraction and fractionation of chia seeds grown in different locations: nutritional, antinutritional and protein quality assessment. *Food Biosci* 56:103238. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103238>.

Procedures and technological operations for processing pseudocereals

Radoslav Grujić

Summary

Pseudocereals are used in many ways. In the food and pharmaceutical industries, pseudocereal seeds and products obtained by processing seeds are used. Various technological operations are applied in this regard. This chapter provides an overview of key technological operations and their influence on the functional and technological properties of pseudocereal seed components, primarily proteins, and their contribution to the formation of product properties. In addition to the basic technological operations such as cleaning, peeling, aspiration, particle size separation and sieving, milling and fractionation, which are used for the processing of coarse grains, several specific operations are also used in the processing of pseudocereal grains (for example, heat treatment (cooking, baking or frying), popping, soaking, germination, fermentation, extrusion and expansion). Extraction of proteins from pseudocereals can be carried out by chemical, physical and enzymatic processes. Modification of pseudocereal proteins provides new opportunities for the development of innovative food and non-food protein products, which meet the specific requirements of product formulations

Keywords: Pseudocereals, Seed Processing, Technological Operations, Protein Extraction, Protein Modification