

OGNJEN D. MAČEJ  
SNEŽANA T. JOVANOVIĆ  
MIROLJUB B. BARAĆ

Poljoprivredni fakultet,  
Univerzitet u Beogradu

637.146:66-911.48:541.68

## UTICAJ ODABRANIH FAKTORA NA REOLOŠKE OSOBINE I MIKROSTRUKTURU KISELOG KAZEINSKOG GELA

Gel se definiše kao „čvrsti” kolodni sistem u kojem koloidne čestice učestvuju u koherentnoj strukturi u koju je ukomponovana vodena faza. Prema modernoj terminologiji, gel se definiše kao viskoelastični čvrsti sistem, koji u zavisnosti od okolnosti teče kao viskozna tečnost ili se ponaša kao elastično čvrsto telo. Kiseli kazeinski gel se ubraja u čestične (partikularne) gelove, koji su izgrađeni od grozdova agregiranog materijala, koji zatim formiraju kontinuiranu mrežnu strukturu.

Nakon acidifikacije, miecele kazeina agregiraju usled neutralizacije naelektrisanja pri čemu dolazi do formiranja lanaca i grozdova u mreži. Poznavanje mehanizma agregacije je važno za razumevanje faktora koji utiču na finalnu teksturu konačnog proizvoda. Na strukturu kiselih mlečnih gelova utiču mnogi faktori, među kojima su koncentracija proteina, termički tretmani mleka, temperatura inkubacije ili acidifikacije i izbor sredstva za acidifikaciju.

Osnovni gradivni materijal kiselog kazeinskog gela su agregati različitih veličina koji se sastoje od povezanih kazeinskih micela (čestica). Tokom formiranja gela, ovi agregati se spajaju u manjem ili većem stepenu, formirajući na početku kratke grozdove. Ovi grozdovi zatim rastu u dužinu formirajući mrežu.

Kiseli kazeinski gel se ponaša kao viskoelastični materijal, pa se za merenje reoloških osobina primenjuju dina-

mička merenja, merenja napona relaksacije i merenje puženja.

Dinamička merenja i merenje napona relaksacije, izvode se pomoću viskozimetra, dok se merenje funkcije puženja vrše na reometru sa konstantnim naponom.

Dinamički test je definisan sledećim karakteristikama:

- modul elastičnosti –  $G'$
- modul viskoznosti –  $G''$
- dinamički viskozitet (Pas)
- kompleksni modul –  $G^*$

Tan  $\delta$  je odnos modula viskoznosti i modula elastičnosti ( $\tan \delta = G''/G'$ ).

U slučaju idealno elastičnog tela,  $\delta$  je jednak nuli, a primenjeni napon je u fazi sa deformacijom. Za idealno viskoznu tečnost  $\delta = \pi/2$  i napon je potpuno van faze sa deformacijom, ali je u fazi sa brzinom deformacije.

Sa povećanjem viskoznih svojstava povećava tan  $\delta$ , dok se povećanjem elastičnih svojstava smanjuje tan  $\delta$ . Takođe, može se zaključiti da je tan  $\delta$  idealan parametar za praćenje promene iz viskoznog tečnog (mleko) u čvrsto (gel) stanje.

Primena malog napona na kiseli kazeinski gel, rezultira izduživanjem proteinskog matriksa (koje ima povratnu reakciju); ukoliko se napon poveća iznad napona popuštanja (slamanja strukture), veze u matriksu se lome.

Čvrstoća gela se povećava sa povećanjem sadržaja proteina, termičkim predtretmanom mleka, povećanjem temperature pri kojoj se dodaju kiselene ili sredstva za acidifikaciju, i sniženjem pH vrednosti.

**Ključne reči:** kiseli kazeinski gel • reološke osobine • mikrostruktura • modul elastičnosti • modul viskoznosti • kompleksni modul

### UVOD

Na kvalitet, reološke i senzorne karakteristike kiselomlečnih proizvoda utiče veliki broj faktora. Osobine kiselog kazeinskog gela su važne za mnoge mlečne proizvode. Kiseli kazeinski gel spada u grupu partikularnih (čestičnih) gelova, čija je karakteristika velika heterogenost strukture, jer su proteinski lanci izgrađeni od agregata kazeinskih micela. Elastičnost gela ima veze sa energijskim aspektom strukture, tj. sa energijom veza koje obrazuju strukturu i sa energijom raskidanja tih veza. Mala gustina veza u partikularnim gelovima je razlog što ovakvi gelovi pokazuju relativno male module elastičnosti i viskoznosti (17). Kiseli kazeinski gel se ponaša kao viskoelastični materijal, tj. pokazuje osobine i tečnosti i čvrstog tela, pa se reološke karakteristike mogu meriti upotrebom reometra, viskozimetra, penetrometra, teksturometra i drugim aparatima (72). Postoji veliki broj parametara koji ukazuju na reološke karakteristike kiselog kazeinskog gela, mada se reološke karakteristike jogurta ne mogu posmatrati razdvojeno od mikrostrukture gela i teksture konačnog proizvoda. Fina gel struktura koja utiče na karakterističnu teksturu jogurta, nastaje kao rezultat kombinacije termičkog tretmana, kao i reakcije proteina indukovane kalcijumom i kiselinom. Čvrsti i tečni jogurt dobrih reoloških karakteristika, odlikuje se optimalnom čvrstoćom i slabo

Adresa autora: Prof. dr Ognjen Mačej, redovni profesor, Poljoprivredni fakultet, Nemanjina 6, 11080 Zemun. Tel: 011/2615–315 lok.368

izraženim sinerezisom. Samim tim, postoji veza između čvrstoće, sposobnosti vezivanja vode i stepena povezanosti kazeinskih micela, mada je kritična veza između povezanosti kazeinskih micela i micelarne hidratacije (27, 36, 46, 71).

Kiseli kazeinski gel ima viskoelastična svojstva, a kao takav pokazuje karakteristike i čvrstih tela (elastičnost) i tečnosti (viskozitet) (46), kada su podvrgnuti malim deformacijama ispod vrednosti napona popuštanja (vrednost koja zavisi od fine ravnoteže spontane dezintegracije strukture i brzine deformacije primenjene preko instrumenta). Merenje reoloških osobina upotrebom reometra, omogućava izračunavanje modula elastičnosti ( $G'$ ), modula viskoznosti ( $G''$ ) i fazne razlike ( $\tan \delta$ ).

Na veličinu modula elastičnosti i modula viskoznosti (70), utiču sledeći faktori:

- homogenost proteinskog matriksa gela (izraženo kao broj lanaca-agregata koje trpe napon ili deformaciju);
- karakter i broj veza između osnovnih elemenata unutar lanaca (izraženo preko promene Helmholtzove energije,  $dA=dU-TdS$ , gde je  $U$  unutrašnja energija,  $S$  – entropija sistema). Karakter veza je određen tipom veze između osnovnih elemenata;
- prostorna distribucija čestica – ovaj faktor ukazuje da samo deo od ukupnog broja veza efektivno utiče na mehaničke osobine. S obzirom da kazeinski gel potiče od koaguliranih čestica, koje sadrže nekoliko stotina kazeinskih molekula i oko 70–80% vode, proteinski matriks nema homogeno distribuciju različitih elektroforetskih komponenata kazeina. Njihova distribucija se može menjati od spoljašnjosti ka unutrašnjosti čestica. S druge strane, kazeinske čestice se takođe mogu smatrati kao dinamički entiteti u koje je moguće lako penetrirati i koje su podložne deformaciji. Zbog velike nehomogenosti kiselog kazeinskog gela, razumljivo je da ne učestvuju sve agregirane čestice sa jednakim intenzitetom u makroskopskim osobinama gela (70).

Jogurt pokazuje i tiksotropno ponašanje (28, 57), tj. viskozitet je funkcija i brzine smicanja i vremena trajanja spoljnog dejstva, jer se kod njega za razrušavanje i uspostavljanje unutrašnje strukture zahteva određeno vreme. Tokom primenjene mehaničke sile

(smicanja, napona), veze unutar gela se ruše, a po prestanku dejstva mehaničke sile, sistem teži da se vrati u prvobitno stanje, pri čemu dolazi do ponovnog uspostavljanja veza unutar sistema. Zbog toga se kod jogurta, kao i kod ostalih tiksotropnih sistema, prilikom oporavljanja pojavljuje smanjeni viskozitet, tj. histerezis. Ove dve krive viskoziteta, zatvaraju tzv. tiksotropnu petlju.

Tiksotropija je pojava da neki koloidni sistemi pri mirovanju prelaze u čvrsto stanje (gelificiraju), a pri mehaničkom dejstvu ponovo postaju tečni. Ovo razrušavanje nije trenutno, nego se veze raskidaju postepeno u toku nekog vremenskog intervala, a zavisi od intenziteta primenjenog spoljnog dejstva. Ovakvi sistemi teže da se vrate u prvobitno stanje, a ukoliko je vreme trajanja spoljnog dejstva dovoljno dugo, u sistemu se uspostavlja ravnoteža između broja veza koje se raskidaju i broja veza koje se ponovo uspostavlja. Ovo ponovno uspostavljanje veza se naziva *oporavljanje sistema*. Prema vremenu oporavljanja sistemi mogu biti brzooporavljajući i sporooporavljajući. Sistemi koji su oporavljaju pokazuju smanjeni viskozitet – *histerezis*, koji nastaje nakon prestanka spoljnog dejstva, a zavisi od intenziteta i trajanja prethodnog dejstva, kao i od uslova i trajanja oporavljanja (19).

### UTICAJ RAZLIČITIH FAKTORA NA REOLOŠKE OSOBINE I MIKROSTRUKTURA KISELOG KAZEINSKOG GELA

#### Uticao primarne obrade mleka na reološke osobine kiselog kazeinskog gela

Primarna obrada mleka ima značajan uticaj na reološke karakteristike kiselog kazeinskog gela, jer obuhvata sledeće operacije (75, 79): filtriranje, klarifikaciju (prečišćavanje), deaeraciju, standardizaciju sadržaja mlečne masti, standardizaciju sadržaja suve materije bez masti, dodavanje šećera i dodavanje stabilizatora.

#### Uticao deaeracije mleka na reološke osobine kiselog kazeinskog gela

Cilj ove tehnološke operacije je utvrđivanje prave količine mleka koje je prispevo u mlekaru, uklanjanje nepoželjnih mirisa i gasova, i obezbeđenja

optimalnih uslova za razvoj starter kulture (63, 67, 75, 76). Mleko koje se skladišti na niskoj temperaturi je zasićeno kiseonikom, koji se ne može ukloniti tokom zagrevanja u zatvorenom sistemu. U početnoj fazi rasta (lag faza rasta), BMK uklanjaju ovako rastvoren kiseonik, što ima za posledicu njihov usporen rast. Usled usporenog rasta BMK, visoka pH vrednost mleka se duže zadržava, čime je omogućen razvoj aerobnih kontaminenata (18, 52, 67, 68). U mleku koje nije deaerisano, vreme fermentacije je naročito produženo kada se koriste mezofilni starteri i bakterije intestinalnog porekla. Proizvodi dobijeni fermentacijom mleka koje nije deaerisano imaju lošu teksturu i javljaju se grube čestice gruša, može doći i do poremećaja između proizvodnje aromatičnih komponenti i acidifikacije (18, 67, 68, 75, 76, 79), a takođe može doći i do oksidacije masti (20).

#### Uticao standardizacije mleka na reološke osobine kiselog kazeinskog gela

Standardizacija mleka je jedna od najznačajnijih tehnoloških operacija u proizvodnji jogurta, jer se standardizacijom direktno utiče na sadržaj suve materije mleka, kao i na sadržaj masti.

#### Uticao standardizacije sadržaja suve materije bez masti na reološke osobine i mikrostrukturu jogurta – uticaj koncentracije proteina

Standardizacija sadržaja suve materije (SM) mleka, odnosno suve materije bez masti (SMBM) se primenjuje, ne samo zbog regulisanja zakonskih obaveza, već i radi poboljšanja senzornih i reoloških svojstava (pre svega čvrstine i viskoziteta) proizvoda. Standardizacija sadržaja suve materije se najčešće provodi dodavanjem UF (ultrafiltriranog) punomasnog ili obranog mleka, punomasnog ili obranog mleka u prahu, kazeinata i koncentrata proteina surutke i sl. (23), ili primenom određenih tehnoloških operacija kao što su evaporacija, ultrafiltracija i koncentrovanje mleka. Sadržaj suve materije mleka, koje se upotrebljava za proizvodnju jogurta, varira od 9% za obrano mleko, do 20%, a viskozitet konačnog proizvoda najviše zavisi od sadržaja proteina (9, 23, 27, 37, 53, 55, 58, 67, 68, 69, 74, 75, 76). Povećanjem sadržaja SM i SMBM, povećava se ti-

traciona kiselost mleka, usled povećanog puferskog kapaciteta mleka indukovanog povećanjem koncentracije proteina, fosfata, citrata i dr. (10, 55, 74, 75). Ujedno, usled povećanja koncentracije hranljivih materija potrebnih za razvoj starter kultura, dolazi do skraćivanja vremena fermentacije (74, 75).

Konzistencija jogurta se može poboljšati povećanjem sadržaja proteina, dodatkom stabilizatora i upotrebom starter kultura tzv. „viskozog tipa” (80). Sadržaj suve materije mleka, kao i sastav proteina u suvoj materiji, pokazuju veliki uticaj na reološke karakteristike konačnog gela (58, 60). Povećanje sadržaja suve materije bez masti, vodi ka povećanju čvrstine gela (9, 30, 31, 67). Povećanjem sadržaja suve materije, bez promene odnosa kazein : serum proteini, dolazi do povećanja broja kazeinskih micela po jedinici volumena, čime se utiče na veličinu pora u gelu i samim tim na podložnost ka sinerezisu. Ovaj uticaj je u tesnoj vezi sa termičkim tretmanima mleka pre acidifikacije, jer veća količina serum proteina asociiranih sa kazeinskom micelom, utiče na sposobnost zadržavanja vode (37, 54). U kazeinskom gelu sa 10 i 20% suve materije, ubrzana je direktna asocijacija micela, veliki grozdovi su sačinjeni od direktno vezanih kazeinskih micela, a lanci su raspoređeni u cik-cak. S druge strane, u kazeinskom gelu sa 30% suve materije, lanci sačinjeni od kazeinskih micela su znatno kraći, a dominiraju grozdovi koji su sačinjeni od manjeg broja kazeinskih čestica (30).

#### *Uticaj dodavanja serum proteina na reološke osobine gela*

Dodavanje serum proteina, i na taj način menjanje odnosa kazein:serum proteini (KSO), utiče pre svega na termičku stabilnost mleka, pa tako mleko sa malim KSO (npr. 20:80 ili 40:60) koaguliše već prilikom termičkog tretmana, pa se kao takvo ne može koristiti u proizvodnji kiselomlečnih napitaka (35).

Upotreba serum proteina u proizvodnji jogurta je preporučena do nivoa 1–2%, jer veći nivo dodavanja serum proteina izaziva neželjeni miris (74).

Menjanje odnosa kazein : serum proteini, utiče na čvrstinu kiselog kazeinskog gela jedino kada se koristi koncentrat serum proteina, a ukoliko se koristi slatka surutka u prahu, nije za-

beleženo veliko smanjenje čvrstine jogurta. U pogledu viskoziteta gotovog proizvoda, postoji linearna zavisnost između povećanja sadržaja serum proteina i smanjenja viskoziteta (13, 76). Međutim senzorne osobine jogurta sa izmenjenim KSO se menjaju (35), pa se sa povećanjem sadržaja serum proteina dobija proizvod sa manje ujednačenim, grudvastim izgledom, i sa ukusom karakterističnim za agregate denaturisanih serum proteina. Surutka u prahu je proizvod koji sadrži 65–70% laktoze, 11–15% proteina i 8–10% pepela. Da bi se realizovao njen potencijal kao funkcionalnog dodatka, mora biti demineralizovana i desalinizovana (41, 52). Koncentrat serum proteina dobijen pomoću elektrodijalize, značajno smanjuje čvrstoću nastalog gela, dok koncentrat serum proteina dobijen ultrafiltracijom ne menja čvrstinu gela, i može se porediti sa čvrstinom jogurta kada se dodaje obrano mleko u prahu (37), mada serum proteini utiču na pojavu neželjenog mirisa proizvoda (55). Nedenaturisani serum proteini pokazuju veću hidrofobnost od kazeina, što ukazuje da dodavanje nedenaturisanih serum proteina povećava hidrofobnost proteina u fermentisanim proizvodima. Međutim, primenom termičkih tretmana, dolazi do denaturacije i nastajanja kompleksa između serum proteina i kazeina, čime se poboljšavaju osobine čestica gela i dobija proizvod glatke strukture (56).

#### *Uticaj dodavanja mleka u prahu i proizvoda na bazi kazeina na reološke osobine gela*

Proizvodi bazirani na kazeinu (55), kao što su kazeinati, obrano mleko u prahu i koncentrat proteina mleka, imaju tendenciju povećanja čvrstine gela, kada se poredi sa gelovima dobijenim od mleka obogaćenog serum proteinima.

U našoj zemlji je, prema *Pravilniku o kvalitetu mleka i mlečnih proizvoda* (64), minimalni sadržaj SMBM u jogurtu, kiselom mleku, kefiru i acidofilnim napitcima iznosi 8.50%. Dozvoljeno je dodavanje 3% mleka u prahu bez obaveze isticanja na deklaraciji (179), a prema Puhau (183), instant mleko u prahu se može dodavati do 4%, mada to povećava sadržaj denaturisanih serum proteina u mleku (9, 67, 74). U praksi se najviše primenjuje dodavanje obranog mleka u prahu, u koncentraciji

2–4%, dok veća količina daje praškasti ukus (75, 76). Prema istraživanjima Bekić-Gaćeše (10) može se zaključiti, da se najveće povećanje viskoziteta postiže dodatkom 1% obranog mleka u prahu. Viskoзитet mleka se povećava, a sinerezis jogurta se smanjuje sa povećanjem koncentracije mleka u prahu, u intervalu 0–3%. Ujedno se povećava i čvrstina jogurta (27, 60).

Mačej i sar. (49, 50), su ispitivali mogućnost primene Na-kazeinata u proizvodnji ABT napitka i Buttermilka, i ustanovili njegovo povoljno dejstvo na reološka svojstva proizvoda (151), dok veće količine od 2% kazeinata imaju za posledicu neželjeno i nekontrolisano zgušnjavanje fermentisanih mleka (67, 78). Mikrostruktura jogurta proizvedenog od mleka kome je dodat kazeinat, značajno je izmenjena, jer su čestice veće, a lanci robusniji. Ujedno ovakav matriks pokazuje jednu otvorenu strukturu koja je podložnija indukovanom sinerezisu (37, 54, 78). Primena kazeina ili Na-kazeinata za povećanje SM materije, pokazuje dobre efekte koji se ogledaju u sledećem (37, 74, 75, 76, 78):

- Nije potrebno koncentrisanje mleka da bi se postigao željeni sadržaj proteina
- Značajno se povećavaju dimenzije kazeinskih čestica jogurta
- Postižu se prirodna aroma i izgled proizvoda
- Povećavaju se hidrofилna svojstva proteina, jer deluju kao stabilizatori
- Povećava se viskoзитet i čvrstina jogurta, a smanjuje sinerezis tokom skladištenja
- Dodaju se u količini tri puta manjoj od obranog mleka u prahu
- Maksimalna količina kazeina prema količini serum proteina ne sme prelaziti odnos 4.62 (4.56) : 1.00 jer bi došlo do pojave grube teksture jogurta

#### *Uticaj ultrafiltracije i reverzne osmoze mleka na reološke osobine gela*

Ultrafiltracija (UF) mleka je jedna od tehnoloških operacija koja se može koristiti za standardizaciju suve materije, čime se sastav suve materije mleka menja u korist komponenti velike molekulske mase, tj. masti i proteina. Primenom UF se ostvaruju promene na bezmasnoj suvoj materiji, jer se povećava sadržaj proteina, a jedan deo laktoze i mineralnih materija se odstranjuje sa

permeatom (1, 9, 69, 74, 75, 78). Ukoliko se za povećanje SMBM preko 9.6% koristi ultrafiltracija, konačni proizvod pokazuje znatno veću čvrstinu usled povećanog sadržaja proteina, nego kada se za povećanje sadržaja suve materije koristi evaporacija, dodavanje obranog mleka u prahu ili neka druga metoda povećanja suve materije (1, 9, 68, 78). Prema ispitivanjima Kršev i Tratnik (42), jogurt proizveden od mleka koje je ultrafiltrirano do sadržaja proteina 4.8% i 6%, (tj. do maksimalno 13% suve materije) pokazuje znatno bolju konzistenciju od kontrolnog uzorka, a da dalje povećanje suve materije preko 13% vodi ka nepoželjnom, sirastom izgledu proizvoda. S druge strane, zabeleženo je da se povećanjem suve materije mleka do čak 18–20%, može proizvesti jogurt dobrog kvaliteta, pri čemu nije potrebna homogenizacija mleka (74).

Primenom reverzne osmoze (poznata i kao hiperfiltracija), postiže se odvajanje komponenti male molekulske mase, pa se tako u permeatu nalazi samo voda, dok u retentatu zaostaju sve komponente mleka. Tako se za razliku od retentata ultrafiltriranog mleka, u retentatu mleka podvrgnutog reverznoj osmozi, nalazi velika količina laktoze.

Proizvodnjom jogurta od mleka podvrgnutog reverznoj osmozi, dobija se jogurt sličnih karakteristika, kao da se za proizvodnju koristi mleko obogaćeno obranim mlekom u prahu do željenog sadržaja suve materije (75).

#### *Uticao evaporacije mleka na reološke osobine gela*

Evaporacija je jedna od najboljih metoda sa stanovišta ukusa i konzistencije konačnog proizvoda. Vakuum evaporacija redukuje nivo uklopljenog vazduha mleka, redukuje sinerezis gotovog proizvoda i poboljšava stabilnost jogurta tokom skladištenja, što se može pripisati povećanju viskoziteta mleka usled interakcije kazeina i serum proteina (74). Step en evaporacije se podešava prema određenim zahtevima (67), kao što su određen sadržaj suve materije, željena konzistencija i viskozitet, dodavanje stabilizatora (nepotrebno je ako se koristi evaporacija), dodavanje voća, kao i željeni ukus (manje, ili više kremast). Lanci kazeinskih micela su kratki, a grozdovi su mali, a proteinski matriks je gušći nego ma-

triks jogurta proizvedenog od UF mleka (78).

#### *Uticao standardizacije mlečne masti na reološke osobine jogurta*

Standardizacijom mlečne masti u mleku, moguće je dobiti proizvode sa različitim sadržajem mlečne masti, koji su namenjeni različitim kategorijama potrošača (58). Jogurt se prvobitno proizvodio od mleka kojem nije podešavana suva materija, izuzev što se u nekim zemljama mleko ukuvavalo u cilju povećanja suve materije. Delimično ili potpuno odmaščivanje mleka je bio prvi zahvat, koji je uticao na sastav suve materije i sadržaj masti mleka. Danas je redukcija masti u suvoj materiji uobičajena tehnološka operacija u proizvodnji jogurta (9, 69), mada postoji i tendencija zamene mlečne masti sa masnoćom biljnog porekla (8).

Standardizacija mlečne masti u kiselomlečnim proizvodima varira u zavisnosti od vrste mleka, vrste proizvoda i zahteva tržišta. U zemljama članicama IDF-a, sadržaj mlečne masti u proizvodima se kreće u intervalu 0–4%, s izuzetkom Grčke gde se kreće i do 10% (68).

Standardizacija sadržaja mlečne masti (2, 63, 67, 76), može se izvršiti na sledeće načine:

- Mešanjem punomasnog i obranog mleka u određenom odnosu
- Delimičnim ili potpunim obiranjem mleka, u zavisnosti od vrste jogurta koji se proizvodi
- Mešanjem obranog mleka i pavlake određenog sadržaja masti
- Upotrebom centrifuga za standardizaciju
- Korišćenjem zamena za mlečnu mast u cilju proizvodnje nisko-kaloričnog jogurta

Mlečna mast pozitivno utiče na senzorna i reološka svojstva proizvoda. Tako npr. kiselo mleko sa većim sadržajem mlečne masti ima gel boljih reoloških karakteristika i veću čvrstinu u odnosu na kiselo mleko proizvedeno od obranog mleka (9, 68, 69). Kiselomlečni proizvodi proizvedeni od homogenizovanog mleka imaju sasvim drugačije reološke karakteristike od proizvoda dobijenih od nehomogenizovanog mleka (83).

#### *Uticao korišćenja zamena za mlečnu mast na reološke osobine kiselomlečnih proizvoda*

Postoji veliki broj zamena za mlečnu mast, a prema energetske vrednosti, podeljene su u dve glavne grupe: proizvodi sa redukovanom kalorijskom vrednošću i proizvodi bez kalorija. Prema poreklu se mogu podeliti u tri grupe i to (2, 3, 7, 73):

- *modifikovani skrob* uključujući vlaknaste proizvode, jer imaju dobra emulgujuća svojstva;
- *modifikovana mleka i/ili proteini jaja*, poznati kao mikročestični proteini; i
- *proizvodi sa grupama koje se ne mogu digestovati (probaviti) u organizmu*, kao npr. esteri glicerola, kompleksi ugljenih hidrata ili esteri masnih kiselina, a koji obezbeđuju svojstva slična prirodnim mastima, ali ne i energetske vrednost.

Korišćenje ovih zamena ne redukuje sposobnost bakterija mlečne kiseline da fermentišu laktozu u mlečnu kiselinu, a samim tim se ne menja tok koagulacije (2, 3, 7, 73), pri čemu se dobija proizvod dobrih senzornih karakteristika (3, 5), a postacidifikacija je slabo izražena ukoliko se koristi jogurtna kultura (6). Upotreba polisaharida, hidrokoloida ili zamena za mast na bazi skroba, utiče na reološke osobine proizvoda, posebno ako se koristi zamena na bazi skroba, jer može doći do interakcije sa proteinima mleka (77). Čvrstina proizvoda, kod kojih je korišćena zamena za mlečnu mast, povećava se tokom skladištenja (4, 7, 73, 77). Korišćenjem biljnih ulja kao zamene za mlečnu mast (maslinovo, suncokretovo ili kukuruzno ulje), dobijaju se proizvodi sa različitim viskozitetom i čvrstinom. Tako jogurt sa maslinovim uljem ima najveći viskozitet, dok jogurt sa suncokretovim uljem ima najmanji viskozitet. Čvrstina jogurta sa biljnim uljima se povećava tokom skladištenja (8).

#### *Uticao dodavanje stabilizatora i/ili emulgatora na reološke osobine i mikrostrukturu jogurta*

Proizvodnja jogurta i ostalih fermentisanih proizvoda bez defekata u izgledu i konzistenciji, i bez sinerezisa, je dugi niz godina problem u prehrambenoj industriji (55). Pojedini mlečni proizvodi, koji imaju veoma tečnu strukturu, zahtevaju određene aditive da bi



se izbegao sinerezis tokom čuvanja proizvoda unutar roka trajanja (48, 151). U našoj zemlji je, prema Pravilniku (64, 65), dopuštena upotreba 24 stabilizatora u koncentraciji od 0.5–1%, ali samo za proizvodnju voćnog i aromatizovanog jogurta, dok je prema Tamime i Robinson-u (76) preporučeno korišćenje do 0.3% stabilizatora, ili čak (29) do 0.5%.

Stabilizatori se dodaju da bi se poboljšala struktura, povećao viskozitet i smanjio sinerezis kiselomlečnih proizvoda, kao i da se produži trajnost kiselomlečnih proizvoda, mada postoje podaci da pojedini stabilizatori imaju inhibitorski efekat na produkciju mlečne kiseline, a samim tim usporavaju gelifikaciju (37, 38, 67, 76). Molekuli stabilizatora stvaraju mrežu vezujući se međusobno i sa sastojcima mleka, zahvaljujući prisustvu negativno naelektrisanih grupa, koje su grupisane na graničnoj površini (75).

Delovanje stabilizatora u jogurtu se ogleda u sledećem (75):

- Vezuju vodu, tako da voda prelazi u hidratnu vodu;
- Reaguju sa sastojcima mleka (uglavnom proteinima) i tako povećavaju njihov stepen hidratacije;
- Stabilizuju molekule proteina, tako da oni stvaraju mrežu koja sprečava slobodno kretanje vode.

Kao stabilizatori u proizvodnji jogurta, često se koriste modifikovani škrob, alginati, želatin, Na-kazeinat i dr., a često se koriste i sami proteini mleka u obliku koncentrata proteina mleka, obrano mleko u prahu, koncentrat serum proteina. Ukoliko se kao stabilizatori koriste proizvodi bazirani na kazeinu (kazeinatu, obrano mleko u prahu, koncentrat proteina mleka), dobija se jogurt dvostruko veće čvrstine u odnosu na upotrebu želatina kao stabilizatora (29, 36, 37, 54, 55, 57, 67, 76). Kada se kao stabilizator koristi želatin, jogurt ne pokazuje veliku čvrstinu, ali je sinerezis značajno smanjen, te se često karakteriše kao najviše gladak i ujednačen proizvod. Ujedno, na mikrografijama se ne primećuje prisustvo želatina unutar proteinskog matriksa, a kazeinske čestice su sklonije formiranju lanaca nego grozdova (38, 54). Dodavanje karagenana kao stabilizatora vodi ka povećanom broju grozdova u mikrostrukturi kazeinskog matriksa, dok dodavanje skroba menja mikrostrukturnu proizvodnju jer se formiraju vlakna

između spojenih kazeinskih micela (38). Ovo se može pripisati njegovoj termičkoj stabilnosti i povećanju stabilnosti osobina u kontaktu sa kalcijumovim solima i kazeinom u mleku (29). Mikrostruktura jogurta, kojem je kao stabilizator dodano obrano mleko u prahu i koncentrat serum proteina, ima sličnu strukturu u kojoj kazeinske micelle preko kratkih i tankih veza formiraju duge lance. Ukoliko se koristi Na-kazeinat kao stabilizator, kazeinske micelle izgledaju veće i jače su povezane, a jogurt ima veću čvrstinu i viskozitet, i manje je podložan sinerezisu (28, 54). Mikrostruktura jogurta se menja kada se kao stabilizatori koriste serum proteini, jer su kazeinski agregati razdvojeni i povezani preko fino flokulisanih serum proteina, tj. ne nastaju lanci formirani samo od kazeinskih micela (54), a jogurt ima manji viskozitet (28). Kada se kao stabilizator koriste određene vrste skroba, može se pojaviti gumasta tekstura proizvoda (80).

#### *Uticao dodavanja šećera, dodataka i konzervansa na reološke osobine jogurta*

U cilju povećanja asortimana kiselomlečnih proizvoda, kao i poboljšanja senzornih svojstava proizvoda, prilikom proizvodnje voćnih i aromatizovanih kiselomlečnih proizvoda, dodaju se šećeri ili zaslađivači u polaznu smešu (67, 75, 81, 82). Na ovaj način se dobija zaslađeni jogurt (23). Obično se dodaje do 5% šećera, a dodata količina je u skladu sa sadržajem šećera u voću. Količina dodatog šećera ne sme prelaziti 12%, jer usled osmotskog efekta može delovati inhibitorno na starter kulturu. Kao zaslađivači se obično koriste saharoza, invertni šećer, fruktoza, glukoza, glukozni sirup, sorbitol, saharin i ciklamati (21, 67, 75, 81, 82). Konzistencija ovakvih proizvoda je tipična za desertne kreme. Dodavanje zaslađivača utiče na formiranje ukusa kiselomlečnih proizvoda (82). Međutim, često se dešava da se dodavanjem šećera maskira prirodna aroma jogurta (26).

Šećer je najbolje dodavati pre pasterezacije, jer termički tretman mleka uništava osmofilne kvasce i plesni, koji se nalaze u šećeru, a struktura gotovog proizvoda je bolja, jer nema naknadnog oštećenja gela (67).

Međutim, kod velikog broja potrošača se javlja problem netolerancije

laktose, te je potrebno izvršiti hidrolizu laktose ili izvršiti supstituciju drugim šećerima ili veštačkim zaslađivačima, što opet ima za posledicu lošije senzorne osobine (81). Međutim, dodavanje fruktoze, koja je izrazito slatka, ima kao rezultat obogaćivanje proizvoda uz minimalno povećanje kalorične vrednosti proizvoda. Mana ovakvog proizvoda, je da gel lako otpušta surutku, ukoliko se ne koriste stabilizatori (21).

U cilju proizvodnje niskokaloričnog proizvoda, Greig i sar. (26) su proizveli jogurt bez masti i rezidualne laktose, a kao zaslađivač su koristili veštački zaslađivač, pri čemu su dobili proizvod sa dobrim viskozitetom, oštrog mirisa i sa značajno smanjenom energetskom vrednošću.

Dodaci koji se koriste da bi se povećala nutritivna vrednost proizvoda su najčešće vitamini i minerali (52).

Dodavanje konzervansa se primenjuje kod proizvodnje voćnog jogurta, a kao konzervansi se mogu koristiti SO<sub>2</sub>, benzoeva kiselina, sorbinska kiselina itd. Najčešće se primenjuje sorbinska kiselina u vidu K- ili Na-sorbata. U našoj zemlji nije dozvoljena upotreba sredstava za konzervisanje prilikom proizvodnje voćnog jogurta i kiselog mleka sa voćem, odnosno jogurta i aromatizovanog kiselog mleka (64).

#### **Uticao homogenizacije mleka na reološke osobine kiselog kazeinskog gela**

Homogenizacija mleka je tehnološka operacija kojom se usitnjavaju masne kapljice, tako da njihov prosečan prečnik iznosi <2 μm. U praksi se izvodi na t = 50–70°C i p = 9.8–19.6 MPa. Prilikom homogenizacije dolazi do promena u broju masnih kapljica i membrani masnih kapljica, zatim na proteinima i ostalim sastojcima mleka. Sprovedenje homogenizacije pre pasterezacije olakšava uništavanje bakterija mleka, mada proizvodi koji su izrađeni od mleka, koje je homogenizovano posle pasterezacije imaju bolju konzistenciju (20, 51, 67, 74, 76). Veličina masnih kapljica nakon homogenizacije zavisi od pritiska koji je primenjen, a smanjenje prečnika je proporcionalno sa povećanjem pritiska (67).

Homogenizacija mleka za proizvodnju kiselomlečnih proizvoda, sprovodi se u cilju sprečavanja izdvajanja mlečne masti u površinskom sloju mleka tokom fermentacije i skladištenja

gotovog proizvoda. Poboljšava se konzistencija i viskozitet proizvoda, a sinerezis je manje izražen, usled protein-protein interakcije i poboljšanja sposobnosti vezivanja vode. Boja kiselomlečnih proizvoda dobijenih od homogenizovanog mleka je belja u odnosu na boju kiselomlečnih proizvoda koji su proizvedeni od nehomogenizovanog mleka. Ovo je posledica povećane refleksije svetlosti o veći broj masnih kapljica. Obrazovanje pene kod homogenizovanog mleka je jače izraženo usled prelaska fosfolipida iz adsorpcionog sloja membrane masnih kapljica u mlečnu plazmu (20, 63, 67, 76, 83).

Reološke osobine kiselog kazeinskog gela načinjenog od homogenizovanog i nehomogenizovanog mleka se u potpunosti razlikuju, pri čemu se ove promene pripisuju promenama na membrani masne kapljice tokom homogenizacije, (74, 76, 83, 84, 85). Tokom formiranja gela, masne kapljice nehomogenizovanog mleka su obuhvaćene proteinskim matriksom, a s obzirom da membrana masnih kapljica nije promenjena, nema ni povezivanja masnih kapljica sa proteinskim matriksom.

Homogenizacija mleka koje se koristi za proizvodnju kiselomlečnih napitaka povoljno utiče na reološka svojstva gotovog proizvoda, koji imaju veći viskozitet i smanjen sinerezis, a posebno se preporučuje kada se za standardizaciju sadržaja suve materije koristi mleko u prahu (74, 76, 77). Viskoizitet gotovog proizvoda je povećan iz nekoliko razloga:

- homogenizovano mleko ima 1.3 puta veći viskozitet od nehomogenizovanog (20);
- Homogenizacijom dolazi do adsorpcije dela kazeina na površinu membrane novih masnih kapljica, tako da se one ponašaju kao pseudo-kazeinske micelle, usled čega masne kapljice aktivno učestvuju u formiranju proteinske mreže (27, 74, 76, 83, 84, 85);
- Ne dolazi do izdvajanja masti na površini, nego je mast ravnomerno raspoređena (67, 76);
- Broj veza unutar gela se povećava, što utiče na povećanje elastičnosti gela, (83, 84, 85);
- Viskoizitet tečnog jogurta se povećava skoro paralelno sa povećanjem pritiska homogenizacije (67);

- Povećana je hidrofilnost kiselog kazeinskog gela, pa se sinerezis značajno redukuje (67, 74, 76);
- Proizvodi su belji, a ukus je više kremast i puniji (67, 74, 76).

Pritisak homogenizacije i mesto homogenizacije u tehnološkom procesu, takođe pokazuje veliki uticaj na reološke osobine kiselomlečnih napitaka (74). Tako se kod Labana proizvedenog od mleka homogenizovanog pri 20 MPa nakon pasterizacije, značajno smanjuje količina izdvojene surutke, a viskoizitet ovakvog proizvoda je duplo manji u odnosu na nehomogenizovani proizvod (51). Viskoizitet tečnog jogurta raste skoro paralelno sa povećanjem primenjenog pritiska, a optimalan pritisak za homogenizaciju mleka za jogurt je 15–20 MPa, jer se tako dobija jogurt optimalnog viskoziteta (74).

#### Uticaj termičke obrade mleka na reološke osobine kiselog kazeinskog gela

Glavni cilj proizvođača jogurta je proizvodnja proizvoda sa optimalnom konzistencijom i stabilnošću. Među faktorima za koje je poznato da poboljšavaju konzistenciju jogurta, termički tretmani mleka imaju primarni značaj (16, 25, 27, 37, 39, 43, 57, 62, 66).

Cilj korišćenja strožijih režima termičke obrade mleka ima prvenstveno za cilj uništenje mikroflora mleka, inaktivaciju enzima mleka, menja se jonsko stanje mineralnih komponenti, što značajno skraćuje vreme koagulacije, i povećava se termička stabilnost mleka usled fizičko-hemijskih promena na proteinima mleka (20, 27, 67, 74, 76). Većina proizvoda na bazi mleka, prolazi u svom tehnološkom procesu makar jedan termički tretman, dok neki proizvodi u svom tehnološkom procesu imaju i više termičkih tretmana. Termički tretman je neophodna operacija u proizvodnji jogurta, čime se postiže nastajanje glatkog gela i smanjuje sinerezis (41). Termički tretmani mleka kao posledicu imaju denaturaciju serum proteina (44, 61, 66, 76). Tokom termičkih tretmana mleka dolazi do formiranja kompleksa između kazeina i serum proteina, što utiče na promenu površine kazeinske micelle, tj. na formiranje tzv. filamenata na kazeinskoj miceli. Ujedno, termički tretmani povećavaju hidratisanost kazeinskih micela, te se smatraju neophodnim za uobičajenu proizvodnju jogurta. Preporučuju se ta-

kvi termički tretmani koji će izazvati denaturaciju 70–95% serum proteina. Kao optimalni termički tretmani smatraju se oni, koji izazivaju denaturaciju serum proteina u obimu 80–85%. Ovaj stepen denaturacije se može postići termičkim tretmanima na 80–85°C u trajanju 20–30 min, zatim na 95°C u trajanju 5 minuta (74). Ukoliko se vrši standardizacija sadržaja suve materije na vrednosti 14–20%, mogu se primeniti blaži termički tretmani, koji kao posledicu imaju manji stepen denaturacije serum proteina (70–75%), tj. termički tretmani na 85°C/5 min, 90°C/2–3 min, 90–95°C/1–2 min ili 130–150°C/2–4 sekunde (156, 183), pri čemu se temperatura 85°C smatra kao kritična temperatura pri kojoj se menjaju osobine proteina mleka (39).

Nedovoljni termički tretman rezultira nastajanjem mekog gela, koji lako otpušta surutku (36, 39, 71), dok prejak termički tretmani imaju za posledicu nastajanje gela zrnaste strukture, koji takođe lako otpušta surutku (71). Ovo je direktno povezano sa odnosom  $\beta$ -laktoglobulin :  $\alpha$ -laktalbumin asociranim sa kazeinskom micelom (57). Gel formiran od termički netretiranog mleka ima manju čvrstinu za oko 2 puta, kada se poredi sa jogurtom proizvedenim od HTST i UHT sterilizovanog mleka, i oko 3 puta kada se poredi sa šaržnim načinom zagrevanja (39, 62), što ukazuje na manju elastičnost veza koje se formiraju tokom nastajanja gela (31, 40, 62). Kiseli kazeinski gel proizveden od netretiranog mleka ima modul elastičnosti  $G' < 20$  Pa, dok gel od mleka zagrevanog na 80°C/30 minuta ima modul elastičnosti u intervalu 390–430 Pa. Ovo je direktno povezano sa količinom serum proteina asociranih sa kazeinskom micelom (44). Mesta spajanja kazeinskih micela u lancima su jasno vidljiva na mikrofotografijama (16, 37). Najčešće objašnjenje za poboljšanje konzistencije jogurta nakon termičkih tretmana je činjenica da dolazi do denaturacije serum proteina (61, 66, 74), mada prema Parnell-Clunies i sar. (62) dalje povećanje denaturacije serum proteina preko 88% nema uticaja na čvrstinu jogurta. Na osnovu rezultata ovih autora, nema potrebe za zagrevanjem dužim od 10 min pri temperaturi 82°C, kada se postiže taj nivo denaturacije serum proteina (62).

Formiranje strukture gela od termički tretiranog mleka počinje ranije u

odnosu na netretirano mleko, što je posledica sniženja pH vrednosti mleka i formiranja koagregata proteina mleka, ali za posledicu ima sporiji razvoj elastične komponente, jer se koagulacija dešava pri višoj pH vrednosti. Kalab i sar. (39) navode da koagulacija termički tretiranog mleka počinje pri pH vrednosti 5.36, a netretiranog pri pH 5.14, dok se potpuna koagulacija kod termički tretiranog mleka dešava pri 5.17, a kod netretiranog pri pH 4.92. Jogurt načinjen od termički tretiranog mleka je čvršći i manje podložan sinezisu, a struktura ovakvog jogurta je finija, proteinski matriks je sastavljen od većeg broja malih čestica i bolje zadržava vodu. Filamenti formirani na kazeinskoj miceli tokom termičkih tretmana, utiču na slabije spajanje kazeinskih micela, što ima za posledicu finiju strukturu proteinske mreže (36, 37, 39, 57, 61, 74).

Na strukturu, konzistenciju, čvrstinu i viskozitet utiče i intenzitet termičkog tretmana, pa tako jogurt proizveden od mleka termički tretiranog na temperaturi 82°C u toku 10 min, pokazuje veći viskozitet, modul elastičnosti i čvrstinu nego jogurt načinjen od UHT ili HTST tretiranog mleka. Pravidni viskozitet jogurta je funkcija veličine agregata izmenjenih kazeinskih micela, koji sa druge strane zavise od obima nastajanja kovalentnih SH/SS veza između kazeina i serum proteina koje nastaju usled denaturacije i razvijanja globularnih serum proteina. Međutim, na čvrstinu jogurta utiču i kovalentne interakcije između serum proteina i kazeina, i ostale nespecifične interakcije kao što su vodonične veze, elektrostatske i hidrofobne interakcije koje drže proteinski matriks. Manji viskozitet jogurta proizvedenog od UHT mleka se može pripisati manjem stepenu denaturacije serum proteina (16, 43, 45, 57, 61, 62, 67). Razlike u poroznosti gela i veličini čestica jogurta proizvedenog od termički tretiranog i netretiranog mleka su očigledne, pa tako jogurt proizveden od netretiranog mleka ima krupniju proteinsku mrežu sačinjenu od velikih kazeinskih čestica, koje su povezane u velike agregate i grozdove. S druge strane, jogurt proizveden od termički tretiranog mleka ima finiju, kompaktniju proteinsku mrežu sačinjenu od manjih kazeinskih čestica, koje su u trodimenzionalnu mrežu povezane preko lanaca čestica. Unutar matriksa jogurta proi-

zvedenog od termički tretiranog mleka nalaze se pore prečnika 3–10  $\mu\text{m}$ , a u matriksu jogurta od termički netretiranog mleka pore su prečnika 5–20  $\mu\text{m}$ , što utiče na sposobnost vezivanja vode jogurta. Dijametar kazeinskih micela u jogurtu od netretiranog mleka je duplo veći u odnosu na dijametar kazeinskih micela jogurta proizvedenog od termički tretiranog mleka (39, 57, 61, 62).

#### **Uticaj temperature fermentacije / acidifikacije na reološke osobine kiselog kazeinskog gela**

Jedan od ključnih parametara koji utiče na formiranje kiselog kazeinskog gela, je i temperatura acidifikacije, mada i uticaj ostalih faktora, kao što su temperaturna istorija mleka, jonska snaga sistema i koncentracija proteina, imaju velikog uticaja na pH vrednost pri kojoj će doći do nastajanja gela (27, 46).

Povećanje temperature vodi ka povećanom broju veza i jačanju hidrofobnih veza, prvenstveno unutar kazeinskih čestica. Ovo izaziva skupljanje (kontrakciju) kazeinskih čestica i smanjenje voluminoznosti, smanjenje zone kontakta između čestica i slabije interakcije između čestica. Pri nižim temperaturama, kazeinske čestice imaju veću voluminoznost i više su sklone deformacijama nego pri višim temperaturama. Ovo se dešava usled manjeg broja hidrofobnih interakcija, koje inače dozvoljavaju česticama da tokom agregacije formiraju veći broj protein–protein veza (46).

Temperatura acidifikacije je veoma važna za formiranje kiselog kazeinskog gela, jer je kritična temperatura oko 8–10°C za formiranje gela pri pH=4.6. Pri temperaturama nižim od kritične, samo deo kazeina koaguliše, a ostatak je ili stabilan ili koaguliše veoma sporo. Posledica acidifikacije na niskoj temperaturi je nemogućnost formiranja trodimenzionalne mreže, pa dolazi do sedimentacije kazeinskih agregata. Na temperaturi 30°C, do koagulacije dolazi pri pH 4.9 (70), na temperaturi 25°C do koagulacije dolazi pri pH 4.8 (12), dok pri temperaturi 0–2°C i 5°C do koagulacije dolazi (12, 70) pri pH vrednosti nižoj od 4.3.

Promena iz tečnog u gel stanje, može se pratiti preko tan  $\delta$  (fazne promene). Sa povećanjem temperature acidifikacije, formiranje gela počinje ranije, a gel pokazuje više elastičnih ne-

go viskoznih osobina (40). Ujedno, kada se rade ispitivanja sa GDL (glukono- $\delta$ -laktone), povišena temperatura acidifikacije i sniženje pH vrednosti, utiču na formiranje gela veće čvrstine, što ukazuje da su jače veze koje učestvuju u formiranju proteinske mreže (31).

Gelovi obrazovani delovanjem termofilnih i mezofilnih kultura su osetljiviji na promenu temperature fermentacije. Viša temperatura koagulacije dovodi do nastajanja gela koji karakteriše veća inicijalna vrednost prividnog viskoziteta, ali i veći pad prividnog viskoziteta nakon mehaničkih tretmana (66).

#### **Uticaj brzine acidifikacije i formiranja gela na reološke osobine kiselog kazeinskog gela**

Brzina acidifikacije utiče da li će nastati precipitat ili gel. Brza acidifikacija ima za rezultat agregaciju i precipitaciju kazeina iz mleka, dok spora acidifikacija vodi ka formiranju proteinske mreže gela, sa dobrim kapacitetom vezivanja vode. Brzina formiranja gela, ili vreme potrebno za formiranje gela pri određenoj temperaturi, može se utvrditi i porediti sa konačnim karakteristikama gela. Brzina formiranja gela zavisi od temperature, termičkog tretmana, koncentracije acidulanta, koncentracije kalcijumovih jona, ili od kombinacije ovih faktora. Termički tretman povećava brzinu formiranja proteinske mreže tokom acidifikacije, dok se u mleku koje nije termički tretirano gelifikacija dešava mnogo sporije, pri čemu su olakšane micela–micela interakcije i dobija se gel mnogo gušće strukture. Ujedno, vreme gelifikacije se produžuje sa sniženjem temperature acidifikacije, a gel formiran pri nižim temperaturama ima veće vrednosti modula elastičnosti od onog koji se formira pri višim temperaturama acidifikacije (39, 40, 46). Najveći uticaj temperature acidifikacije na brzinu nastajanja gela je u temperaturnom intervalu od 10 do 20°C (70).

#### **Uticaj primenjene starter kulture na reološke osobine i mikrostrukturu jogurta**

Prilikom proizvodnje jogurta, mleko se koaguliše usled kombinovanog dejstva koka i bacila, koji metabolišu laktozu i konvertuju je u mlečnu kiselinu, čime se snižava pH vrednost. Međutim, bakterije mlečne kiseline izazivaju i značajan stepen proteolize u jogurtu, što vodi ka promeni strukture



proizvoda, iako se smatra da su ove bakterije samo slabi proteolitici. Odnos koka i bacila određuje aromu gotovog jogurta. Poseban uticaj na mikrostrukturu i viskozitet gotovog proizvoda imaju bakterije koje proizvode tzv. egzopolisaharide, koji imaju ulogu stabilizatora (33, 34, 37, 78). Na mikrografijama je ovo jasno vidljivo, jer su bakterije povezane sa proteinskim matriksom, a ne samo inkorporirane u gel (38, 78). Struktura proteinskog matriksa zavisi pre svega od sadržaja proteina, primenjenog termičkog tretmana, prisustva ili odsustva mlečne masti, dodatih stabilizatora i egzopolisaharida koje proizvode bakterije (34). Viskozitet jogurta proizvedenog sa Eps<sup>+</sup> sojevima dostiže više vrednosti od jogurta proizvedenog sa Eps<sup>-</sup> sojevima (11).

Tip i karakter startera, koji se upotrebljavaju u proizvodnji fermentisanih mlečnih napitaka, su dva najvažnija faktora koja određuju kvalitet finalnog proizvoda. Osnovni kriterijum za startere uključuje brzinu acidifikacije, aromu, miris, stabilnost i teksturu konačnog proizvoda (11).

Prilikom proizvodnje kiselomlečnih proizvoda sa bakterijama intestinalnog porekla, bitni parametri kvaliteta su viskozitet, broj živih ćelija mikroorganizama po jedinici volumena i pH vrednost proizvoda. Viskozitet zavisi od sadržaja proteina, stepena njihove hidratisanosti i disperznosti, sadržaja mlečne masti i njenog agregatnog stanja, primenjenog režima termičke obrade, mehaničkih tretmana, načina hlađenja i punjenja. Viskozitet se tokom skladištenja i čuvanja ovakvih proizvoda povećava, što povoljno utiče na reološke i senzorne osobine ovih proizvoda (47).

Bez obzira koji se tip kulture koristi, jogurt pokazuje tiksotropno ponašanje. Petlja histerezisa, koja se obrazuje između uzlazne i silazne krive, je mera obima rušenja strukture tokom smicanja. Na osnovu petlje histerezisa se može zaključiti da jogurt proizveden sa Eps<sup>+</sup> sojevima ima veći broj polimernih veza (32). Kada se za proizvodnju jogurta upotrebljavaju sojevi koji proizvode egzopolisaharide (Eps<sup>+</sup> sojevi), tada unutar proteinskog matriksa dolazi do stvaranja veza između bakterija, egzopolisaharida i proteina, pri čemu su ove veze jače nego veze koje se formiraju između proteina (34). Jogurt proizveden sa enkapsuliranim sojevima ima strukturu sa većim pora-

ma unutar proteinskog matriksa, jer kada se pH vrednost spusti ispod tačke koagulacije, bakterijske ćelije deluju kao jezgra za formiranje pora, a kazeinske čestice se rearanžiraju oko pora (32). Prilikom razaranja veza između bakterijskih ćelija i egzopolisaharida, veze između egzopolisaharida i proteina ostaju i na taj način utiču na prividni viskozitet (11, 32). Sve ovo može biti od posebnog značaja u proizvodnji jogurta, gde se upotrebljavaju tehnološke operacije (npr. transport jogurta pomoću pumpi i punjenje u ambalažu), koje se klasifikuju kao procesi koji imaju veliku brzinu smicanja (34). Napon rušenja strukture predstavlja silu koja je potrebna da se prevaziđe krutost veza, tj. da se inicira tečenje. Jogurt proizveden sa enkapsuliranim Eps<sup>-</sup> sojevima, pokazuje manje vrednosti napona rušenja strukture, nego jogurt proizveden sa nekapsuliranim Eps<sup>-</sup> sojevima. Na osnovu ove činjenice, Hassan i sar. (32) zaključuju da bakterijske kapsule stvaraju slabe tačke unutar strukture gela, koje ujedno ruše kontinuitet strukture (proteinskog matriksa gela). Veće bakterijske kapsule izazivaju i veće prekidanje kazeinske mreže (33). Na osnovu svega izloženog, može se zaključiti da se korišćenjem Eps<sup>+</sup> sojeva dobija gel, koji je mekši i ima manje vrednosti napreznjanja grušta od gela dobijenog sa Eps<sup>-</sup> sojevima (11, 32, 33, 34).

#### Uticaj postkoagulacionih mehaničkih operacija na reološke osobine kiselog kazeinskog gela

Proces proizvodnje tečnih i čvrstih kiselomlečnih proizvoda je sličan do operacije fermentacije. Rušenja strukture koaguluma tečnog jogurta se dešavaju na nekoliko mesta od zrijača do mašine za punjenje (74). Nakon dostizanja željene kiselosti, inkubacija se prekida hlađenjem (68), što ima za posledicu povećanje modula elastičnosti unutar strukture gela (45). Prilikom proizvodnje tečnih kiselomlečnih proizvoda, fermentacija se odvija u duplikatorima (zrijačima), a po završetku fermentacije, dobijeni gel se razbija, hladi i pakuje (18, 68). Nakon mešanja gela, koje se obavlja u zrijačima, pri čemu kritičnu ulogu ima brzina mešanja (74), jogurt dobija zbijenu i glatku strukturu, koja ima karakterističan viskozitet (68). Transport se vrši dok je gel još topao (kisel kazeinski gel se može opisati

kao „voda u gel fazi“) što može izazvati razne značajne promene u strukturi kiselog kazeinskog gela, koje se manifestuju pojačanim sinerezisom (68). Kod čvrstih kiselomlečnih proizvoda, fermentacija se odvija u komorama za fermentaciju, a kiselomlečno mleko se dalje hladi u hladnjači. Ove proizvode karakteriše čvrstina, koja je bazirana na strukturi proteinskog matriksa formiranog tokom acidifikacije (18, 48).

Mikrostruktura čvrstog jogurta je bazirana na trodimenzionalnoj mreži lanaca i grozdova sačinjenih od kazeinskih micela, dok tečni jogurt karakteriše mikrostruktura u kojoj dominiraju grozdovi povezani preko tankih vlakana (38).

Viskozitet tečnog jogurta zavisi od proteinske mreže i egzopolisaharida koje obrazuju bakterije. Viskozitet proizvoda ostaje visok sve dok su proteinski lanci upleteni u mrežu, pa stoga razbijanje gela predstavlja jednu od najvažnijih operacija u proizvodnji jogurta, jer se na taj način smanjuje viskozitet. Efikasnost mešanja zavisi od brzine rotacije, razlike brzina između mešalice i fluida u sudu, stvaranja vrtloga, uvođenja vazduha u masu fluida, efekta smicanja između čestica fluida. Svi ovi faktori utiču i na reološke i na senzorne karakteristike jogurta (18, 48, 59).

Razbijanje gela nakon fermentacije uz stvaranje jačih vrtloga ili uvođenje vazduha u strukturu gela (kod jogurta je to „gel u vodenoj fazi“), izaziva manji viskozitet proizvoda. Razbijanje toplog koaguluma rezultira određenim smicajnim efektima, a negativne posledice takvog tretmana se mogu dobrim delom redukovati kontrolom brzine rotacije, tj. optimalnim izborom sile kojom se deluje na gel, oblikom i profilom lopatica mešalice (18, 48, 74).

Pumpe koje se koriste u mlekarскоj industriji za transport jogurta mogu biti centrifugalne, klipne, ili sa rotacionim elementima, od kojih su poslednje najznačajnije, jer je strujanje fluida geometrijsko, nemaju ventile, moguće je raditi pri velikim brzinama i malim pulzacijama protoka (48). Delovanje pumpi takođe utiče na konzistenciju jogurta (59), jer indukuju velike deformacije smicanja. Manje štetan uticaj na konzistenciju jogurta ima *positive displacement* pumpa, nego centrifugalna pumpa, dok najmanje štetan uticaj na



konzistenciju jogurta ima mono-pumpa (74).

Na viskozitet jogurta utiču i pumpe i cevovodi, a da bi smanjenje viskozite-ta bilo što manje, preporučuju se pumpe sa rotacionim elementima i cevi velikog prečnika. Mašine za pakovanje su poslednji uređaj u liniji, i takođe utiču na viskozitet gotovog proizvoda. Bez obzira koji je tip mašine u pitanju, sniženje viskozite-ta je manje ako se koristi mala brzina punjenja i velika površina glave punilice (75).

Hlađenje jogurta je vrlo značajna operacija, jer se nova struktura mešanog jogurta formira na niskoj temperaturi, a na ovaj način se ujedno redukuje metabolička aktivnost starter kultura i kontroliše kiselost jogurta. Hlađenje može biti jednostepeno (temperatura niže od 10°C), ili dvostepeno (do temperature 24°C), gde se dalje hlađenje do temperature 4–6°C vrši tokom čuvanja u hladnjači. Proces hlađenja se može vršiti u fermentorima, pločastim izmenjivačima toplote, cevastim izmenjivačima (koji doprinose daljem smanjenju viskozite-ta jogurta), pri čemu cevasti izmenjivači u manjoj meri utiču na smanjenje viskozite-ta jogurta nego pločasti (18, 48, 59, 74).

## LITERATURA

- Abrahamsen, R.K. and Holmen, T.B. (1980): *Yoghurt from hyperfiltrated, ultrafiltrated and evaporated milk and from milk with added milk protein*, *Milchwissenschaft* 35 (7), 399–402
- Barrantes, E. and Tamime, A.Y. (1992): *Starters in fat-substitute yogurts*, *Dairy Ind. Inter.* 57 (8), 27–29
- Barrantes, E., Tamime, A.Y. and Sword, A.M. (1994a): *Production of low-calorie yogurt using skim milk powder and fat-substitutes. 3. Microbiological and organoleptic qualities*, *Milchwissenschaft* 49 (4), 205–208
- Barrantes, E., Tamime, A.Y. and Sword, A.M. (1994b): *Production of low-calorie yogurt using skim milk powder and fat-substitutes. 4. Rheological properties*, *Milchwissenschaft* 49 (5), 263–266
- Barrantes, E., Tamime, A.Y., Auchincruive, S.A.C. and Sword, A.M. (1993): *Fat-free yogurt – like or dislike?*, *Dairy Ind. Inter.* 58 (11), 33–35
- Barrantes, E., Tamime, A.Y., Davies, G. and Barclay, M.N.I. (1994c): *Production of low-calorie yogurt using skim milk powder and fat-substitutes. 2. Compositional quality*, *Milchwissenschaft* 49 (3), 135–139
- Barrantes, E., Tamime, A.Y., Muir, D.D. and Sword, A.M. (1994d): *The effect of substitution of fat by microparticulate whey protein on the quality of set-type, natural yogurt*, *Journal of the Society of Dairy Techn.* 47 (2), 61–68
- Barrantes, E., Tamime, A.Y., Sword, A.M., Muir, D.D. and Kalab, M. (1996): *The manufacture of set-type natural yoghurt containing different oils – 2. Rheological properties and microstructure*, *Int. Dairy J.* 6, 827–837
- Becker, T. and Puhan, Z. (1989): *Effect of different process to increase the milk solids non-fat content on the rheological properties of yoghurt*, *Milchwissenschaft*, 44 (10), 626–629
- Bekić-Gaćeša, S. (1984): *Ispitivanje uticaja raznih čimbenika na fizičko-hemijske osobine jogurta*, Magistarski rad, Tehnološki fakultet Novi Sad.
- Bouzar, F., Cerning, J. and Desmazeaud, M. (1997): *Exopolysaccharide production and texture-promoting abilities of mixed-strain starter cultures in yogurt production*, *J. Dairy Sci.* 80 (10), 2310–2317
- Bringe, N.A. and Kinsella, J.E. (1990): *Acidic coagulation of casein micelles: mechanisms inferred from spectrophotometric studies*, *J. Dairy Res.* 57, 365–375
- Buchheim, Von W., Peters, K.-H. und Kaufmann, W. (1986): *Technologische, physikalisch-chemische und sensorische Aspekte von Milch und Sauermilch mit modifiziertem Casein/Molkenprotein-Verhältnis*, *Milchwissenschaft*, 41 (3), 139–141
- Curley, D.M., Kumosinski, T.F., Unruh, J.J. and Farrell, H.M. (1998): *Changes in the secondary structure of bovine casein by Fourier transform infrared spectroscopy: effects of calcium and temperature*, *J. Dairy Sci.* 81 (12), 3154–3162
- Dalgleish, D.G. (1990): *Denaturation and aggregation of serum proteins and caseins in heated milk*, *J. Agricultural and Food chemistry*, 38 (11), 1995–1999
- Davies, F.L., Shankar, P.A., Brooker, B.E. and Hobbs, D.G. (1978): *A heat-induced change in the ultrastructure of milk and its effect on gel formation in yoghurt*, *J. Dairy Res.* 45 (1), 53–58
- Dickinson, E. (1990): *Colloids. Particle gels*, *Chemistry & industry*, October, 595–599
- Driessen, F.M. and Loones, A. (1993): *Developments in the fermentation process (Liquid, stirred and set fermented milks)*, *Bulletin of the IDF No 277*, Chapter 4, 28–40
- Đaković, L.J. (1988): *Koloidna hemija*, Zavod za izdavanje udžbenika Novi Sad
- Đorđević, J. (1987): *Mleko* Naučna knjiga, Beograd
- Đorđević, J., Mačej, O., Mišić, D. i Ašanin, S. (1980): *Kiselo-mlečni proizvod sa fruktozom*, *Mlječarstvo* 30 (2), 35–44
- Elfagm, A.A. and Wheelock, J.V. (1978b): *Heat interaction between  $\alpha$ -lactalbumin,  $\beta$ -lactoglobulin and casein in bovine milk*, *J. Dairy Sci.* 61 (2), 159–163
- FAO (1975): *Codex alimentarius – Codex standard for yoghurt (yogurt) and sweetened yoghurt*, *Codex Standard A–11(a)*
- Godovac-Zimmermann, J. and Braunitzer, G. (1987): *Modern aspects of the primary structure and function of  $\beta$ -lactoglobulins*, *Milchwissenschaft* 42 (5), 294–296
- Green, M.L. (1980): *The formation and structure of milk protein gels*, *Food chemistry* 6, 41–49
- Greig, R.I.W., Bayley, C.M. and Mansfield, K.A. (1985): *Yogurt sweetness – is added sugar necessary*, *Dairy Ind. International* 50 (8), 15, cont. on page 19
- Guinee, T.P., Puda, P.D. and Farkye, N.Y. (1993): *Fresh acid – curd cheese varieties. In: Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology – 2. Major cheese groups*. Ed. P.F. Fox, Chapman & Hall, London, UK., 363–419
- Guinee, T.P., Mullins, C.G., Reville, W.J. and Cotter, M.P. (1995): *Physical properties of stirred-curd unsweetened yoghurts stabilised with different dairy ingredients*, *Milchwissenschaft* 50 (4), 196–200
- Hall, T.A. (1975): *Yogurt formulations with attention to stabiliser systems*, *Cultured Dairy Products Journal*, August, 12–14
- Harwalkar, V.R. and Kalab, M. (1980): *Milk gel structure. XI. Electron microscopy of glucono- $\delta$ -lactone-induced skim milk gels*, *J. Texture studies* 11, 35–49
- Harwalkar, V.R., Kalab, M. and Emmons, D.B. (1977): *Gels prepared by adding D-glucono- $\delta$ -lactone to milk at high temperature*, *Milchwissenschaft*, 32 (7), 400–402
- Hassan, A.N., Frank, J.F., Schmidt, K.A. and Shalabi, S.I. (1996a): *Rheological properties of yogurt made with encapsulated nonropy lactic cultures*, *J. Dairy Sci.* 79 (12), 2091–2097
- Hassan, A.N., Frank, J.F., Schmidt, K.A. and Shalabi, S.I. (1996b): *Textural properties of yogurt made with encapsulated nonropy lactic cultures*, *J. Dairy Sci.* 79 (12), 2098–2103
- Hess, S.J., Roberts, R.F. and Ziegler, G.R. (1997): *Rheological properties of nonfat yogurt stabilized using Lactobacillus delbrueckii spp. bulgaricus producing exopolysaccharide or using commercial stabilizer systems*, *J. Dairy Sci.* 80 (2), 252–263
- Jelen, P., Buchheim, W. and Peters, K.-H. (1987): *Heat stability and use of milk with modified casein: whey protein content in yogurt and cultured milk products*, *Milchwissenschaft*, 42 (7), 418–421
- Kalab, M. (1979): *Microstructure of dairy foods. 1. Milk products based on protein*, *J. Dairy Sci.* 62 (8), 1352–1364
- Kalab, M., Allan-Wojtas, P. and Phipps-Todd, B.E. (1983): *Development of microstructure in set-style nonfat yoghurt – a review*, *Food microstructure* 2, 51–66
- Kalab, M., Emmons, D.B. and Sargent, A.G. (1975): *Milk gel structure. IV. Microstructure of yoghurts in relation to the presence of thickening agents*, *J. Dairy Res.* 42 (3), 453–458
- Kalab, M., Emmons, D.B. and Sargent, A.G. (1976): *Milk gel structure. V. Microstructure of yoghurt as related to the heating of milk*, *Milchwissenschaft* 31 (7), 402–408

40. Kim, B.J. and Kinsella, J.E. (1989): *Rheological changes during slow acid induced gelation of milk by D-glucono- $\delta$ -lactone*, J. Food Sci. 54 (4), 894-898
41. Kinsella, J.E. (1984): *Milk-proteins: Physico-chemical and functional properties*, CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 21, (3), 197-262
42. Kršev, L.J. i Tratnik, L.J. (1991): *Utjecaj koncentracije proteina na fermentaciju i organoleptička svojstva fermentiranog proizvoda pripremljenog jogurtom kulturom*, Preh. Ind. Vol. 2, (1-2), 6-10
43. Labropoulos, A.E., Collins, W.F. and Stone, W.K. (1984): *Effects of Ultra-High temperature and Vat processes on heat-induced Rheological properties of yogurt*, J. Dairy Sci., 67 (2), 405-409
44. Lucey, J.A., Temehana, M., Singh, H. and Munro, P.A. (1998): *Effect of interactions between whey proteins and casein micelles on the formation and rheological properties of acid skim milk gels*, J. Dairy Res. 65, 555-567
45. Lucey, J.A., Tet Teo, C., Munro, P.A. and Singh, H. (1997a): *Rheological properties at small (dynamics) and large (yield) deformations of acid gels made from heated milk*, J. Dairy Res. 64, 591-600
46. Lucey, J.A., van Vliet, T., Grolle, K., Geurts, T. and Walstra, P. (1997b): *Properties of acid casein gels made by acidification with Glucono- $\delta$ -lactone. 1. Rheological properties*, Int. Dairy J. 7, 381-388
47. Mačej, O.D., Jovanović, S.T., Vukićević, D.M. i Čolović, B. (1998): *Dinamika kiselosti i efektivne viskoznosti acidofilnog jogurta u toku skladištenja*, Preh. Ind. 9 (3-4); 71-75
48. Mačej, O.D., Kosi, F.F., Mikuljanac, A.M. i Jovanović, S.T. (1997): *Uticaj tehnoloških operacija na kvalitet fermentisanih napitaka*, Jugoslavenski mlekerski simpozijum „Kvalitet mleka i fermentisanih proizvoda”, Zlatibor. Monografija. Ur. Obradović, D., Niketić, G., Carić, M., Mijačević, Z. i Sekulović, N. 62-70
49. Mačej, O., Ristić, J., Obradović, D., Puđa, P., Mikuljanac, A. i Jovanović, S. (1994): *Uticaj Na-kazeinata na viskozitet ABT fermentisanog obranog mleka*, Zbornik radova X Jubilarnog savetovanja „Aditivi u tehnologiji mleka”, Tehnološki fakultet, Novi Sad, 8-9
50. Mačej, O., Bulatović, A., Jovanović, S., Obradović, D., Mikuljanac, A., Puđa P., i Ivanović, M., (1995): *Uticaj Na-kazeinata na reološke i senzorne osobine kiselomlečnih proizvoda od obranog mleka sa maslačnom kulturom (Buttermilk)*, Monografija „Savremeni trendovi u prehrambenoj tehnologiji”, Ur. Obradović, D. i M.A. Janković, Poljoprivredni fakultet, Beograd, 366-375
51. McKenna, A.B. (1987): *Effects of homogenization pressure and stabilizer concentration on the physical stability of longlife Laban*, New Zealand J. Dairy Sci. and Techn. 22, 167-174
52. Meriläinen, V.I. and Dellaglio, F. (1990): *New trends in the treatment of milk as substrate for fermentation*, XXIII Int. Dairy Congress, Montreal, 1917-1924
53. Mijačević, Z. (1992): *Tehnologija mleka – Fermentisana mleka i sirevi*, Savez Veterinara i veterinarskih tehničara Jugoslavije – odbor za izdavačku delatnost
54. Modler, H.W. and Kalab, M. (1983): *Microstructure of yogurt stabilized with milk proteins*, J. Dairy Sci. 66 (3), 430-437
55. Modler, H.W., Larmond, M.E., Lin, C.S., Froehlich, D. and Emmons, D.B. (1983): *Physical and sensory properties of yogurt stabilised with milk proteins*, J. Dairy Sci. 66 (3) 422-429
56. Mottar, J., Baert, J., Waes, G. and van Cauwelaert, F.H. (1987): *Influence of the addition of whey proteins and of an ultrasonic treatment on the appearance of an acid casein gel after heating*, Neth. Milk Dairy J. 41, 207-214
57. Mottar, J., Bassier, A., Joniau, M. and Baert, J. (1989): *Effect of heat-induced association of whey proteins and casein micelles on yogurt texture*, J. Dairy Sci. 72 (9), 2247-2256
58. Niketić, G.B., Pavlović, L.J.S. i Golubović, R.J. (1998): *Nove mogućnosti pripreme mleka za proizvodnju fermentisanih mlečnih napitaka*, Zbornik radova, Savremeni trendovi u mlekarstvu, Zlatibor, Ur. Niketić, G., Milanović, S., Puđa, P., Mijačević, Z. i Sekulović, N.; 189-194
59. Nilsson, L-E. and Hallström, B. (1990): *Fermented milks. Engineering and process automation aspects*, XXIII Int. Dairy Congress, Montreal, 1954-1959
60. Omar, M.M. and Abou-El-Nour, A.M. (1998): *Rheological properties of yogurt enriched with whole milk protein*, Egyptian J. Dairy Sci., 26 (1), 77-88 – abstract (cited from Dairy Sci. Abstracts 1998, 60 (12), 924, abstract No 7100)
61. Parnell-Clunies, E., Kakuda Y. and Smith, A.K. (1987): *Microstructure of yogurt as affected by heat-treatment of milk*, Milchwissenschaft, 42, 413-417
62. Parnell-Clunies, E., Kakuda, Y., Mullen, K., Arnett, D.R. and de Man, J.M. (1986): *Physical properties of yogurt: a comparison of vat versus continuous heating systems of milk*, J. Dairy Sci. 69 (10), 2593-2603
63. Petričić, A. (1984): *Konzumno i fermentirano mlijeko*, Udruženje mljekarskih radnika SRH, Zagreb
64. Pravilnik o kvalitetu mleka, proizvoda od mleka, sirila i čistih kultura (1982): Službeni list SFRJ 51, Beograd.
65. Pravilnik o izmenama i dopunama Pravilnika o kvalitetu mleka, proizvoda od mleka, sirila i čistih kultura (1994): Službeni list SRJ. Br. 58, Beograd
66. Puđa, P.D. i Obradović, D.B. (1993): *Uticaj termičkog i mehaničkog tretmana na prividnu viskoznost kiselog kazeinskog gela*, Preh. Ind. Vol.4,(1-2), 10-14
67. Puhan, Z. (1988): *Treatment of milk prior to fermentation*, IDF Bulletin No 227, Chapter IV, 66-74
68. Puhan, Z. (1990): *Overview of current availability and technology of fermented milks in IDF member countries*, XXIII Int. Dairy Congress, Montreal, 1907-1916
69. Puhan, Z. (1991): *Razvoj tehnoloških procesa proizvodnje kiselomlečnih proizvoda*, Preh. Ind. Vol. 2 (1-2), 1-5
70. Roefs, S.P.F.M (1986): *Structure of acid casein gels. A study of gels formed after acidification in the cold*, Ph.D. Thesis, Laboratory of dairying and food physics, Agricultural University, Wageningen
71. Schmidt, R.H. and Morris, H.A. (1984): *Gelation properties of milk proteins, soy proteins and blended protein systems*, Food Techn. May, 85-96
72. Sherman, P. (1988): *Rheological evaluation of the textural properties of foods*, Prog. Trends Rheol. II, 44-53
73. Tamime, A.Y. (1996): *Kvalitet jogurta proizvedenog uz primenu raznih vrsta supstitucije mlečne masti*, V Međunarodni Simpozijum „Savremeni trendovi u proizvodnji mleka”, Kopaonik, 65-66
74. Tamime, A.Y. and Deeth, H.C. (1980): *Yogurt: Technology and Biochemistry*, J. of Food Protection 43 (12); 939-977
75. Tamime, A.Y. and Robinson, R.K. (1985): *Yoghurt. Science and technology*, Pergamon Press,
76. Tamime, A.Y. and Robinson, R.K. (1988): *Fermented milk and their future trends. Part II. Technological aspects*, J. Dairy Res. 55(2), 281-307
77. Tamime, A.Y., Barrantes, E. and Sword, A.M. (1996): *The effect of starch based fat substitutes on the microstructure of set-style yogurt made from reconstituted skimmed milk powder*, Journal of the Society of Dairy Techn. 49 (1), 1-10
78. Tamime, A.Y., Kalab, M. and Davies, G. (1984a): *Microstructure of set-style yoghurt manufactured from cow's milk fortified by various methods*, Food Microstructure, Vol. 3, 83-92
79. Tamime, A.Y., Marshall, V.M.E. and Robinson, R.K. (1995): *Microbiological and technological aspects of milks fermented by bifidobacteria*, J. Dairy Res. 62; 151-187
80. Tamime, A.Y., Davies, G. and Hamilton, M. (1987): *The quality of yogurt on retail sale in Ayrshire*, Dairy Ind. International, 52 (7), 40-41
81. Tošović, T., Carić, M., Hardi, J., Milanović, S. i Gavarić, D. (1990): *Ispitivanje uticaja prirodnih i veštačkih zaslađivača na aromu jogurta*, Preh. Ind. Vol. 1 (1-2), 18-21
82. Tošović, T., Carić, M., Milanović, S. i Gavarić, D. (1991): *Razvoj tehnologije proizvodnje visokoproteinskih fermentisanih mlečnih proizvoda*, Preh. Ind. Vol. 2 (1-2), 26-31
83. van Vliet, T., and Dentener-Kikkert, A. (1982): *Influence of the composition of the milk fat globule membrane on the rheological properties of acid milk gels*, Neth. Milk dairy J. 36, 261-265
84. Xiong, Y.L. and Kinsella, J.E. (1991a): *Influence of fat globule membrane composition and fat type on rheological properties of milk based composite gels. I. Methodology*, Milchwissenschaft, 46, 150-151
85. Xiong, Y.L. and Kinsella, J.E. (1991b): *Influence of fat globule membrane composition and fat type on rheological properties of milk based composite gels. I. Results*, Milchwissenschaft, 46, 207-211

**SUMMARY**

## THE EFFECT OF SELECTED FACTORS ON RHEOLOGICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE OF ACID CASEINE GEL

Ognjen Mačej, Snežana Jovanović, Miroljub Barać

Faculty of Agriculture, University of Belgrade

Gel is defined as „firm” colloid system with coherent structure formed by particles in which water phase is incorporated. According to modern terminology, gel is a high elastic solid system; depending on circumstances, these systems flow as viscous liquid, or behave as an elastic solid. Acid casein gel is a particle gel formed from cluster aggregates. These aggregates then interact with each other and form a continual network.

As a result of acidification, the charge neutralization occurs and the casein micelles aggregate into clusters and chains incorporated in gel network. Knowing the mechanism of aggregation is very important for understanding effects of factors which influence textural properties of final product. The structure of acid milk gel is dependent upon factors like protein concentration, heat treatment of milk, temperature of incubation or acidification and medium of acidification.

Acid casein gel is high elastic material. Due to this fact, dynamic and stress relaxation are applied as rheological characteristics measurements. Dynamic measurements and stress relaxation are measured by viscosimeter while the rheometer with constant density is used for creep measurements. Dynamic test is defined with modulus of elasticity ( $G'$ ), modulus of viscosity ( $G''$ ), dynamic viscosity (Pas) and complex modulus ( $G^*$ ). The ratio  $G''/G'$  is  $\tan \delta$ . In the case of ideal elastic solid this parameter is 0, and applied density is in phase with deformation. In the case of ideal fluid  $\delta$  is  $\pi/2$  and density is completely out of the phase of deformation, but in the phase with the deformation velocity. The increase of viscosity causes an increase of  $\tan \delta$ , while the increase of elasticity reduces this parameter. Also, it could be concluded that  $\tan \delta$  is ideal parameter for fluid (milk)/solid (gel) transformation observing.

The gel firmness increases with the increase of protein content, heat treatment and the temperature used during acidification, as well with the decrease of pH.

**Key words:** acid casein gel • rheological properties • microstructure • modulus of elasticity • modulus of viscosity • complex modulus.