



UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA ŽIVILSTVO

Luka TRAGIN

**KISLA SIROTKA: OD ODPADKA DO DRAGOCENE
SUROVINE ZA ŽIVILA IN PREHRANSKA
DOPOLNILA**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij - 1. stopnja Živilstvo in prehrana

Ljubljana, 2018

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA ŽIVILSTVO

Luka TRAGIN

**KISLA SIROTKA: OD ODPADKA DO DRAGOCENE SUROVINE ZA
ŽIVILA IN PREHRANSKA DOPOLNILA**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij - 1. stopnja Živilstvo in prehrana

**ACID WHEY: FROM WASTE TO A VALUABLE RAW MATERIAL
FOR FOODS AND FOOD SUPPLEMENTS**

B. SC. THESIS

Academic Study Programmes: Field Food Science and Nutrition

Ljubljana, 2018

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študijskega programa 1. stopnje Živilstvo in prehrana.

Komisija za študij 1. in 2. stopnje Oddelka za živilstvo je za mentorico diplomskega dela imenovala znan. svet. dr. Bojano Bogovič Matijašič in za recenzenta prof. dr. Blaža Cigića.

Mentorica: znan. svet. dr. Bojana BOGOVIČ MATIJAŠIĆ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Recenzent: prof. dr. Blaž CIGIĆ
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Mentorica:

Recenzent:

Datum zagovora:

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

- ŠD Du1
DK UDK 637.344:641.1(093)=163.6
KG kislina sirotka, kemijska sestava, minerali, mlečna kislina, beljakovine, funkcionalna živila, predelava sirotke, kromatografija, membranske tehnike, stranski produkt
AV TRAGIN, Luka
SA BOGOVIČ MATIJAŠIČ, Bojana (mentorica), CIGIČ, Blaž (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo
LI 2018
IN KISLA SIROTKA: OD ODPADKA DO DRAGOCENE SUROVINE ZA ŽIVILA IN PREHRANSKA DOPOLNILA
TD Diplomsko delo (Univerzitetni študij - 1. stopnja Živilstvo in prehrana)
OP VI, 20 str., 3 pregl., 1 sl., 20 virov
IJ sl
JI sl/en
AI Sirotka je rumeno zelena tekočina, ki je stranski produkt mlekarne industrije. Poznamo sladko sirotko, ki nastane pri proizvodnji sira, ter kislino sirotko, ki je največ nastane pri proizvodnji grškega tipa jogurta in skute. Slednja vsebuje manjši delež beljakovin in laktoze ter ima nizek pH, zato jo v veliki meri uporabljajo za gnojenje in hrano za živali ali pa konča kot odpadek. To pa povzroča proizvajalcem dodatne stroške ali pa vodi v onesnaževanje okolja, kadar je neprimerno zavržena. Zaradi višje vsebnosti mineralov in kislosti ni priporočljivo dodajanje h krmi v preveliki meri. Zaradi mineralov ter mlečne kisline jo je tudi težje predelati, razen tega pa je proces finančno zahtevnejši. Razvoj tehnologije je omogočil nove separacijske tehnike, ki so uporabne pri predelavi kisle sirotke, ki sicer vsebuje veliko dragocenih in biološko aktivnih sestavin. Prvi korak pri predelavi je običajno nevtralizacija oziroma odstranitev mlečne kisline. S tem dobimo surovino, ki jo lahko naprej uporabimo podobno kot sladko sirotko. Najuporabnejše metode temeljijo na membranskih tehnikah ter kromatografiji. Z novimi tehnikami je mogoče pridobiti posamezne sestavine, ki so uporabne v mlekarstvu, mesni in pekarski industriji ali pa v proizvodnji prehranskih dopolnil. Z vidika mlekarne je potrebno najprej ovrednotiti procese predelave z ekonomskega vidika in najti pravo razmerje med ekonomsko računico in izkoristkom.

KEY WORDS DOCUMENTATION

- ND Du1
- DC UDC 637.344:641.1(093)=163.6
- CX acid whey, chemical composition, minerals, lactic acid, proteins, functional food, whey processing, chromatography, membrane techniques, side product
- AU TRAGIN, Luka
- AA BOGOVIČ MATIJAŠIĆ, Bojana (supervisor), CIGIĆ, Blaž (reviewer)
- PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Food Science and Technology
- PY 2018
- TI ACID WHEY: FROM WASTE TO A VALUABLE RAW MATERIAL FOR FOODS AND FOOD SUPPLEMENTS
- DT B. Sc. Thesis (Academic Study Programmes: Field Food Science and Nutrition)
- NO VI, 20 p., 3 tab., 1 fig., 20 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB Whey is a yellow-green liquid which is a side product of dairy industry. The sweet whey is a side product of cheese production and the acid whey is a side product in production of Greek type yoghurt- quark and similar products. The latter has less protein and lactose and lower pH, for this reason it is often used as a fertilizer and feed for animals or treated as waste product. This contributes to higher costs or leads even to environmental pollution, when treated inappropriately. Due to higher mineral content and acidity it is not recommended to be included into animal nutrition in large quantities in fodder. Mineral content and lactic acid presence is the reason why it is harder to process it and it also requires more finances. Advances in technology and new knowledge lead to new separation techniques which have a great effect on processing of acid whey which still contains valuable and biologically active components. The first step in this process is the neutralization or removal of the lactic acid. This results in a raw material which can be used in the similar way as sweet whey. The most useful methods are based on membrane techniques and chromatography. With new techniques we can acquire single components which can be later used in dairy, meat and baking industry or in the dietary supplements production. From the viewpoint of dairy industry it is important to evaluate the process from the economic perspective and find a fine line between economic calculation and efficiency.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK	VI
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	VII
1 UVOD	1
2 SESTAVA KISLE SIROTKE	2
2.1 LAKTOZA	2
2.2 MLEČNA KISLINA	3
2.3 BELJAKOVINE V SIROTKI	3
2.3.1 Biološke funkcije sirotkinih beljakovin	4
2.3.1.1 β -laktoglobulin	4
2.3.1.2 α -laktoalbumin	5
2.3.1.3 Imunoglobulini	5
2.3.1.4 Goveji serumski albumin	5
2.3.1.5 Laktoferin	5
2.3.1.6 Laktoperoksidaza	6
3 OBDELAVA KISLE SIROTKE	6
3.1 LOČEVANJE POSAMEZNIH FRAKCIJ	7
3.1.1 Elektrodializa	7
3.1.2 Nanofiltracija	9
3.1.3 Membranska filtracija	9
3.1.4 Toplotna in selektivna precipitacija	9
3.1.5 Ionsko izmenjevalna kromatografija	10
3.2. PRISTOPI ZA PRIDOBIVANJE POMEMBNEJŠIH SESTAVIN SIROTKE	10
3.2.1 Laktoza	10
3.2.2 Beljakovine	11
3.2.3 Minerali	11
4 KISLA SIROTKA KOT SUROVINA	11
4.1 IZKORIŠČANJE TEKOČE KISLE SIROTKE	11
4.2 SUŠENA KISLA SIROTKA	12

4.3 NEVTRALIZIRANA KISLA SIROTKA	12
4.4 KONCETRAT BELJAKOVIN KISLE SIROTKE	12
4.5 IZKORIŠČANJE POSAMEZNIH SESTAVIN SIROTKE ALI SIROTKINI FRAKCIJ	12
4.5.1 Uporaba v mesni industriji	13
4.5.2 Uporaba v pekarstvu in slaščičarstvu	14
4.5.3 Uporaba v mlečnih izdelkih	14
4.5.4 Uporaba v drugih vejah živilske industrije	14
4.6 UPORABA KISLE SIROTKE V NEŽIVILSKI INDUSTRIJI	15
4.7 NOVEJŠE MOŽNOSTI IN RAZISKAVE UPORABE KISLE SIROTKE	15
5 PROBLEMATIKA KISLE SIROTKE	16
6 ZAKLJUČEK	18
7 VIRI	19

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Sestava (g/L) sladke in kisle sirotke (Jelen, 2011).....	2
Preglednica 2: Glavne značilnosti proteinov kisle sirotke (Mollea in sod., 2013).....	4
Preglednica 3: Izrazi, povezani s funkcionalnimi živilni (Mollea in sod., 2013).....	13

KAZALO SLIK

Slika 1: Shema uporabe membranskih tehnik za obdelavo kisle sirotke (Sharma in sod., 2013)	8
---	---

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ACE	Angiotenzin
α -LA	α -laktoalbumin
β -LG	β -laktoglobulin
BSA	Goveji serumski albumin
IG	Imunoglobulin
LF	Laktoferin
LP	Laktoperoksidaza

1 UVOD

V grobem z izrazom sirotka označujemo tekoč stranski produkt, ki nastane pri predelavi mleka. Največ sirotke nastane pri izdelavi sira, med sirjenjem mleka in obdelavo sirne grude. V sire preide približno le 10 % mleka, ostalo se izloči kot sirotka. Številka variira v odvisnosti od tipa sira. Poleg vode, ki je sirotka ima približno 94 %, vsebuje ta še 6 % suhe snovi, v kateri so tudi biološko pomembne in hranljive sestavine. Med sirjenjem najprej izteka motnejša sirotka, kasneje s časom pa vedno bistrejša. Je rumenkasto zelene barve. To barvo ji daje predvsem vitamin B2, ki pa se na svetlobi razkroji. K sami barvi pa prispeva tudi kalcij (Slanovec, 1982).

Kisla sirotka je stranski oziroma odpadni produkt kisle koagulacije mleka. Večje količine kisle sirotke nastanejo predvsem pri izdelavi skute ter grškega tipa jogurta. Medtem ko je sladka sirotka, ki se izloči pri pridelavi sira, kjer poteče encimska koagulacija, po ustrezni obdelavi uporabna za celo vrsto izdelkov (živila z dodano koncentrirano sirotko oziroma s sirotkinimi frakcijami, prehranska dopolnila, izdelki za športno prehrano, organske kisline, laktoza, bioplastika, encimi), pa je uporaba kisle sirotke precej bolj omejena. Ta ima namreč nižji pH, vsebuje manj proteinov in laktoze ter več nekaterih mineralov in mlečno kislino, ki otežuje sušenje. Večina je tako še vedno konča kot odpadni produkt, ki predstavlja breme za okolje in strošek.

V nalogi bodo prikazane možnosti uporabe kisle sirotke in posameznih sestavin v različnih izdelkih. Osredotočili se bomo predvsem na izdelke za prehrano ljudi, med katerimi prednjačijo obogateni mlečni izdelki in prehranska dopolnila. Dotaknili se bomo tudi uporabnosti ter pozitivnih učinkov posameznih beljakovin iz kisle sirotke na človeški organizem.

2 SESTAVA KISLE SIROTKE

Sestava sirotke je odvisna od sestave in kakovosti mleka ter od tehnoloških postopkov. Kisla sirotka vsebuje približno 94 % vode in 6 % suhe snovi. V suhi snovi je med 60 in 70 % laktoze, ki skoraj vsa preide v sirotko. Beljakovin je v suhi snovi med 11 in 14 %, mineralnih snovi, pa med 9 in 12 %. Zelo malo je maščobe, 0,5-1,5 %. V primerjavi s sladko sirotko ima kisla nižjo vsebnost beljakovin, vsebuje pa večje količine mineralnih snovi, predvsem kalcija, ter mlečne kisline (Tsakali in sod., 2010).

Preglednica 1: Sestava (g/L) sladke in kisle sirotke (Jelen, 2011)

Sirotka	Skupna trdna snov	Laktoza	Beljakovine	Kalcij	Fosfati	Laktat	Kloridi
Sladka	63,0 – 70,0	46,0 – 52,0	6,0 – 10,0	0,4 – 0,6	1,0 – 3,0	2,0	1,1
Kisla	63,0 – 70,0	44,0 – 46,0	6,0 – 8,0	6,0 – 8,0	2,0 – 4,5	6,4	1,1

Z ozirom na njihov delež so mineralne snovi v kisli sirotki celo pomembnejše od beljakovin, poleg tega pa so vsebnosti nekaterih pomembnejših mineralov primerljive s tistimi v mleku ali celo višje od njih. Relativno visoka vsebnost teh daje kisli sirotki veliko biološko vrednost. Kalcij pomaga pri izgradnji kosti in zob ter vzdrževanju čvrstosti kostnine. Magnezij ima vpliv pri vzdrževanju normalnega krvnega pritiska, še večjo vlogo pa pri nemotenem delovanju mišic in živčnega sistema. Kalij je ključen pri vzdrževanju krvnega pritiska ter delovanju živčnega sistema in srca. Fosfor pa je, sicer v nekoliko manjši meri kot kalcij, pomemben vir izgradnje zob in kosti.

Delež beljakovin v sladki in kisli sirotki je zelo podoben. Količina prostih aminokislin, tako v sladki kot v kisli sirotki, je odvisna od stopnje hidrolize kazeina med proizvodnjo sira. Prostih aminokislin je v sladki sirotki lahko tudi štirikrat več kot v mleku, v kisli pa kar desetkrat več. Kemijska sestava sirotke se spreminja glede na metode pridobivanja sirotke – kisla sirotka ali sladka sirotka. Sirotka, običajno vsebuje polovični delež sestavin iz mleka, laktoze (~70 %; odvisno od kislosti sirotke), sirotkine proteine (~14 %), minerale ter nekaj maščobe. V kisli sirotki so večje količine kalcija, fosfatov, mlečne kisline in laktata kot v sladki sirotki, kar so tudi glavne razlike. Koloidni kalcij je namreč v kislem bolj topen, zato se pri kisli koagulaciji kazeinov del kalcija raztopi in preide v sirotko. V nasprotju s tem, sladka sirotka poleg sirotkinih proteinov vsebuje še glikomakropeptid, ki nastane pri encimski hidrolizi κ -kazeina (Božanić in sod., 2014).

2.1 LAKTOZA

Laktoza je najpomembnejši sladkor v mleku. Sintetizira se v mlečni žlezi sesalcev. Je disaharid, v katerem glukozo in galaktozo povezuje β -1,4-glikozidna vez. V kravjem mleku delež laktoze ne niha. Je manj sladka od fruktoze in saharoze, zato mleko tudi nima izraženega sladkega okusa. Nahaja se v α - in β - obliki. Kristali prve oblike so trši kot druge. Ta oblika je odvisna od

konfiguracije na C1 ogljikovem atomu glukoze. Ena oblika lahko prehaja v drugo in obratno, čemur rečemo mutarotacija. Nanjo vplivajo temperatura, pH, prisotne soli in prisotnost hidroksidnih ionov. Pri 20 °C je v ravnotežju približno dve tretjini β -izomer in tretjina α -izomer. Najmanjša hitrost mutarotacije je pri pH 5,0, z zmanjšanjem ali povečanjem se tudi intenziteta poveča. To je pomembno tudi za tehnološko obdelavo laktoze. Zaradi razlike v topnosti, β -oblika je bolj topna od α -oblike, lahko pride do težav pri kristalizaciji laktoze (Božanić in sod., 2014).

Laktozo lahko pridobivajo iz sirotke. V kisli je manjši delež laktoze, saj je ta deloma že fermentirana v mlečno kislino. Izkorišča se jo predvsem v živilski industriji, kjer predstavlja vir hrane za mlečnokislinske bakterije, izboljšuje okus in daje izdelkom svežino (Božanić in sod., 2014).

2.2 MLEČNA KISLINA

Količina mlečne kisline v kisli sirotki znaša med 6 in 10 % suhe snovi, kar je tri- do štirikrat več kot v sladki sirotki. Nastane pri fermentaciji laktoze z mlečnokislinskimi bakterijami, ki izkoriščajo laktozo za energijo (Božanić in sod., 2014).

Mlečna kislina se lahko tvori tudi v telesu, v mišičnih celicah, kot produkt metabolizma glukoze. Mlečna kislina spodbuja delovanje mišic, srca in možganov. Mišicam zagotavlja hiter vir energije. Deluje ugodno na mišično utrujenost. Intenzivnejša kot je vadba, več mlečne kisline porablja srce. Jetra porabljajo mlečno kislino za proizvodnjo glikogena, rezerve energije. Tudi možgani za svoje delovanje raje porabljajo mlečno kislino kot glukozo (Gladden, 2008).

2.3 BELJAKOVINE V SIROTKI

V sirotki najdemo le serumske beljakovine, ki jih je v mleku le okoli 20 %, ostalih 80 % pa predstavljajo kazeini, ki koagulirajo pod vplivom sirišča. Glavne komponente sirotkinih beljakovin so β -laktoglobulin, ki predstavlja polovični delež vseh, α -laktoalbumin, ki predstavlja 20 % sirotkinih proteinov, ter goveji serumski albumin in imunoglobulini, ki predstavljajo po 10 % delež. Poleg teh, vsebuje sirotka še nekaj proteinov v manjših deležih, med katerimi sta najbolj funkcionalno pomembna laktoferin in laktoperoksidaza (Mollea in sod., 2013).

Preglednica 2: Glavne značilnosti proteinov kisle sirotke (Mollea in sod., 2013)

Beljakovina	Molska masa (kg/mol)	Izoelektrična točka	Število aminokislin
β -laktoglobulin	18	5,4	162
α -laktoalbumin	14	4,4	123
Imunoglobulin G	150	Variabilna, med 5 in 8	Variabilno število AK
goveji serumski albumin	66	5,1	582
laktoferin	77	7,9	700
laktoperoksidaza	78	9,6	612

2.3.1 Biološke funkcije sirotkinih beljakovin

Sirotka predstavlja bogato mešanico beljakovin z raznolikimi kemijskimi, fizikalnimi in funkcionalnimi lastnostmi. S svojimi zmožnostmi vezanja kovin, vplivom na imunski in na prebavni sistem imajo pomemben pomen v prehrani. Vsebujejo tudi razvejane esencialne aminokislino, levcin, izolevcin in valin, ki igrajo pomembno vlogo pri metabolizmu glukoze in lipidov. Ko se po zaužitju ti proteini delno prebavijo, služijo kot vir bioaktivnih peptidov z vrsto aktivnosti. Bioaktivne komponente delujejo na kosti, mišice, kri, možgane, črevesje, metabolizem ali/ter tudi preventivno proti rakavim celicam (Mollea in sod., 2013).

Pri tem je pomembno, da imajo posamezni proteini, ki jih osamimo iz mešanice, večjo funkcionalno vrednost kot mešanica vseh. Tako izolacija posameznih proteinov omogoča širši nabor uporabe, saj ima vsak posamezen protein edinstvene lastnosti (Božanič in sod., 2014).

2.3.1.1 β -laktoglobulin

Endogeni vpliv β -laktoglobulina (β -LG) na človeški sistem ni popolnoma znan, jasno pa je, da je dober vir aminokislin, ki spodbujajo rast mišic. Vsebujejo veliko cisteina, ki je pomemben pri sintezi glutationa, enega najpomembnejših antioksidantov. Ta ima v našem telesu veliko učinkov, med drugimi: obnavlja imunski sistem, preprečuje poškodbo celic, upočasnjuje oksidacijo lipidov, preprečuje diabetes, odpravlja degeneracijo očesne rumene pege. β -LG sodeluje pri prebavi mlečnih maščob pri novorojenčkih, s tem da se veže na proste maščobne kisline in tako olajša prebavo mlečne maščobe. Struktura β -LG omogoča vezavo hidrofobnih ligandov. V večji meri so to dolgoverižne maščobne kisline, trigliceridi, retinoidi, holesterol, v manjši meri pa molekule ogljikovodikov (Mollea in sod., 2013).

β -laktoglobulin je tudi vir krajših peptidov z različnimi funkcijami (Mollea in sod., 2013):

- Laktokinini: so inhibitorji encimov, ki pretvarjajo angiotenzin (ACE) ter predstavljajo potencialno funkcionalno sestavino za živila, za preprečevanje/ozziroma zdravljenje visokega krvnega pritiska.
- β -laktorfin: ACE inhibitorji, izboljšajo vaskularno relaksacijo, lahko modulirajo absorpcijske procese v prebavnem traktu.
- β -laktotensin: ligand za receptorje nevrotenzina, deluje protistresno, pomaga pri premagovanju straha, zmanjšuje občutljivost na boleče dražljaje, pod pogojem da je zaužit parenteralno, znižuje holesterol v krvi.

2.3.1.2 α -laktoalbumin

α -laktoalbumin (α -LA) in pa njegovi peptidi so kot vir aminokislin dobri za izboljšanje imunskega sistema, zmanjšanje stresa, za opioidno aktivnost, preprečujejo visok krvni tlak, sodelujejo pri rasti celic. Protein je citotoksičen, zato se ga izkorišča v terapevtske namene, saj ščiti sluznico pred poškodbami. Ima tudi baktericidno in antitumorsko delovanje. Je bogat vir esencialnih aminokislin lizina in cisteina, zlasti pa triptofana. Prav visoka vsebnost le tega daje α -LA visoko prehransko vrednost. Poleg tega pa še pomaga izboljšati razpoloženje, spanec ter miselne sposobnosti. Na drugi strani pa vsebnost cisteina vpliva na izboljšanje imunskega sistema in na hitrejše celjenje ran. Med prebavo proteina nastanejo nekateri polipeptidi z baktericidnimi lastnostmi, uporabni predvsem proti po Gram-u pozitivnim bakterijam (Mollea in sod., 2013).

α -laktoalbumin je tudi vir krajših peptidov, med katerimi je najpomembnejši α -laktorfīn. Njegova aktivnost je podobna vplivu morfija, vpliva pa tudi v smeri zmanjšanja krvnega tlaka (Królczyk in sod., 2016).

2.3.1.3 Imunoglobulini

Ta skupina sirotkinih proteinov ima pomembno vlogo pri delovanju imunskega sistema. Bogato so zastopani v kolostrumu, kjer predstavljajo zaščito za dojenčka oziroma živalskega mladiča.

Poleg omenjenega delovanja kot protitelesa, lahko igrajo tudi druge pomembne vloge v človeškem prebavnem traktu. Na primer, zaužiti ekstrahirani imunoglobulini (IG) se med prebavo vežejo na holesterol in preprečujejo transport tega v kri. Druge dobro znane lastnosti IG so še, da znižujejo krvni tlak, delujejo v obrambi pred boleznimi, bakterijami in virusi. Protimikrobno in protivirusno aktivnost IG, -v mleku oziroma v sirotki iz takega mleka, proti določenemu virusu, - se lahko poveča z imuniziranjem krav s patogenim genom ali antigenom. Prav tako lahko s postopnim dodajanjem antigenov v prehrano krav povečamo število protiteles ter še povečamo odpornost proti boleznim (Mollea in sod., 2013).

2.3.1.4 Goveji serumski albumin

Goveji serumski albumin (BSA) ima sposobnosti, da zavira rast tumorja. Sposoben je nase vezati maščobne kisline, ki se nahajajo v telesu v obliki maščobnih zalog. Deluje antioksidativno, obvaruje lipide pred fenol oksidazo. Je vir esencialnih aminokislin. Biološka funkcija peptida seropina je opioidna aktivnost, medtem ko je peptid albutenzin A inhibitor ACE ter ima vlogo pri kontrakciji in relaksaciji *ileuma* (Mollea in sod., 2013).

2.3.1.5 Laktoferin

Laktoferin (LF) ima veliko vlogo pri metabolizmu in absorpciji železa. Pri dojenčkih vpliva na absorpcijo železa v črevesju glede na potrebe organizma. Je del prirojenega imunskega sistema ter nekaterih specifičnih imunskih reakcij. LF predstavlja eno prvih zaščit obrambe imunskega sistema proti mikroorganizmom. Laktoferin ima sposobnost vezave prostih železovih ionov, kar mu daje izjemno bakteriostatsko delovanje, saj je železo nujno za rast bakterij. Po drugi

strani, pa lahko deluje tudi kot prinašalec železovih ionov in s tem spodbuja rast bakterij, ki imajo manjšo zahtevo po železu. Kakor so na primer predstavnice rodov *Lactobacillus* in *Bifidobacterium*. Med drugim imata ta rodova tudi ugoden vpliv na človeški organizem. Razen z odvzemanjem železa, deluje baktericidno tudi preko drugih mehanizmov. Ima obrambno delovanje pred invazijami fakultativnih intracelularnih bakterij, kot je na primer *E. coli*. Proti virusno delovanje LF temelji na sposobnosti vezave na glukozaminogluksane v celičnih membranah. S tem je virusu onemogočen vstop v celico. Lahko veže nekatere viruse, povezane z DNA. S tem, ko se LF veže na določene receptorje na celični steni izkazuje protivnetno delovanje in pri tem obvaruje tkivo pred sproščenimi citokini. Skrbi za aktivacijo celic imunskega sistema ter zaustavlja rast karcinogenih celic mlečne žleze. Omenjen je tudi v povezavi z rastnimi faktorji, saj deluje na nekatere epitelne celice v črevesju. LF pospešuje delovanje osteoklastov, zato lahko podpira zdravljenje ter preprečevanje osteoporoze (Mollea in sod., 2013).

2.3.1.6 Laktoperoksidaza

Laktoperoksidaza (LP) je encim, ki se nahaja v izločkih sesalcev-solzah, slini in mleku. LP sistem pa je sistem, ki poleg encima vsebuje še substrat, v mleku je to tiocianatni ion. V povezavi z LP sistemom ima močno protimikrobno delovanje, predvsem proti bakterijam, glivam in virusom. Sistem zavira rast skoraj vseh mikroorganizmov, ne more pa jih uničiti. LP veliko uporabljajo v kozmetiki, v prehranskih dopolnilih ter v medicini. Zaradi varnosti in širokega spektra delovanja je pomembna v mlečni industriji, pri zagotavljanju mikrobiološke varnosti mlečnih izdelkov (siri, jogurti). Izkazuje virucidno delovanje proti virusu HIV-1 (Mollea in sod., 2013).

3 OBDELAVA KISLE SIROTKE

Za uporabo kisle sirotke kot surovine-, so pomembni začetni koraki obdelave. Ti pa so podobni kot pri obdelavi sladke sirotke. Kislo sirotko pridobljeno pri skuti, je najprej potrebno prefiltrirati skozi sito, da izločimo večje delce. Pri procesiranju kisle sirotke iz grškega jogurta ta korak ni potreben. Čimprej je potrebno sirotko toplotno obdelati pri 72-75 °C za 15-20 sekund. Kratka pasterizacija stabilizira kislo sirotko, s tem da inaktiviramo morebitne encime sirišča, reduciramo aktivnost starterskih kultur ter eliminiramo patogene. Prav tako kot segrevanje je pomembno tudi hlajenje. Sirotka se mora ohladiti na temperaturo nižjo od 6 °C čimprej. Tako je sirotka pripravljena na skladiščenje v tankih in nadaljnjo uporabo.

Najpogostejša obdelava sladke sirotke je še zmeraj sušenje, s čimer dobimo sirotkin prah. V primeru kisle sirotke je neposredno sušenje oteženo predvsem zaradi mlečne kisline, ki jo vsebuje. Višja vsebnost mlečne kisline povzroči slabši izkoristek pri sušenju. Proteini so namreč bolj dovzetni za vlago zaradi higroskopne narave laktatnih ionov, kar vodi do nastajanja lepljivih delcev. Za nadaljnjo rokovanje je seveda to nesprejemljivo. Sprejemljivo je, če se odstrani do 80 % mlečne kisline iz kisle sirotke, da dobimo primerljivo vsebnost s sladko sirotko. Pomembno pa je tudi razmerje med mlečno kislino in laktozo. Zato je nujno, da se pred

morebitnim sušenjem mlečna kislina odstrani oziroma reducira. Nevtralizacija mlečne kisline ni najbolj primerna, saj privede do grenkega okusa. Kot najbolj zanesljiva metoda izolacije mlečne kisline iz kisle sirotke se je pokazala elektrodializa. S tem lahko pridobimo večje količine mlečne kisline iz fermentacijske brozge, vendar je osnovni namen odstranitev laktata iz raztopine sirotke (Chen in sod., 2016).

Demineralizacija kisle sirotke z nanofiltracijo lahko za 30 do 60 % zmanjša vsebnost mlečne kisline, kar že izboljša sušenje in kvaliteto kisle sirotke (Shuck in sod., 2017).

Z različnimi separacijskimi postopki lahko ločimo posamezne frakcije sirotke, ki jih sušimo oziroma drugače obdelujemo. Za separacijo uporabljajo filtracijo (ultrafiltracija, mikrofiltracija), kromatografske metode, elektrodializo in druge. Dobljene frakcije se ločijo predvsem po vsebnosti beljakovin ter laktoze. Med bolj cenjene frakcije spada izolat sirotkinih proteinov, ki vsebuje več kot 90 % beljakovin in malo primesi. Iz permeata v prahu lahko pridobivamo laktozo, mlečno kislino ali bioetanol (Božanić in sod., 2014). Po odstranitvi mlečne kisline lahko s kisló sirotko postopamo po istih korakih kot s sladko sirotko in pri tem dobimo kakovostno primerljive beljakovine in laktozo.

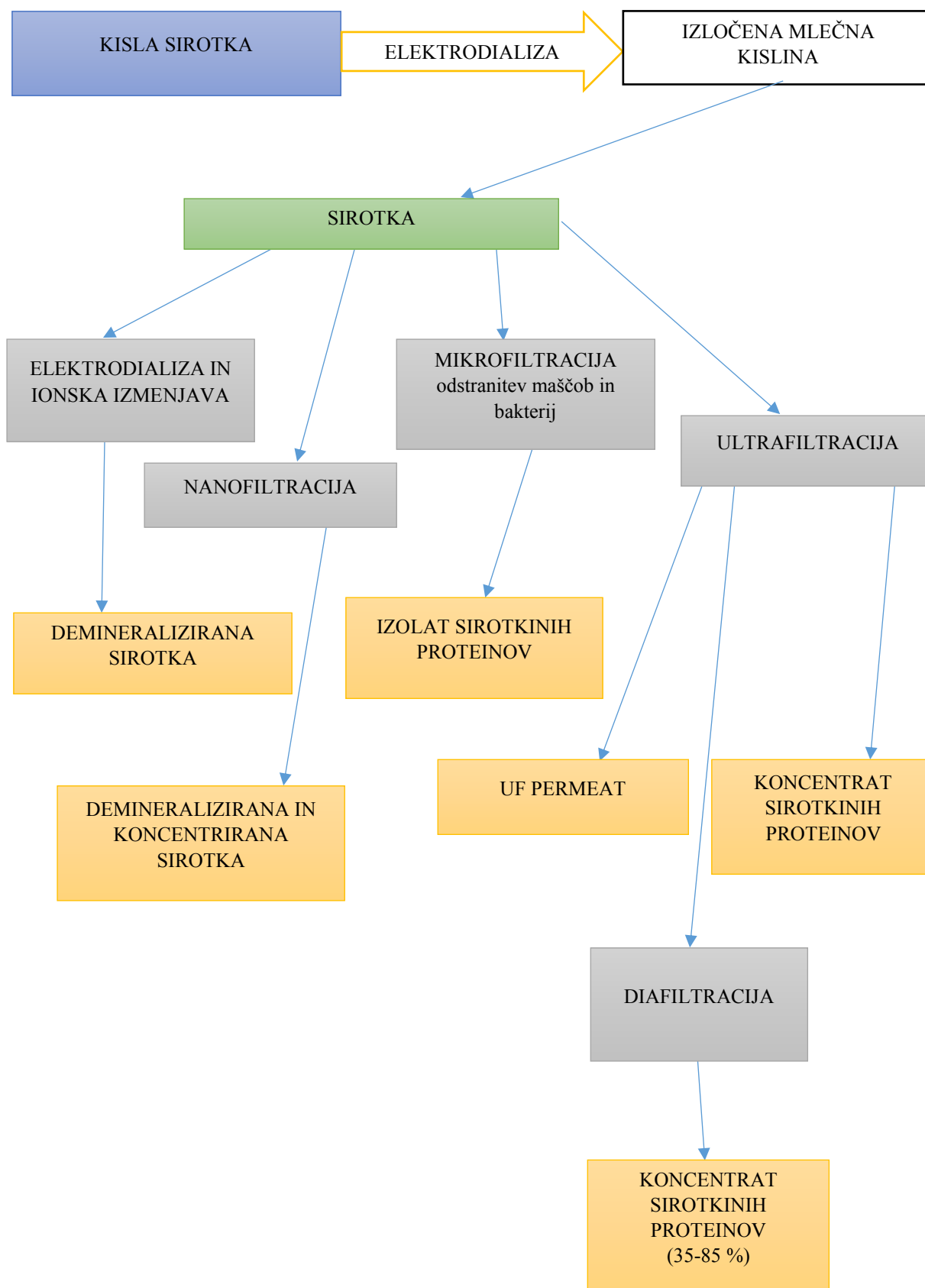
3.1 LOČEVANJE POSAMEZNIH FRAKCIJ

Za obdelavo kisle sirotke, ki omogoča pridobivanje čistih sestavin ali frakcij z več sestavinami, uporabljajo membranske tehnike (ultrafiltracija, mikrofiltracija), kromatografske metode, elektrodializo in druge...

3.1.1 Elektrodializa

Elektrodializa je napredna membranska separacijska tehnika. Temelji na elektrokemijskih zakonih gibanja ionov pod vplivom napetosti enosmernega električnega toka v električnem polju. Enostavneje, gre za difuzijo skozi membrano s pomočjo električnega toka. Ioni se gibljejo med polprepustnima membranama, katodo in anodo.

Mlečna kislina je šibka kislina, kar pomeni da lahko disociira v konjugirano bazo in tako preide membrano. Medtem ko laktoza ostane v raztopini, pa skupaj z mlečno kislino prečkajo membrano še drugi ioni, ki pa lahko otežujejo proces. S tem dobimo delno demineralizirano kisló sirotko. Odstranitev laktatnih ionov je hitrejša pri višji temperaturi, saj je odpornost membran nižja (Chen in sod, 2016).



Slika 1: Shema uporabe membranskih tehnik za obdelavo kisle sirotke (Sharma in sod., 2013)

3.1.2 Nanofiltracija

S tem pristopom lahko povečamo količino laktoze v suhi snovi iz začetnih 55-65 % na do 80 %, kar je primerljivo z količino v sladki sirotki. Metoda temelji na zmanjšanju ter reduciranju soli, galaktoze ter mlečne kisline. Tako predelana sirotka se lahko uporablja kot sladilo. Nanofiltracija se uporablja tudi za delno odstranjevanje mineralov iz sirotke (Shuck in sod., 2017)

3.1.3 Membranska filtracija

Membransko filtracijo pogosto uporabljajo pri koncentriranju vseh sirotkinih proteinov. Tradicionalno se je uporabljala le za ločevanje komponent na osnovi različnih molskih mas. Tako da je včasih bilo mogoče ločiti le tiste proteine med sabo, katerih molska masa se močneje razlikuje, na primer α -laktoalbumin in imunoglobulin. Dandanes je možno doseči ločitev proteinov z majhno ali celo ničelno razliko v molski masi, s pomočjo ustrezne pH raztopine ter ionsko jakostjo. Elektrostatično napetost membrane lahko povečajo ali zmanjšajo s pomočjo pH raztopine in tako preprečujejo prehod določenih snovi skozi membrano. Separacija je okrepljena pri delu okoli izoelektrične točke manjšega proteina ter čim dlje od izoelektrične točke večjega proteina. Nizke koncentracije soli povečajo nepropustnost membrane. Pri taki filtraciji dobimo α -LA in β -LG v permeatu, ter BSA, imunoglobuline in laktoferin v retentatu (Mollea in sod., 2013)

3.1.4 Toplotna in selektivna precipitacija

Pod določenimi pogoji, - pH in ionske jakosti, lahko ločimo proteine s pomočjo toplote. Ti so namreč toplotno občutljivi. Uporablja se v proizvodnji laktoalbuminov. Za produkcijo se sirotko segreva da pride do koagulacije in nato centrifugira, ter odstrani presežek soli in laktoze. Pred sušenjem in kasneje pakiranjem se še centrifugira. S toploto se poveča tudi denaturacija proteinov in slabša kvaliteta končnega produkta. Zaradi tega se tako pridobljene laktoalbumine dodaja produktom kjer vsebnost beljakovin pomembna, ne pa funkcionalna (Tsakali in sod, 2010).

Selektivno precipitacijo dosežejo z uporabo ustreznega pH ter temperature. Medtem ko se β -laktoglobulin pri visokih temperaturah, 70-120 °C, in pri pH 8 hitro obori, se α -laktoalbumin bolje obori pri bolj kislem pH, 3,5-5,5, in nižjih temperaturah, 50-65 °C. Drugega navadno spremlja tudi obarjanje BSA, IG ter LF, β -laktoglobulin pa ostane topen. Sta pa to izjemno zapleteni, dragi, slabo občutljivi metodi, kjer zaradi toplote, pH in morebitne uporabe soli lahko pride do denaturacije proteinov (Mollea in sod., 2013).

3.1.5 Ionsko izmenjevalna kromatografija

Separacija poteka z izmenjavo nasprotno nabitih ionov med tarčnim proteinom in funkcionalno skupino stacionarne faze na membrani. Separacija temelji na izoelektričnih točkah proteinov. Večji β -laktoglobulin, α -laktoalbumin in BSA so bolj negativno nabiti proteini, medtem pa imata laktoferin in laktoperoksidaza bolj pozitiven neto naboj. Tako gresta LF in LP na negativno nabite delce. Pri stalnem pH so ostali proteini pozitivni zato se ne vežejo. LF in LP se sprostijo s kolone z elucijo z alkalno raztopino. Na koncu je treba frakcijo še sprati in posušiti (Tsakali in sod., 2010).

Poleg opisanih so za izolacijo proteinov iz sirotke razvili tudi druge pristope za pridobivanje različnih frakcij beljakovin. Med naprednejše tehnologije se uvrščajo kratke monolitne kromatografske kolone, ki omogočajo hitrejšo separacijo, saj omogočajo konvekcijski tok skozi kolone, kjer transport do ligandov ni omejen z difuzijo.

β -laktoglobulin so iz kisle sirotke uspešno pridobili tudi s hidroksiapatitno kromatografijo z natrijevim fluoridom. Po tem postopku je bila čistost β -LG najmanj 96 %, če je bila vhodna surovina kakovostno mleko (Schlatterer in sod., 2004).

3.2 PRISTOPI ZA PRIDOBIVANJE POMEMBNEJŠIH SESTAVIN SIROTKE

3.2.1 Laktoza

Klasično so mlečni sladkor pridobivali s kristalizacijo sirotke. Beljakovine in soli so odstranili bodisi pred ali pa po kristalizaciji. V primeru predhodnega odstranjanja beljakovin je izolacija manj zapletena. Drugi modernejši načini pridobivanja laktoze iz sirotke so reverzna osmoza, ionska izmenjava ter ultrafiltracija (Božanić in sod., 2014; Mollea in sod., 2013).

Laktozo lahko tudi hidroliziramo, cepitev β -1,4-glikozidne vezi in razpad na glukozo in galaktozo. Posledica tega je večja sladkost ter varnost pred morebitno kristalizacijo laktoze v nadaljnji uporabi. Hidroliziramo jo lahko s kislom hidrolizo - obdelavo s kislinami pri visokih temperaturah. Predtem moramo v sirotki izločiti beljakovine, saj lahko kasneje pride do izkosmičenja teh. Delež tako hidrolizirane laktoze v permeatu naj bi bil približno 80 %. Druga možnost je encimska hidroliza, ki poteče z uporabo encima β -galaktozidaza, ki se ga pridobiva iz kvasovk in plesni. Industrijsko poteka pri nizkih temperaturah, 2-8 °C, zato da se omeji rast mikrobov. Sušenje hidrolizirane laktoze je oteženo. Laktozo v sirotki lahko izkoriščamo tudi s fermentacijo da dobimo produkte kot so bioplin, biomasa ter etanol (Tsakali in sod., 2010).

Z uporabo encimskih metod lahko pretvorijo laktozo ali galaktozo v topno vlaknino, galakto-oligosaharide. Ti spadajo med prebiotike. Uporabni so kot dodatek vsem vrstam kosmičev, pecivu, prigrizkom, omakam, ter raznim sadnim ploščicam. Lahko se jih uporablja tudi kot

dodatek hrani za otroke ali odrasle, saj pozitivno vplivajo na rast in aktivnost koristnih bakterij v črevesju (Erickson, 2017).

3.2.2 Beljakovine

Najpogosteje se beljakovine še zmeraj pridobiva s sušenjem. Po ultrafiltraciji z uporabo sušenja dobimo koncentrat sirotkinih beljakovin, po mikrofiltraciji in demineralizaciji z uporabo sušenja dobimo izolat sirotkinih proteinov. Tu so, z različnim deležem, skoncentrirani vsi proteini, zraven pa še morebitne druge primesi. Z novimi metodami in odkritji pa je vse bolj cenjena izolacija posameznih beljakovin, saj imajo te visoko biološko in prehransko vrednost ter ugoden vpliv na človeški organizem, kar jih označuje za funkcionalne beljakovine. Med te spadajo predvsem laktoferin, laktoperoksidaza in imunoglobulini, v nekoliko manjši meri tudi β -laktoglobulin in α -laktoalbumin. Iz tekoče sirotke jih je mogoče izolirati z membransko filtracijo, afinitetno in kationsko izmenjevalne kromatografije (Božanić in sod., 2014).

Ločevanje različnih proteinskih frakcij je odvisno od pH, temperature, delovanja topil ter tlaka pri katerem se proces izvaja. Spremembe naravne strukture pomenijo tudi izgubo osnovnih funkcij, zato se vlaga v razvoj učinkovitih tehnik separacije in čiščenja, kjer ne bi prišlo do denaturacije in izgube funkcij. Obratno, z učinkovito separacijo lahko izboljšamo prehranske lastnosti posameznih beljakovin. Te separacijske tehnike izkoriščajo razliko v molski masi, koncentraciji in izoelektrični točki proteinov (Mollea in sod, 2013).

3.2.3 Minerali

Kisla sirotka vsebuje večjo količino mineralov, kar lahko predstavlja omejevalni faktor pri uživanju sirotke, ker obremenjujejo organizem ali celo povzročijo funkcionalne poškodbe. Poleg tega, mineralne snovi v kisli sirotki, predvsem visoka vsebnost kalcija, motijo nadaljnje procese obdelave kisle sirotke, zato je za določene proizvode potrebna demineralizacija. Takšni so na primer izdelki za otroško hrano ali hrano za posebne zdravstvene namene. Delna demineralizacija poteka z nanofiltracijo, popolna demineralizacija pa z ionsko izmenjavo in elektrodializo.

Omenili smo že da mlečna kislina ovira sušenje kisle sirotke. Je pa to še huje ko pride do interakcij med mlečno kislino ter kalcijem, ko nastane kalcijev laktat. Poleg kalcija, imajo negativno vlogo pri zgoščevanju ter sušenju tudi fosfati (Mimouni in sod., 2007).

4 KISLA SIROTKA KOT SUROVINA

4.1 IZKORIŠČANJE TEKOČE KISLE SIROTKE

Poraba tekoče neobdelane kisle sirotke, kljub ugodni sestavi, ni najbolj razširjena. Večina se je porabi za krmljenje živali. Prevelike količine mineralov sicer omejujejo to uporabo, saj lahko

prinese več škode kot koristi. Drugače pa se manjše količine neobdelane kisle sirotke lahko uporabi pri pripravi hrane kot dodatek oziroma za delno nadomeščanje mleka ali vode, na primer pri peki palačink.

4.2 SUŠENA KISLA SIROTKA

Zaradi oteženega sušenja je ta metoda manj uporabna. Vendar s predhodno obdelavo kisle sirotke, lahko po sušenju pridobimo primeren izdelek, ki pa se največ uporablja za živino. Zaradi visoke vsebnosti hranil, pa jo lahko uporabimo tudi kot aditiv v slaščičarski, pekarski, mlečni in mesni industriji, v hrani za dojenčke ter pri izdelavi napitkov, omak, raznih krem ter nadevov. Izdelkom izboljšujejo senzorično in aromatsko vrednost, dajejo stabilnost, izboljšajo strukturo ter omogočajo boljšo vezavo vode (Božanić in sod., 2014).

4.3 NEVTRALIZIRANA KISLA SIROTKA

Z predhodno nevtralizacijo kisle sirotke se ta lahko uporabi kot sladilo ali pa z minerali, predvsem kalcijem in fosforjem bogat dodatek hrani. Nevtralizacija lahko poteka z različnimi substancami, kot sta na primer kalijev hidroksid ali natrijev bikarbonat, ob tem pa je potrebno vrednost pH dvigniti vsaj na 6.0. Z odstranitvijo vode z evaporacijo ali reverzno osmozo pridobijo koncentrat sirotke v prahu, ki vsebuje relativno veliko kalcija ter fosforja. Koncentrat je lahko uporabljen kot mineralni dodatek ali kot sladilo za živila. Nevtralizirana kislina sirotka lahko zamenja sladko sirotko v veliko živilih, saj ni bistvene senzorične razlike med obema. Med drugim imata tudi zelo podobno barvo ter motnost (Watson, 2014).

4.4 KONCENTRAT BELJAKOVIN KISLE SIROTKE

Koncentrat beljakovin kisle sirotke se kot tak uporablja predvsem v športni prehrani kot prehransko dopolnilo. Odlikuje ga višja vsebnost levcina, cisteina in triptofana ter drugačna beljakovinska sestava, pri čemer prednjači višja vsebnost laktoferina. Prav višja vsebnost omenjenih aminokislin daje koncentratu boljšo absorpcijo in izkoristljivost.

4.5 IZKORIŠČANJE POSAMEZNIH SESTAVIN SIROTKE ALI SIROTKINIH FRAKCIJ

Z razvojem in uporabo novih separacijskih tehnik, lahko iz kisle sirotke izločimo različne uporabne komponente, kot so posamezni proteini, kalcij, ki ga uporabijo za prehranska dopolnila ali dodajajo sokovom in drugim živilom, peptide, ki jih vključujejo v prehranska dopolnila namenjena povečanju mišične mase, pa tudi v izdelkih za nego kože, ter mlečno kislino, ki je uporabna v živilski industriji.

Beljakovine kisle sirotke imajo veliko prehransko in funkcionalno vrednosti, zaradi visoke vsebnosti esencialnih aminokislin, predvsem tistih, ki vsebujejo žveplo. Zaradi dobrega izkoristka so to visoko kakovostne beljakovine, primerljive z jajčnim albuminom. Proteini

sirotke so dobro topni in absorbenti vode. Uporabni so kot želirna sredstva ter pri izdelavi emulzij. V živilski industriji so vsestransko uporabni ter predstavljajo pomembno sestavino funkcionalnih živil (Mollea in sod., 2013).

Funkcionalna živila so tista živila, za katera je dokazano, da koristno vplivajo na funkcije v telesu. Lahko izboljšajo zdravje in počutje-, ali pa delujejo preventivno pred boleznimi. Vse hitrejši slog življenja in zavedanje pomembnosti prehrane, pa tudi vse več dokazov o njihovi učinkovitosti so glavni razlogi za povečanje uporabe. Funkcionalna živila so naravna, živila, ki jim je bila odvzeta ali dodana sestavina ali pa živila katerih sestava je bila modificirana.

Preglednica 3: Izrazi, povezani s funkcionalnimi živilami (Mollea in sod., 2013)

	Razlaga
Bioaktivne komponente	Kemijske komponente, pridobljene iz rastlin, živali ali morskih virov, ki jih lahko izkoristimo v korist zdravja.
Prehransko dopolnilo	Dodatki prehrani z aktivnimi snovmi, ki so običajno v obliki tablet, kapsul, praškov ali v tekoči obliki. Niso nadomestilo za celoten obrok.
Funkcionalne sestavine	Pripravki, frakcije ali ekstrakti, ki vsebujejo različne bioaktivne komponente in jih uporabljamo v prehrani.
Živila za posebne zdravstvene namene	Pripravljena na poseben način ali imajo posebno sestavo in so namenjena bolnikom, katerih stanje zahteva nadzorovano prehrano ter se uživajo pod zdravstvenim nadzorom.
Naravna zdravila	Razni pripravki, v tradicionalni medicini, ki vsebujejo minerale, vitamine, aminokislino, esencialne maščobne kisline ali ostale rastlinske in živalske sestavine. Uporabljajo jih za diagnosticiranje, zdravljenje in preprečevanje bolezni ter za ohranjanje zdravja.
Nutraceutiki	Substance, ki izhajajo iz hrane imajo pozitivne učinke na zdravje, preventivno in kurativno. Naprodaj so kot živilski izdelki ali izdelki v obliki tablet, kapsul ali v tekoči obliki.

4.5.1 Uporaba v mesni industriji

Uporaba v mesni industriji je večinoma omejena na različne proteinske koncentrate in na demineralizirano sirotko. V večji meri je uporaba skoncentrirana na mesne izdelke, kot so hrenovke, klobase ter mortadela, pri katerih lahko delno zamenjajo proteine mesa.

Uporaba proteinov kisle sirotke vpliva na:

- sposobnost vezave vode, kar preprečuje izgubo mase med toplotno obdelavo izdelka, povečuje sočnost končnega izdelka ter lajša rezanje hladnih izdelkov,
- viskoznost, kar posledično vpliva na boljše okušanje izdelkov,
- boljšo topnost v širokem spektru pH,
- na tvorbo stabilne emulzije, predvsem pri izdelavi fino mletih izdelkov ter pri uporabi slabših začetnih surovin, pri katerih lahko ti proteini v celoti zamenjajo druge emulgatorje,
- polnejši okus ter oksidacijo lipidov - imajo antioksidativno vlogo.

Sirotkine proteine pa je potrebno uporabljati v omejenih količinah, pri čemer je potrebno poleg funkcionalnosti upoštevati tudi senzorične lastnosti živil (Królczyk in sod., 2016).

4.5.2 Uporaba v pekarstvu in slaščičarstvu

Uporaba v pekarstvu je lahko zelo široka, saj lahko zmanjša uporabo sladkorjev in soli ter zmanjšuje vsebnost maščobe. Obenem pa pripomore k boljši teksturi in okusu izdelkov. 80 % proteinski koncentrat - uporabljajo pri tortah kot delno nadomestilo jajc, pri čemer se poveča volumen izdelka in se zmanjšajo stroški proizvodnje. Kljub temu to ni ravno najboljša rešitev, saj se pretirana uporaba WPC80 kaže v slabšem okusu in bolj suhi strukturi. Pecivo je v veliki meri bogato z ogljikovimi hidrati in revno s proteini. Z dodatkom proteinskih koncentratov lahko povečamo vsebnost beljakovin in zmanjšamo vsebnost ogljikovih hidratov ter tudi maščobe. Z laktozo lahko v veliki meri zamenjamo saharozo. S tem povečamo Maillardovo reakcijo, izboljšamo emulgativne lastnosti, s čimer preprečimo drobljenje, in izboljšamo okus. Z minerali iz kisle sirotke lahko nadomestimo sol pri peki kruha, kar je zelo zaželeno. Različne frakcije kisle sirotke, kot so demineralizirana kislina sirotka, koncentrat proteinov kisle sirotke ter laktoza, so lahko uporabni v čokoladah, bombonih ter žvečilnih gumijih. Mlečni sladkor sicer zmanjša sladkost in je zagotovo boljša rešitev v bombonih kot saharoza, vendar lahko povzroči premočan karamelast okus. Uporaba proteinskega koncentrata je pogosta v raznih čokoladnih proteinskih ploščicah namenjenim športnikom (Królczyk in sod., 2016).

4.5.3 Uporaba v mlečnih izdelkih

Jogurt je en od najbolj razširjenih mlečnih izdelkov. Z dodajanjem sestavin iz kisle sirotke lahko z lahkoto spreminjamo sestavo raznih mlečnih izdelkov, med drugim tudi jogurta, ter jih takoj obogatimo in izboljšamo kakovost. Z dodatkom koncentriranih proteinov jogurtu moramo biti pazljivi, saj prevelik odmerek lahko škoduje pozitivnim senzoričnim lastnostim. Dodani sirotkini proteini povečajo trdnost čvrstih jogurtov ter viskoznost tekočih jogurtov. Kar pa je še pomembneje, preprečujejo sinerezo in povečajo prehransko vrednost izdelka. Bioaktivne komponente iz proteinov kisle sirotke stimulirajo rast probiotičnih kultur, tako v jogurtu med izdelavo, kakor kasneje v človeškem prebavnem sistemu. Uporaba pripravkov v sladoledarski industriji omogoča boljšo vezavo vode, boljšo prehransko vrednost sladoleda ter predvsem boljše fizikalne lastnosti, na primer puhasto strukturo ter viskoznost. Prednost zamenjave rumenjakov s proteinskim koncentratom so tudi nižji stroški proizvodnje (Królczyk in sod., 2016).

4.5.4 Uporaba v drugih vejah živilske industrije

Predelana kislina sirotka je lahko izjemno koristna v mlečnih formulah za dojenčke predvsem zaradi svoje ugodne beljakovinske sestave ter višje vsebnosti mineralov. Prav tako je mogoča pridelava alkoholnih pijač iz kisle sirotke. Pivo, vino in pa penina iz kisle sirotke, z nizko vsebnostjo alkohola, so navadno pridelani iz permeata z uporabo različnih sevov kvasovk

Kluyveromyces fragilis oziroma *Saccharomyces lactis*. Predvsem je dober vir za proizvodnjo piva, zaradi večje vsebnosti mineralov ter laktoze, ki z Maillardovo reakcijo da značilno barvo. Ugodno je tudi to, da ima zelo nizko vsebnost maščob, ki negativno vplivajo na torbo pene (Królczyk in sod., 2016).

Pri podjetju Arla Foods Ingredient, kjer se specializirajo s predelavo sirotke, so iz mleka razvili produkt Nutrilac, ki ima širok spekter delovanja. Tako lahko kislo sirotko z dodatkom Nutrilaca in vode procesirajo v pomembno surovo sestavino, ki je naprej lahko dodana fermentiranim pijačam, sladicam ter sirom. S tem se lahko poveča vsebnost beljakovin za do 50 %, obenem pa tudi zmanjša količino odpadkov (Arthur, 2014).

4.6 UPORABA KISLE SIROTKE V NEŽIVILSKI INDUSTRIJI

Uporaba anaerobnih bioreaktorjev omogoča specifičnim bakterijam in arhejam, da fermentirajo kislo sirotko in proizvedejo plin. Tak produkt je metan., ki se lahko neposredno uporabi, ali naprej pretvori v elektriko. Vendar je izkoristljivost takega metana relativno nizka. Poleg tega obstaja možnost izkoriščanja kisle sirotke za pridobivanje pomembnejših srednje verižnih karboksilnih kislin, kot sta kapronska in kaprilna kislina. Te so lahko prekurzorji v proizvodnji bioplina in kemikalij, ali pa se jih uporablja kot aditive v krmi za živino. Sam proces porablja relativno malo energije (Xu in sod., 2017).

4.7 NOVEJŠE MOŽNOSTI IN RAZISKAVE UPORABE KISLE SIROTKE

Zaradi težnje po čim boljšem izkoriščanju kisle sirotke, nenehno razvijajo nove načine uporabe. Vprašanje na mestu je, ali lahko dodatek kisle sirotke morda nadomesti kakšne aditive in obenem zagotovi enako kakovost produkta.

Ena od možnosti je uporabnost kisle sirotke za marinado govedine. Pri poskusu so spremljali aktivnost antioksidativnih peptidov za zmanjšanje oksidacije lipidov ter stabilizacije barve. Govedina je bila marinirana šest tednov v vakumu na temperaturi 4°C. Vzorcju brez nitritov je bila dodana kisla sirotka, kontrolni vzorec pa prav tako ni vseboval nitritov kakor tudi ne sirotke. Pri drugem je bila po šestih tednih bolj blede barva, kar je povezano tudi z antioksidativnim delovanjem. Rezultati so torej pokazali, da imajo bioaktivni peptidi iz kisle sirotke močno antioksidativno delovanje, s čimer inhibirajo oksidacijo lipidov in stabilizirajo obarvanost govedine (Wójciak in sod., 2018).

Sirotko je mogoče uporabiti tudi v proizvodnji fermentiranih klobas. Proizvodnja takih izdelkov brez dodatka nitritov je cenjena, vendar v industriji težje izvedljiva. Nitriti vplivajo na privlačnejšo barvo in s tem privabljajo potrošnike k nakupu. Za zmanjšanje uporabe aditivov, je bil narejen poskus, kjer nitrite zamenjajo s kisljo sirotko. Analize so pokazale, da dodatek kisle sirotke ugodno vpliva na pH, saj je nižji kot z uporabo nitritov. Ob tem pa poveča vsebnost mlečno kislinskih bakterij, ki so pomembne za fermentacijo klobas. Kisla sirotka uspešno

preprečuje izgubo železa. Prav tako ima antioksidativno aktivnost. Poleg vsega dodatek kisle sirotke tudi izboljša organsko suho snov fermentiranih klobas ter prehransko vrednost zaradi večje vsebnosti železa in maščobnih kislin v sestavi (Karwowska in sod., 2018).

Kislo sirotko je mogoče uporabiti tudi za izdelavo fermentiranih napitkov. Rast mlečnokislinskih bakterij v tekoči sirotki je ravno tako dobra, kot rast teh v mleku. Zato se jo lahko uporablja za izdelovanje fermentiranih izdelkov iz sirotke. V kombinaciji kisle sirotke z mlekom, lahko z uporabo jogurtovih kultur *Streptococcus thermophilus* in *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* pridobimo izdelek na las podoben jogurtu. Poleg tega je izdelek okusen in zaradi prehranske vrednosti, ki se jo vse bolj povezuje z zdravim načinom življenja, je lahko privlačen za potrošnike (Skryplonek, 2018).

5 PROBLEMATIKA KISLE SIROTKE

Z ozaveščanjem ljudi, kako pomembni so mleko ter mlečni izdelki v prehrani, narašča tudi poraba mleka ter obenem proizvodnja stranskih produktov, predvsem sirotke. Pri proizvodnji sira ta predstavlja okoli 90 % količine mleka.

Včasih je sirotka predstavljala nepomemben stranski proizvod pri izdelavi sira, in so jo uporabili za hranjenje živali, ali še pogosteje kot odpadke, kar pa zaradi več razlogov ni bilo ugodno za okolje. Eden pomembnejših dejavnikov je, da ima sirotka visok BOD₅, to je poraba kisika v mg na liter sirotke v petih dneh, označuje pa biološko onesnaževanje (Tsakali in sod., 2010).

Letno se v svetovnem merilu proizvede več kot 190 000 000 ton sirotke, zato je želja po novih možnostih izkoriščanja le te velika. Prav tako k skrbi za čim boljše izkoriščanje odpadnih surovin pripomore ostrejša zakonodaja ter okoljevarstveniki. Študije posameznih sestavin sirotke, so pokazale da ima ta ugodno sestavo in veliko prehransko vrednost. Predvsem nova znanja o pozitivnih učinkih beljakovin iz sirotke na zdravje so pripomogla, da sirotke več ne smatramo za biološki odpadke, ampak kot cenjeno surovino (Tsakali in sod., 2010).

Sorazmerno z naraščanjem proizvodnje mleka ter mlečnih izdelkov tudi ponudba na trgu postaja vse bolj pestra, predvsem pa se večja konkurenca na trgu. Tudi v manjših mlekarnah se danes zavedajo, da je za doseganje konkurenčnosti treba poskrbeti z vlaganjem v razvoj in posodobitve proizvodnje, s ciljem minimiziranja stroškov in tudi čim boljše porabe vseh surovin in stranskih produktov, pri čemer je zmanjševanje stroškov čiščenja odpadnih voda ter porabe energije zelo pomembno.

Z naraščanjem popularnosti grškega tipa jogurta, je kot stranski produkt narasla tudi količina kisle sirotke. Samo v ZDA je delež grškega jogurta od leta 2004 do leta 2015 poskočil iz 1-2 % na skoraj 40 % (Erickson, 2017).

V primerjavi z navadno sirotko je kislina manj cenjena predvsem zaradi manjše vsebnosti beljakovin, laktoze ter nižjega pH. Večina te je še zmeraj uporabljena kot gnojilo, pri proizvodnji biogoriva, kot hrana živalim ali pa jo v odvajajo na čiščenje odpadnih voda in s tem preobremenjujejo okolje. Pri nastanku enega kilograma jogurta nastane dva do tri kilograme kisle sirotke. Uporaba kot gnojilo je omejena, zaradi prodiranja kisle sirotke v kontinentalne vode, kar vodi do pospešene rasti alg, manjše količine raztopljenega kisika v vodi in v skrajnem primeru do pogina rib. Poleg tega kislina sirotka pod vplivom sonca in toplote oddaja neprijetne vonjave, kar prebivalcem ob kmetijah zagotovo ni po godu (Erickson, 2017).

Problema kopičenja kisle sirotke pri izdelavi grškega tipa jogurta so se lotili tudi tako, da so v proizvodnem postopku dodali pektin in koncentrat sirotkinih proteinov (Gyawali in sod, 2018). Vzorcem je bilo dodano 0,05 % pektina in 1 % proteinskega koncentrata. Rezultati so pokazali, da je jogurt z dodatkom pektina in koncentrata bolj sposoben zadrževanja vode, in zato manj dovzeten za sinerezo, pri kateri se izloča kislina sirotka. Pektin namreč zavira nastanek večjih oligomernih skupkov beljakovin in tako zmanjšuje sinerezo. Študija je potrdila, da je mogoče z dodajanjem pektina in koncentrata sirotkinih beljakovin zmanjšati količino nastale kisle sirotke pri proizvodnji grškega tipa jogurta (Gyawali in sod., 2018).

6 ZAKLJUČEK

V Evropski uniji se obdela le 40 % vse sirotke, sladke in kisle skupaj. Medtem ko se večina sladke sirotke dandanes vendarle predela in uporabi v živilski in drugih industrijah, pa tega ne moremo potrditi za kislno sirotko. Prevelik delež neobdelane sirotke se tretira kot odpadek ali v najboljši meri konča kot hrana za živino ali gnojilo, v najslabšem primeru pa se celo nekontrolirano zavrže, kar predstavlja velik problem za okolje. Visoki stroški obdelave na eni strani, ter nizka vsebnost suhe snovi, predvsem beljakovin, na drugi strani so glavni problem z ekonomskega vidika mlekarne. Zato veliko industrijskih obratov predelave grškega tipa jogurta plačuje kmetom za odvoz kisle sirotke, ti pa jo uporabijo pretežno kot gnojilo.

Kljub nižji vsebnosti beljakovin in laktoze ima kislno sirotka ugodno sestavo suhe snovi, iz katere je mogoče pridobiti zelo uporabne sestavine za nadaljnjo uporabo. Ravno težnja po zmanjšanju odpadka in obdelavi kisle sirotke je privedla do razvoja in uporabe naprednih tehnik ločevanja. Tu prednjačijo razne membranske ter kromatografske tehnike, s katerimi lahko odstranimo mlečno kislino iz kisle sirotke, kar je najpomembnejši korak, in nadaljnje pridobimo posamezne sestavine. Vse to usmerja mlekarsko industrijo k razvoju novih izdelkov. V mlekarski industriji nenehno iščejo tudi nove rešitve v spremembi tehnologije, v primeru – grškega tipa jogurta na primer k boljši izkoristljivosti in obenem manjšem deležu izločene kisle sirotke.

Posamezne beljakovinske frakcije imajo izjemen vpliv na človeški organizem ter tržno vrednost ki je ne gre prezreti. Zanimive so predvsem za proizvajalce funkcionalne hrane in prehranskih dopolnil, Poleg široke možnosti uporabe kisle sirotke v živilski industriji-, je ena izmed zanimivejših možnosti tudi izkoriščanje sirotke za pridobivanje bioplina kot obnovljivega vira energije. Še manj izkoriščene pa so številne druge možnosti izrabe kisle sirotke, kot na primer za proizvodnjo bioplastike, ki jih bo omogočil razvoj novih tehnologij.

Z vidika industrije pa je ključno najprej ovrednotiti procese predelave kisle sirotke z ekonomskega vidika in najti pravo razmerje med ekonomsko računico in izkoristkom, kar pa predstavlja precejšen izziv.

7 VIRI

- Arthur R. 2014. Arla: 1m tons of acid whey waste could be cut. Crawley, Dairyreporter, William R., Business Media Ltd: 1 str.
<https://www.dairyreporter.com/Article/2014/06/17/Arla-1m-tons-of-acid-whey-waste-could-be-cut> (18. julij 2018)
- Božanić R., Barukčić I., Lisak Jakupović K., Tratnik L. 2014. Possibilities of whey utilisation. *Austin Journal of Nutrition and Food Sciences*, 2, 7: id1036: 7 str.
http://www.academia.edu/14295440/Possibilities_of_Whey_Utilisation (17. julij 2018)
- Chen G. Q., Eschbach F. I. I., Weeks M., Gras S. L., Kentish S. E. 2016. Removal of lactic acid from acid whey using electrodialysis. *Separation and Purification Technology*, 158: 230-237
- Erickson E. B. 2017. Acid whey: Is the waste product an untapped goldmine? *Chemical & Engineering News*, 6: 26-30
- Gladden L. B. 2008. A lactatic perspective on metabolism. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 40, 3: 477-485
- Gyawali R., Ibrahim S. A. 2018. Addition of pectin and whey protein concentrate minimises the generation of acid whey in Greek-style yogurt. *Journal of Dairy Research*, 85, 2: 238-242
- Jelen P. 2011. Utilization and products. *Whey processing*. V: *Encyclopedia of dairy sciences*. Vol 4. 2nd ed. Fuquay J. F. (ur.) Amsterdam, Academic Press: 731-738.
- Karwowska M., Kononiuk A. 2018. Addition of acid whey improves organic dry-fermented sausage without nitrite production and its nutritional value. *International Journal of Food Science and Technology*, 53: 246-253
- Królczyk J. B., Dawidziuk T., Janiszewska-Turak E., Sołowiej B. 2016. Use of whey and whey preparations in the food industry: a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 66, 3: 157-165
- Mimouni A., Bouhallab S., Famelart M. H., Naegele D., Schuck P. 2007. The formation of calcium lactate crystals is responsible for concentrated acid whey thickening. *Journal of Dairy Science*, 90, 1: 57-65
- Mollea C., Marmo L., Bosco F. 2013. Valorisation of cheese whey, a by-product from the dairy industry. V: *Food industry*. Muzzalupo I. (ur.). London, InTech: 549-588

- Schlatterer B., Baeker R., Schlatterer K. 2004. Improved purification of beta-lactoglobulin from acid whey by means of ceramic hydroxyapatite chromatography with sodium fluoride as a displacer. *Journal of Chromatography. B, Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 807, 2: 223-228
- Sharma N., Kumar P., Ranjan R., Kumar S., Bhat Z., Jeong D. K. 2013. Perspective of membrane technology in dairy industry: A review. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 26, 9: 1347-1358
- Shuck P., Tanguy G., Dolivet A., Méjean S., Gaucheron F., Garric G., Senard G., Jeantet R. 2017. Nanofiltration of lactic acid whey: a process to improve dryability and the quality of powder. V: INRA. 6th European Drying Conference, Liege University, 19. – 21. June 2017: 13 str.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01547533/file/Eurodrying%202017_G%20Tanguy_VF_%7BE738C472-60AC-4A60-BD0C-6F979AEC9DE7%7D.pdf (20. julij 2018)
- Slanovec. T. 1982. *Sirarstvo*. Ljubljana, ČZP Kmečki glas: 175 str.
- Skryplonek K. 2018. Production of yogurt-type fermented beverages. *Mljekarstvo*, 68, 2: 139-149
- Tsakali E., Petrotos K., D'Allesandro A., Goulas P. 2010. A review on whey composition and the methods used for its utilization for food and pharmaceutical products. V: 6th International Conference on simulation and modelling in the Food and Bio-Industry, FOODSIM 2010. June 24-26 2010 Braganca, Portugal. Ostend, Eurosis: 8 str.
<https://fabe.gr/images/stories/SYNEDRIA/8.pdf> (20. julij 2018)
- Xu J., Hao J., Guzman J. J. L., Spirito C. M., Harroff L. A., Angenent L. T. 2017. Temperature-phased conversion of acid whey waste into medium-chain carboxylic acids via lactic acid: no external e-donor. *Joule*, 2, 2: 280-295
- Watson E. 2014. Greek yogurt's biggest guns explore creative ways to address acid whey challenge. *Crawley, Dairyreporter*. William R., Business Media Ltd: 3 str.
<https://www.dairyreporter.com/Article/2014/12/05/Patent-watch-General-Mills-tackles-Greek-yogurt-acid-whey> (18. julij 2018)
- Wójciak K. M., Kęska P., Okoń A., Solska E., Libera J., Dolatowski Z. J. 2018. The influence of acid whey on the antioxidant peptides generated to reduce oxidation and improve colour stability in uncured roast beef. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98, 10: 3728-3734