

Prehrambena i funkcionalna svojstva koncentrata i izolata proteina sirutke

Zoran Herceg, Anet Režek

Stručni rad - Professional paper

UDK: 637.344

Sažetak

Proteini sirutke čine 18 - 20 % ukupnih proteina mlijeka. Njihova nutritivna vrijednost, uz raznolika fizikalno-kemijska i funkcionalna svojstva, čine proteine sirutke široko primjenjivim u prehrambenim proizvodima. Proteini sirutke najčešće se koriste zbog poželjnih funkcionalnih svojstava. Mogu se koristiti kao sredstva za želiranje, za vezivanje vode, emulgiranje te stvaranje pjene. Zahvaljujući primjeni novih procesnih tehnika (membranskih tehnika frakcioniranja), danas je moguće proizvesti različite dodatke hrani na bazi proteina sirutke. Najvažniji proizvodi na bazi sirutkinih proteina su koncentrat i izolati proteina sirutke. Svrha ovog rada je dati sveobuhvatan pregled hranjivih i funkcionalnih svojstava najčešće upotrebljivanih oblika proteina sirutke (koncentrata proteina sirutke - KPS i izolata proteina sirutke - IPS) u prehrambenoj industriji.

Ključne riječi: proteini sirutke, funkcionalna, terapijska i prehrambena vrijednost proteina

Uvod

Povećani zahtjevi potrošača za ukusnijim, zdravijim, prikladnijim i prirodnijim prehrambenim proizvodima potaknuli su mliječnu industriju na razvijanje i opskrbu prehrambenih proizvoda dodatcima mliječnih (sirutkinih) proteina kako bi im povećali nutritivnu vrijednost te poboljšali funkcionalna svojstva.

Sirutka je sporedni proizvod u proizvodnji sira ili kazeina. U sirutku obično prelazi oko 50 % suhe tvari mlijeka u kojoj je najzastupljenija laktoza, nakon koje slijede proteini, mineralne tvari i mliječna mast (tablica 1). U sirutku prelaze svi ugljikohidrati mlijeka preostali nakon proizvodnje sira, od kojih je 90 % laktoze te nešto glukoze i galaktoze, oligosaharida te aminošćera.

Proteini sirutke čine približno 18 - 20 % ukupnih proteina mlijeka. Po strukturi su proteini sirutke tipični, kompaktni globularni proteini s relativno podjednakom raspodjelom niza nepolarnih (hidrofobnih), polarnih, neutralnih te nenabijenih ili nabijenih ostataka aminokiselina (kisele ili bazne). Intramolekularno nabrana struktura ovih proteina je rezultat disulfidnih veza (S-S) između ostataka cisteina, koje su unutar molekule uglavnom prekrivene hidrofobnim ostatcima (Tratnik, 1998.).

Proteini sirutke koriste se u velikoj mjeri kao sastojak prehrambenih proizvoda zbog svojih jedinstvenih funkcionalnih karakteristika, kao što su emulgiranje, želiranje, ugušćivanje, pjenjenje te sposobnosti vezanja vode. Razvoj primjene proteina sirutke, kao dodatka prehrambenim proizvodima, umnogome je ovisio o prepoznavanju važnosti razumijevanja molekularne osnove funkcionalnosti proteina od strane prehrambenih znanstvenika, ali i o napretku na polju membranskih procesa uslijed čega je prehrambena industrija sposobna pretvoriti sirutkine proteine u koristan dodatak prehrambenim proizvodima (King, 1996.).

Proteini sirutke danas se znatno koriste u prehrambenim proizvodima kao želirajuća sredstva, emulgatori, modifikatori teksture, sredstva za zgušnjavanje, pjenjenje i drugo. Osim poželjnih funkcionalnih karakteristika, posjeduju i prednosti zbog svoje visoke nutritivne vrijednosti i GRAS statusa (generally recognized as safe - sigurni za upotrebu). Proteini sirutke, kao dodaci prehrambenim proizvodima, na tržištu se mogu nabaviti u nekoliko različitih oblika od kojih su najuobičajniji IPS (izolat proteina sirutke) i KPS (koncentrat proteina sirutke). IPS imaju veću koncentraciju proteina u suhoj tvari (više od 90 %) i manje ostalih sastojaka (laktoza, masti, mineralne tvari) od KPS (50 - 70 % proteina u suhoj tvari) (Huffman, 1996.; Jayaprakasha i Brueckner, 1999.).

Svrha ovog rada je dati pregled prehrambenih i funkcionalnih svojstava najčešće upotrebljivih komercijalnih preparata proteina sirutke (koncentrata proteina sirutke - KPS i izolata proteina sirutke - IPS) u prehrambenoj industriji.

Proteini sirutke

Proteine sirutke najvećim dijelom čine β -laktoglobulini i α -laktalbumini koji su genski proizvodi mliječne žlijezde. Tada slijede proteoze - peptoni (koji djelomično potječu i od hidrolize β -kazeina), te imunoglobulini i albumin krvnog seruma kao i manji peptidi poput laktoperoksidaze, lizozima,

glikoproteina, krvnog transferina i laktorferina (Damodoran, 1997.) (tablica 1). Neki genski oblici β -laktoglobulina (C i D), kao i imunoglobulini sadrže i ugljikohidratne komponente (glikoproteini). Proteini sirutke su izrazito hidrofilni, pa su za razliku od kazeina stabilni na utjecaj kiseline ili enzima te zaostaju u otopini - sirutki nakon koagulacije kazeina i odvajanja sirnog gruš. Međutim, proteini sirutke su vrlo termolabilni (izuzev proteoze - peptona) u odnosu na termostabilni kazein, te koaguliraju pod utjecajem topline. Denaturacija ovih proteina započinje već na temperaturi iznad 60 °C. Međutim koagulacija većine sirutkinih proteina očekuje se pri zagrijavanju sirutke na temperaturu od 90 - 95 °C / 10 - 20 minuta.

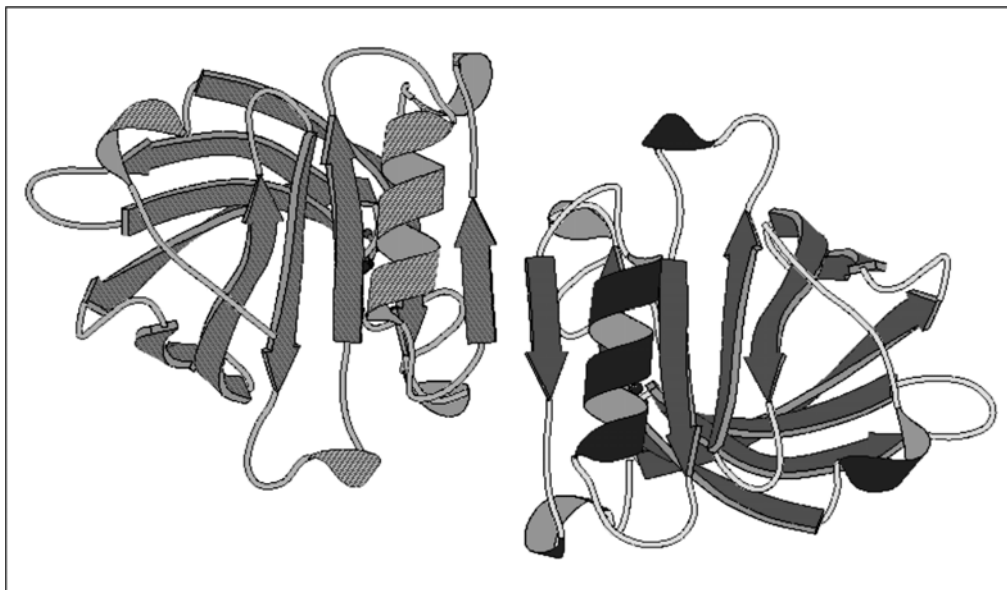
Tablica 1: Sastojci suhe tvari (Hramcov, 1979.) i sadržaj proteina u sirutki (Bird, 1996.)

Table 1: Dry matter composition (Hramcov, 1979) and amount of proteins in whey (Bird, 1996)

Sastojci suhe tvari Component of dry matter	(g/100 mL)	% od ukupne suhe tvari % of total dry matter	Proteini sirutke Whey protein	% od ukupnih proteina % of total proteins
Laktoza Lactose	4,66	71,7	β -laktoglobulin β -lactoglobulin	50,0
Proteini sirutke Whey protein	0,91	14,0	α -laktalbumin α -lactalbumin	22,0
Mineralne tvari Mineral matter	0,50	7,7	Imunoglobulini Immunoglobulins	12,0
Mliječna mast Milk fat	0,37	5,7	Proteaze - peptoni Protease - peptons	10,0
Ostalo Other	0,06	0,9	Alb. krvnog seruma Bovine serum albumin	5,0
Ukupno Total	6,50	100,0	Ostalo Other	1,0

β -laktoglobulin (slika 1) je dimer, sastavljen od dva identična peptidna lanca koji se čvrsto drže zajedno pomoću nekovalentnih veza, s ukupno 162 aminokiseline u monomeru. U globuli β -laktoglobulina je zastupljen dio α -uzvojne strukture i β -nabrane strukture te dio neodređene strukture (slučajna

klupka). Pri pH svježeg mlijeka ograničeno je zblizavanje globula, a na 60 °C dimer disocira u otopinu i ostaje podesan za denaturaciju - odmotavanje (Tratnik, 1998.).



Slika 1: β -laktoglobulin (www.bpc.mh-hannover.de)

Figure 1: β -lactoglobulin (www.bpc.mh-hannover.de)

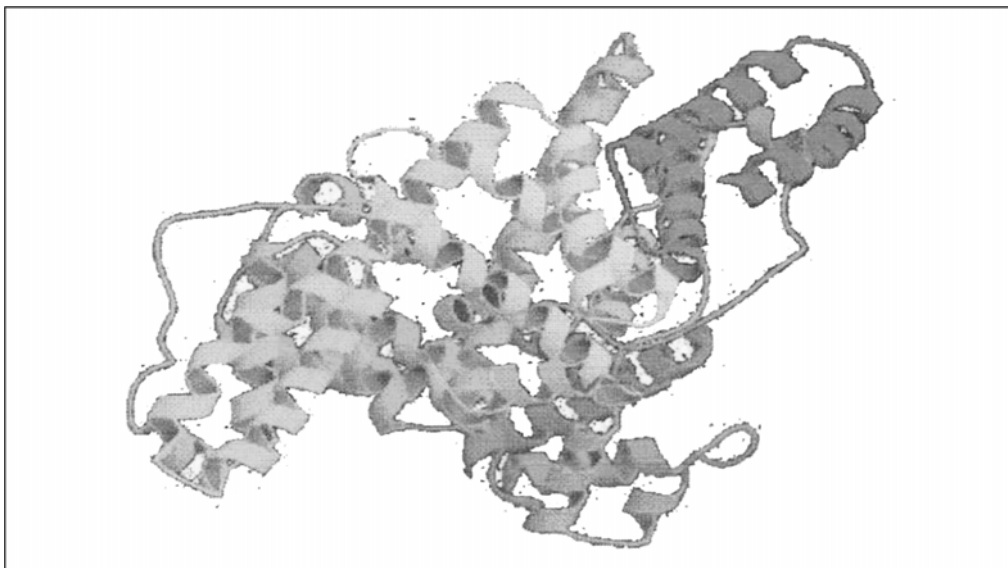
α -laktalbumin (slika 2) ima homolognu primarnu strukturu koja sliči lizozimu, a vrlo je kompaktan protein, skoro okruglog oblika. Sastoji se od jednostrukog lanca s oko 123 aminokiseline. Bogat je na triptofanu, međutim, molekula ne sadrži slobodne SH-skupine, iako je sadržaj cistina visok, ali sadrži 4 disulfidne veze (S-S) (King, 1996.).

α -laktalbumin dolazi u dva genska oblika (A i B) koji se razlikuju jednostavnom supstitucijom aminokiseline glutamina za arginin. Utvrđeno je također, da je α -laktalbumin jedan od dvije proteinske podjedinice enzima koji sintetizira laktozu. Enzim koji katalizira prvi korak u biosintezi laktoze naziva se «laktoza - sintetaza». Sastavljen je od dvije različite proteinske podjedinice, A i B. Protein A je UDP-galaktozil transferaza, a protein B je α -laktalbumin, čija je funkcija povećanje aktivnosti ovog enzima jer tako pridonosi monosaharidnom vezivanju. α -laktalbumin je najotporniji protein sirutke na djelovanje topline.



Slika 2: α -laktalbumin (www.employees.csbsju.edu)

Figure 2: α -lactalbumin (www.employees.csbsju.edu)



Slika 3: Albumin krvnog seruma (www.soft-matter.uni.tuebingen.de)

Figure 3: Bovine serum albumin (www.soft-matter.uni.tuebingen.de)

Albumin krvnog seruma (slika 3) potječe iz krvi životinje pa je identičan sastavu i svojstvima serum albumina, a ne razlikuje se ni imunološki. Imunoglobulini su u mlijeku prisutni u neznatnoj količini, ali ih u kolostrumu ima oko 85 - 90 % od prisutnih proteina sirutke te imaju funkciju gama-globulina.

Imunoglobulini su najtermolabilniji proteini sirutke, sadrže u sebi i ugljikohidratnu komponentu (heksoze i heksozamin) pa se ubrajaju u glikoproteine. Sastoje se iz više genetskih varijanti: IgM, IgA i IgG (IgG₁ i IgG₂) koje u tom redoslijedu sadrže sve manju količinu ugljikohidrata, a koeficijent sedimentacije «S» je različit: IgA (10 - 12 S); IgM (oko 19 S) te IgG (oko 7,5 S) (Damodoran, 1996.a, 1996.b; Kinsella i Whitehea, 1989.).

U proteoze - peptone se ubrajaju frakcije vrlo heterogenog sastava koje se djelomično nalaze vezane za micelle, a dijelom se nalaze u serumu mlijeka. Stabilne su na djelovanje kiseline, enzima ili topline, a prisutne su u tragovima, kao i laktoferin, transferin, laktolin, laktoperoksidaza, lizozim i drugi imunoaktivni enzimi. Važni su jer kataliziraju neke biološke procese, utječu na vezivanje minerala i vitamina te utječu na stabilnost okusa mliječnih proizvoda (King, 1996.). U tablici 2 prikazana su neka svojstva pojedinih frakcija proteina sirutke.

Tablica 2: Svojstva proteina sirutke (Webb, 1974.)

Table 2: Properties of whey protein (Webb, 1974)

Proteini sirutke Whey protein	pI	Molarna masa Molecular weight	Konstanta sedimentacije Sedimentation constant (S ₂₀)
β-laktoglobulin β-lactoglobulin	5,3	36 000	2,7
α-laktalbumin α-lactalbumin	4,2-4,5	14 440	1,75
Albumin krvnog seruma Bovine serum albumin	4,7	69 000	4,0
IgG ₁		150 000	6,3
IgG ₂	5,6-6,0	170 000	6,6
IgM		900 000 - 1 000 000	18 - 19
IgA		300 000 - 500 000	10 - 12
Proteoze - pepton Protease - peptons	3,3-3,7	4 100 - 10 000	0,8 - 0,4

Prehrambena i terapijska svojstva proteina

Energetska vrijednost proteina iznosi oko 4 kcal/g ili 17 kJ/g. Nutritivna vrijednost proteina može se izraziti određenim pokazateljima kao što su biološka vrijednost (BV), omjer djelotvornosti proteina (PER), neto iskorištenje proteina (NPU) i stvarna probavljivost (TD) (De Witt, 1998.; Tratnik, 1998.). Ove vrijednosti za pojedine vrste proteina prikazane su u tablici 3.

Tablica 3: Hranjiva vrijednost proteina (Renner, 1986.)

Table 3: Nutrition value of proteins (Renner, 1986)

Proteini Proteins	BV	PER	NPU	TD
Kravlje mlijeko Cow's milk	91	3,1	82	98
Kazein Casein	77	2,9	76	97
Sirutka Whey	100	3,0	84	97
Laktalbumin Lactalbumin	104	3,6	92	98

- * BV (Biological value) - biološka vrijednost; omjer zadržanog i resorbiranog dušika (%)
- * TD (True digestibility) - stvarna probavljivost; omjer resorbiranog i primljenog dušika (%)
- * NPU (Net protein utilization) - neto iskorištenje proteina

$$\text{NPU} = \frac{\text{TD} \times \text{BV}}{100} \quad / 1 /$$

- * PER (Protein efficiency ratio) - omjer djelotvornosti proteina; omjer povećanja mase testiranih skupina u rastu, po količini primljenih proteina

Nutritivna vrijednost proteina ovisi o udjelu različitih aminokiselina koje se apsorbiraju u probavnom sustavu. Stvarna probavljivost (TD) pojedinih proteina mlijeka je vrlo slična, međutim biološka vrijednost, kao i ostali pokazatelji nutritivne vrijednosti, veći su za proteine sirutke nego za kazein zbog povoljnijeg sastava aminokiselina, ponajviše zahvaljujući najvrjednijem

α -laktalbuminu čiji je aminokiselinski sastav blizu biološkog optimuma. Porastom omjera cistin/metionin raste iskoristivost proteina u organizmu. Omjer proteina sirutke 10 puta je veći od kazeina, pa su zbog toga i bolje iskoristivi u organizmu čovjeka.

Veća biološka vrijednost proteina sirutke od proteina mlijeka potječe i od visokog sadržaja lizina (40 % više u sirutki nego u mlijeku) i tioaminokiselina (2,5 puta više u sirutki). Biološka vrijednost proteina sirutke veća je, također, i od mnogih drugih životinjskih proteina (mesa, jaja) koji se koriste u prehrani. Radi toga proteine sirutke koriste u proizvodnji hrane za dojenčad, te za povećanje nutritivne vrijednosti brojnih mliječnih kao i drugih prehrambenih proizvoda. Osim toga, imunoglobulini i nespecifični imunoaktivni sastojci sirutkinih proteina s antimikrobnim svojstvima - kao: laktoferin, lizozim, laktoperoksidaza, proteini koji vežu vitamin B₁₂ i folate, te bifidus faktori (glukozamin) - vrlo su bitan «imunoaktivni sustav» koji štiti ljudski organizam čineći ga otpornijim.

Sve je više studija koje ukazuju na potencijalnu snagu sirutkinih proteina u redukciji pojave raka, u borbi s HIV-om, djelovanju na poboljšanje imuniteta, u redukciji utjecaja stresa i smanjenju kortizola, povećanju razine serotina u mozgu, poboljšanju funkcija jetre u osoba koje boluju od nekih oblika hepatitisa, smanjenju krvnog tlaka i povećanju performansi kod sportaša. Jedan od najznačajnijih efekata koje proteini sirutke izazivaju u organizmu je njihova sposobnost da podiže razinu glutationa (GSH). Važnost GSH za imunološki sustav organizma je ogromna. GSH je najvažniji u vodi topljiv antioksidans koji se nalazi u tijelu. Koncentracija intracelularnog GSH direktno je povezana sa sposobnošću limfocita (produžene ruke imunološkog sustava) da reagiraju na izazove, što sugerira da je razina intercelularnog GSH jedan od načina modulacije imunološkog sustava. GSH je tripeptid aminokiselina L-cisteina, L-glutamina i glicina. Od spomenuta tri, L-cistein je glavni izvor slobodne sulfidrilne grupe u GSH i presudni faktor u njegovoj sintezi. Budući da se GSH smatra esencijalnim za podizanje imuniteta, sprječavanje oksidativnog stresa (npr. kod sportaša uzrokuje zamor mišića te nesposobnost duljeg treniranja), podizanje općeg stanja organizma (utječe na performanse i mišićnu masu), te da je smanjena razina GSH u organizmu usko povezana s nizom bolesti, sirutkini proteini bi trebali imati značajno mjesto u bilo kojem nutritivnom programu (www.nutrix.hr/suplementi/protein/whey1.htm).

Funkcionalna svojstva sirutkinih proteina

Funkcionalna svojstva proteina sirutke određuju cjelokupno ponašanje proteina u hrani tijekom proizvodnje, prerade, skladištenja i potrošnje.

Iako su dobiveni proteini sirutke glede nutritivnih osobina visokovrijedni, uglavnom se koriste radi svojih funkcionalnih svojstava (tablica 4). Na funkcionalna svojstva utječu mnogi faktori od kojih su najvažniji: izvor sirutke te proteinski, mineralni i lipidni sastav proteina sirutke, molekularna struktura proteina i interakcija s drugim komponentama hrane te pH sustava u kojem se proteini sirutke nalaze (Herceg i sur., 2004.; Herceg i sur., 2005.).

Tablica 4: Upotreba koncentrata proteina sirutke u proizvodnji hrane (Jovanović i sur., 2005.)

Table 4: Applications of whey proteins concentrates in processing of food (Jovanović i sur., 2005)

Funkcionalna svojstva Functional properties	Prehrambeni proizvod Foodstuff
Vezivanje vode; hidratacija Water binding, hydration	Meso, napitci, kruh, kolači, kobasice Meat, beverages, breads, cakes, sausages
Želiranje, viskoznost Gelation, viscosity	Preljevi za salate, juhe, umaci, meso Salad dressing, soups, gravies, meats
Emulgiranje / Emulsification	Dječja hrana, salame, preljevi za salate Infant foods, Sausages, salad dressing
Stvaranje pjene, sposobnost lupanja Foaming, whipping	Tučeni preljevi, hrskavi keksi, deserti Whipped dressings, chiffon cakes, desserts

Mnoge studije o funkcionalnosti proteina sirutke pokazale su da i male promjene u tehnikama proizvodnje sirutkinih proteina mogu znatno utjecati na funkcionalnost.

Zbog osjetljivosti funkcionalnih svojstava na vrlo male promjene u proizvodnji, potrebno je s velikom pažnjom proučavati funkcionalna svojstva proteina sirutke uz korištenje uzoraka dobivenih u točno kontroliranim uvjetima (Corradini, 1998.; Foegeding i sur., 2002.).

Topljivost i viskoznost proteina sirutke

Topljivost je jedna od najvažnijih osobina polidisperznih proteinskih sustava sirutke. Ova osobina nije važna samo zbog funkcionalne primjene

proteina u hrani, već je preduvjet za osiguranje drugih funkcionalnih osobina kao što su emulgiranje, stvaranje pjene i želiranje.

Kao što je pokazao De Wit (1998.) topljivost i struktura sirutkinih proteina su međusobno povezani i na njih prije svega utječu toplinski tretmani.

Topljivost se gubi denaturiranjem toplinom i u tim uvjetima proteini sirutke su posebno osjetljivi. Na 70 °C denaturiraju se imunoglobulini, a na 100 °C β -laktoglobulin, α -laktalbumin i albumin krvnog seruma, te peptonske komponente proteina sirutke.

U usporedbi s većinom drugih proteina, viskoznost koncentrata proteina sirutke u vodenoj otopini je - niska. On ovisi o udjelu suhe tvari i proteina.

Vežanje vode

Jedna od najinteresantnijih osobina sirutke je sposobnost vezivanja vode. Veživanje vode u namirnicama ovisi o odnosu slobodne i vezane vode i načina vezivanja vode, što utječe na konzistenciju namirnice i njenu stabilnost. Upotrebom koncentrata proteina mlijeka i sirutke, može se utjecati na odnos slobodne i vezane vode, kao i na način vezivanja vode.

Sposobnost vezivanja vode je vrlo važna u mljekarskoj industriji u proizvodnji fermentiranih mliječnih napitaka kao i u pekarskoj industriji zbog održavanja svježine pekarskih proizvoda. Sposobnost vezivanja vode sirutkinih i denaturiranih sirutkinih proteina kreće se od 0,5 - 1,2 g H₂O / 1 gramu suhe tvari (Morr i Foegeding, 1990.).

Stvaranje pjene

Kada se suspenzija proteina sirutke u vodi miješa, inkorporira se zrak i stvara pjena stabilne strukture. Formiranje pjene proteinske smjese ovisi o sposobnosti otvaranja proteinskih lanaca te usmjeravanju na međupovršine tekućina - zrak. Potpuna razgradnja proteinskih lanaca znači denaturaciju proteina koja rezultira stvaranjem krhke međupovršine i raspadom pjene. Sposobnost stvaranja pjene (povećanje volumena) i stabilnost pjene ovisi o više faktora od kojih su najvažniji kvaliteta proteina odnosno stupanj njihova denaturiranja, zatim udio proteina, udio Ca i drugih iona, zatim temperatura, pH sredine i udio masti (Morr i Foegeding, 1990.; Jovanović i sur., 2005.)

Želiranje

Sposobnost želiranja je važna funkcionalna osobina proteina sirutke kada se koriste u proizvodnji pojedinih prehrambenih proizvoda. Niska toplinska stabilnost sirutkinih proteina ograničava njihovu primjenu u sustavima podvrgnutim djelovanju topline, ali također omogućava proizvodnju novih tipova proizvoda na mliječnoj osnovi.

Proteinski gelovi su sastavljeni od trodimenzionalne mreže koja sadrži veliku količinu vode. U želiranje su uključene reakcije «otvaranja» proteina, vezivanja vode, interakcija protein - protein i imobilizacija vode.

Proteini sirutke, zagrijavanjem pod određenim uvjetima otopine (pH, suha tvar, sastav mineralnih tvari) mogu formirati vrlo elastične gelove. Zagrijavanje je prvi korak u formiranju gela i što je temperatura viša, raste stupanj intramolekularnog vezivanja i gel je čvršći (Morr i Foegeding, 1990.; Jovanović i sur., 2005.).

Emulgiranje

Proteini sirutke djeluju kao dobro emulgirajuće sredstvo. Ove sposobnosti zasnivaju se na proteinskom smanjenju površinske napetosti između hidrofobnih i hidrofilnih komponenata u hrani gdje dolazi do izražaja intramolekularna nabrana struktura proteina s relativno podjednakom raspodjelom niza nepolarnih, polarnih, neutralnih te nenabijenih ili nabijenih ostataka aminokiselina.

Uopće, činitelji koji utječu na emulgirajuće osobine slični su činiteljima koji određuju formiranje pjene i uvjetovani su sustavom koji se koristi za emulgiranje, ionskom jačinom sredine i tipom proteina sirutke (Webb i sur., 2002.).

Kapacitet emulgiranja proteina direktno ovisi o topljivosti, tako da svi činitelji koji smanjuju topljivost utječu na snižavanje kapaciteta emulgiranja. Kod nativnih proteina emulgirajuća sposobnost je utoliko veća ukoliko se zadržava prirodna struktura, tj. što su manje denaturirani proteini. S obzirom da su proteini sirutke vrlo topljivi u kiselim sredinama, oni će djelovati kao emulgatori i pri niskim pH vrijednostima, pri kojima je većina drugih proteina netopljiva. U pH području 4 do 5 (izoelektričnom) nije moguće formirati stabilne emulzije. Stabilnost emulzije je sposobnost proteina da formiraju emulziju koja ostaje nepromijenjena određeno vrijeme pod danim okolnostima (Herceg i sur., 2004.; Herceg i sur., 2005.; Pearce i Kinsella, 1978.).

Vrste sirutkinih proteina

Koncentrat proteina sirutke (KPS)

Koncentrat proteina sirutke (KPS) je prah dobiven sušenjem retentata ili koncentrata, koji se dobiva ultrafiltracijom sirutke. Koncentrat proteina sirutke koji sadrži do 60 % proteina sirutke u suhoj tvari dobiva se isključivo ultrafiltracijom, dok je veći udio proteina u suhoj tvari KPS-a moguće ostvariti procesom dijafiltracije. Proteini se mogu koncentrirati do 80 % udjela u suhoj tvari (Bird, 1996.; Marshall, 1986.).

Ekonomski promatrano, dalje koncentriranje može se opravdati jedino u slučaju kada se ovaj proizvod ugrađuje u finalni proizvod visoke tržišne vrijednosti, kao što su dijetalni proizvodi, farmaceutski ili specijalni kozmetički proizvodi.

Prva generacija koncentrata proteina sirutke u prahu sadržavala je 30 - 40 % proteina te značajne količine laktoze, masti i denaturiranih proteina. Nazvana je «koncentratom» (WPC, «Whey Protein Concentrate»). Tako proizvedene proteine sirutke prvotno su izdvajali raznim postupcima taloženja

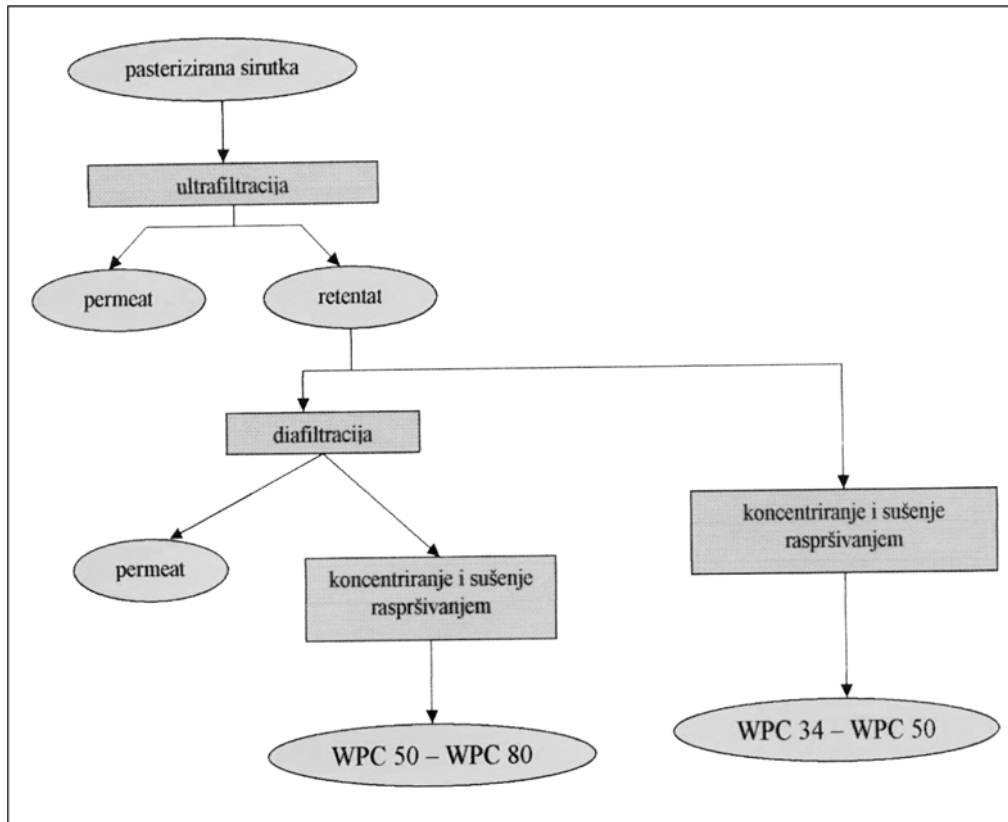
Tablica 5: Postupci koji se primjenjuju pri proizvodnji proteina sirutke (Fox, 2003.)

Table 5: Techniques involved in the manufacture of whey proteins (Fox, 2003)

Membransko fracioniranje Membrane fractionation	Ultrafiltracija, reverzna osomoza, elektrodijaliza, dijaliza, mikrofiltracija Ultrafiltration, reverse osmosis, electro dialysis, dialysis, microfiltration
Taloženje Precipitation	Metafosfati, karboksimetilceluloza, poliakrilna kiselina, željezo, alkohol Metaphosphates, carboxymethyl cellulose, polyacryl acids, iron, alcohol
Fizikalne i kromatografske separacije Physical and chromatographic separations	Gel filtracija, ionska izmjena, elektroflotacije, termička precipitacija, ultracentrifugiranje Gel filtration, ion-exchange, electro-flotation, thermal precipitation, ultracentrifugation

(najčešće pomoću karboksimetilceluloze), pri čemu je dobiven denaturirani sirutkin protein visoke nutritivne vrijednosti ali smanjenih funkcionalnih osobina, što je često bila i posljedica termičkog tretmana koji se primjenjuje pri njihovu izdvajanju. S razvojem tehnike membranske separacije,

omogućena je proizvodnja nenedenaturiranih koncentrata proteina sirutke koji se mogu frakcionirati na različite proteinske komponente važne za proizvodnju dječje hrane. U tablici 5 prikazani su razni postupci izdvajanja sirutkinih proteina, a na slici 4 dan je shematski prikaz procesa proizvodnje koncentrata proteina sirutke.



Slika 4: Shematski prikaz procesa proizvodnje koncentrata proteina sirutke (KPS) (www.usdec.org)

Figure 4: Processing scheme of whey protein concentrate (WPC) (www.usdec.org)

Ultrafiltracija sirutke je jedna od najperspektivnijih tehnologija koja se koristi za koncentriranje i izdvajanje nativnih proteina sirutke. Tehnološki proces dobivanja koncentrata sirutkinih proteina korištenjem ultrafiltracije, vrlo je jednostavan. Započinje centrifugalnim separatorom pomoću kojeg se vrši separiranje masti i čestica sira. Nakon separiranja vrši se pasterizacija, hlađenje i održavanje na određenoj temperaturi, a zatim slijedi ultrafiltracija ili

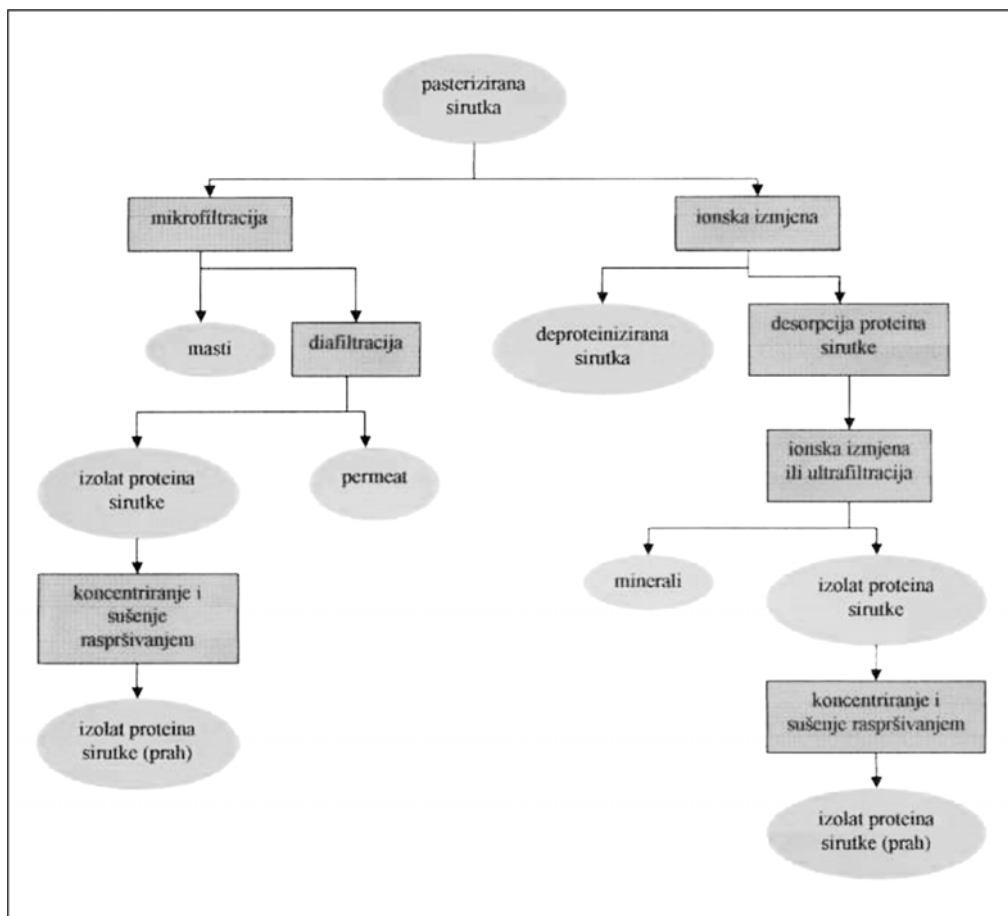
dijafiltracija te sušenje. Tako proizvedeni koncentrat proteina sirutke sadrže 70 - 80 % (pa čak i nešto više) proteina u suhoj tvari uz reduciranu količinu laktoze i masti.

Pretpostavlja se da je KPS (kao gotov pripravak) inferioran prema izolatima proteina sirutke (IPS), no to baš i nije tako. Iako KPS sadrži manje proteina u omjeru «gram za gram» negoli izolat, koncentrat visoke kvalitete sadrži raznovrsne interesantne sastojke koje rijetko možemo pronaći u izolatima (zbog različitih procesnih rješenja). KPS sadrži daleko veći udio faktora rasta, poput IGF-1, TGF-alfa i TGF-beta. Također, sadrži više različitih bioaktivnih lipida, poput konjugirane linolne kiseline (CLA), a često i višu razinu imunoglobulina i laktoferina. Iako nedostaju istraživanja o utjecaju tih sastojaka na mišićnu masu ili performanse sportaša, studije sugeriraju da ti sastojci mogu ojačati imunitet, povoljno utjecati na unutarnje organe i imati druge utjecaje na opće stanje organizma koje podjednako i sportaši i svi ostali konzumenti mogu smatrati poželjnima. Na primjer, CLA je izomer linolne kiseline, a ona pokazuje sposobnost povećanja nemasne mišićne mase, odnosno dodatno pospješuje gubitak masnog potkožnog tkiva. Osim toga, za CLA se drži da posjeduje antikancerogena svojstva (www.nutrix.hr/suplementi/protein/whey1.htm).

Izolat proteina sirutke (IPS)

Izolat proteina sirutke (IPS) najčešće se dobiva primjenom postupka ionske izmjene pri čemu u ovakvom tipu proizvoda zaostane više od 90 % proteina u suhoj tvari (slika 5). Upravo je koncentracija proteina u suhoj tvari postala osnova prema kojoj razlikujemo koncentrate od izolata, premda je, tehnički gledano, pojam «izolat» dugo vremena bio vezan isključivo uz način dobivanja ionskom izmjenom. IPS sadrži minimalne količine laktoze i gotovo ništa masti. Prednost dobrog IPS-a je upravo u tome što sadrži više proteina, a manje laktoze, masti i pepela po gramu nego KPS. Neposredno prije procesiranja ionskom izmjenom potrebno je podesiti pH vrijednosti sirutke zbog postizanja željenog naboja proteinske molekule. Sirutka zatim prolazi kroz ionski izmjenjivač koji adsorbira proteinske molekule dok se deproteinizirana sirutka ispire iz reaktora, a potom se podešava pH vrijednost kako bi se postigla desorpcija proteina koji se tada koncentriraju ultrafiltracijom te naknadno suše raspršivanjem. Ovdje je potrebno naglasiti da je tijekom procesiranja proteina sirutke potrebno posebnu pažnju pokloniti sprječavanju uklanjanja biološki aktivnih sastojaka sirutke. Zadržavanje

prirodnog, nedenaturiranog stanja proteina od iznimne je važnosti za njegovu antikancerogenu i imuno-stimulativnu aktivnost. Protein mora biti procesuiran na niskoj temperaturi, s niskim udjelom djelovanja kiselina kako ga se ne bi obezvrijedilo. Zbog tih razloga u proizvodnji izolata proteina sirutke često se koristi mikrofiltracija, tzv. Flow micro filtration (FMF) – protočna mikrofiltracija. Pri mikrofiltracijskom postupku koriste se niske temperature koje osiguravaju visok udio proteina (oko 90 %) uz zadržavanje važnih subproteinskih frakcija, mali udio masti i laktoze, gotovo bez denaturiranih



Slika 5: Shematski prikaz procesa proizvodnje izolata proteina sirutke (IPS) (www.usdec.org)

Figure 5: Processing scheme of whey protein isolate (WPI) (www.usdec.org)

proteina (Bylund, 1995.). FMF je postupak filtriranja sirutke kroz keramičke membrane (filtre) bez upotrebe kemijskih reagenasa poput klorovodične kiseline ili natrijevog hidroksida koji se često koriste za podešavanje pH vrijednosti sirutke. Nakon provedenog postupka mikrofiltracije, proteini se najčešće suše raspršivanjem. Izolati proteina sirutke upotrebljavaju se u namirnicama gdje odlučujuću ulogu imaju čvrstoća gela, viskoznost, vezanje vode i topljivost, pri čemu izolati proteina sirutke mogu značajno poboljšati okus i teksturu gotovog proizvoda. Ovakvi proteini najčešće se dodaju zamrznutim desertima, pićima, sladoledima te sportskim suplementima.

Zaključak

Dostupnost različitih vrsta proteina sirutke (KPS, IPS), pojedinačno usklađenih za određenu primjenu, porasla je zbog razvoja procesnih tehnika u prehrambenoj industriji koje su u velikoj mjeri omogućile procesiranje sirutke kao tradicionalnog nusproizvoda pri proizvodnji sira, kao koristan dodatak prehrambenim proizvodima.

Mogućnost njihove primjene kao potencijalnog dodatka prehrambenim proizvodima omogućilo je mliječnoj industriji jedinstvenu priliku za razvoj i opskrbu prehrambenih proizvoda dodatcima mliječnih proteina kako bi im poboljšali nutritivna i funkcionalna svojstva.

Proteini sirutke se u mljekarskoj industriji koriste već duže vrijeme zbog svojih prehrambenih ali i funkcionalnih svojstva, no u posljednje vrijeme sve se više primjenjuju i u drugim prehrambenim industrijama, prije svega u pekarskoj i mesnoj industriji te u proizvodnji dječje hrane.

Iz navedenog se može konstatirati da će u budućnosti korištenje proteina sirutke, kao funkcionalnog dodatka hrani, ovisiti o tome hoće li prehrambeni znanstvenici prepoznati važnost razumijevanja molekularne osnove funkcionalnosti proteina.

NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF WHEY PROTEINS CONCENTRATE AND ISOLATE

Summary

Whey protein fractions represent 18 - 20 % of total milk nitrogen content. Nutritional value in addition to diverse physico - chemical and functional

properties make whey proteins highly suitable for application in foodstuffs. In the most cases, whey proteins are used because of their functional properties. Whey proteins possess favourable functional characteristics such as gelling, water binding, emulsification and foaming ability. Due to application of new process techniques (membrane fractionation techniques), it is possible to produce various whey - protein based products. The most important products based on the whey proteins are whey protein concentrates (WPC) and whey protein isolates (WPI). The aim of this paper was to give comprehensive review of nutritional and functional properties of the most common used whey proteins (whey protein concentrate - WPC and whey protein isolate - WPI) in the food industry.

Key words: whey proteins, functional, therapeutic and nutritional properties of proteins

Literatura

- BIRD, J. (1996): The application of membrane systems in the dairy industry, *J. Soc. Dairy Technol.*, 49, 16-23.
- BYLUND, G. (1995): Dairy processing handbook. Tetra Pak, Processing Systems AB, Lund, Sweden.
- CORRADINI, C. (1998): Functional properties of whey proteins in foods. *Scienza e Technca Lattiero Casearia*, 49, 204-213.
- DAMODARAN, S. (1996a): Amino acids, peptides and proteins. *Food Chemistry*, 321-430. Fennema OR, New York: Dekker.
- DAMODORAN, S. (1996b): Amino acids, peptide and proteins. Marcel Dekker. Inc., New York, 15-21.
- DAMODORAN, S. (1997): Food proteins: an overview. U *Food Proteins and their Applications*; Damadoran, S., Paraf, A. Ured.; Marcel Dekker Inc.: New York, 1-24.
- DE WIT, J. N. (1998): Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food products. *Journal of Dairy Science* 81, 597-608.
- FOEGEDING, E. A., DAVIS, J. P., DOUCET, D., MCGUFFEY, M. K. (2002): Advances in modifying and understanding whey protein functionality. *Trends In Food Science Technology* 13, 151-159.
- FOX, P. F. (2003): The major constituents of milk In Dairy processing, e. Smith, G., 5-38.
- HERCEG, Z., LELAS, V., REŽEK, A. (2004.): Funkcionalna svojstva α -laktalbumina i β -laktoglobulina. *Mljekarstvo*, 54, 195-208.

HERCEG, Z., LELAS, V., KREŠIĆ, G., REŽEK, A. (2005.): Funkcionalnost izolata i hidrolizata proteina sirutke. *Mljekarstvo*, 55, 171-184.

HARAMCOW, A. G. (1979): Moločnaja Sivorotka. Piščevaja promišlenost, Moskva.

<http://www.bpc.mh-hannover.de>; <http://www.employees.csbsju.edu>; <http://www.soft-matter.uni.tuebingen.de>; <http://www.usdec.org>; <http://www.nutrix.hr/suplementi/protein/whey1.htm>

HUFFMAN, L. M. (1996): Processing whey protein for use as a food ingredient. *Food Technology*, 50, 49-52.

JAYAPRAKASHA, H. M., BRUECKNER, H. (1999): Whey protein concentrate: a potential functional ingredient for food industry. *Journal of Food Science and Technology*, 36, 189-204.

JOVANOVIĆ, S., BARAC, M., MAČEJ, O. (2005.): Serum proteini - osobine i mogućnost primjene. *Mljekarstvo*, 55, 215-233.

KING, L. (1996): Whey protein concentrates as ingredients. *Food Technology Europe*, 3, 88-89.

KINSELLA, J. E., WHITEHEAD, D. M. (1989): Proteins in Whey: Chemical, Physical, and Solubility of Whey Proteins. *Journal Dairy Science*, 67, 2701-2710.

MARSHALL, K. R. (1986): Industrial isolation of milk proteins: Whey proteins in developments in dairy chemistry - 1. Ured. Fox, P.F. Elsevier Applied Science Publishers Ltd., London and New York, 339-374.

MORR, C. V., FOEGEDING, E. A. (1990): Composition and Functionality of Commercial Whey and Milk Protein Concentrates and Isolates: A Status Report' in *Food Tech.*, 44, 100-112.

PEARCE, K. N., KINSELLA, J. E. (1978): Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidometric technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 26, 716-723.

RENNER, E. (1986): Milk proteins. Volkswirtschaftlicher Verlag, Munchen, str. 90-153.

TRATNIK, LJ. (1998.): Mlijeko - tehnologija, biokemija i mikrobiologija. Hrvatska mljekarska udruga, Zagreb, 345-380.

WEBB, M. F., MAAEM H. A., SCHMIDT, K. A. (2002): Food protein functionality in a liquid system. *Journal of Food Science*, 67, 2896-2902.

WEBB, B. H., JOHNSON, A. H., ALFORD, J. A. (1974): Fundamental of Dairy Chemistry. The AVI Publishing Company, INC., Westport

Adrese autora - Author's addresses:

Dr. sc. Zoran Herceg, izv. prof.

Anet Režek, dipl. ing.

Prehrambena-biotehnološki fakultet

Pierottijeva 6, Zagreb

Prispjelo - Received: 22.12.2006.

Prihvaćeno - Accepted: 08.01.2007.