

Ispitivanje kinetike koagulacije i reoloških svojstava fermentiranih mliječnih napitaka: utjecaj starter kulture, udjela mliječne masti i dodatka inulina

Jovica Hardi, Vedran Slačanac

Izvorni znanstveni rad - Original scientific paper

UDK: 637.146.3

Sažetak

Reološka svojstva gruša su osnovni parametri kakvoće fermentiranih mliječnih napitaka. Na teksturalna svojstva fermentiranog mliječnog napitka utječe čitav niz činioca poput upotrijebljene starter kulture, sastava mlijeka, početne viskoznosti mlijeka, kinetike fermentacije (intenziteta pada pH vrijednosti), toplinskog tretmana mlijeka prije fermentacije, provedene homogenizacije itd. Svrha ovog rada bila je ispitati utjecaj tri činioca na kinetiku grušanja i reološka svojstva fermentiranog mliječnog napitka: udjela mliječne masti u mlijeku, upotrijebljene starter kulture i dodatka jakog bifidogenog prebiotika inulina. Rezultati rada pokazali su da sva tri faktora imaju utjecaj na kinetiku fermentacije i koagulacije, te teksturu gotovih proizvoda. Najveći utjecaj starter kulture je dobro poznat, a najinteresantniji je utjecaj dodatka inulina na povećanje konzistencije probiotičkih uzoraka priređenih od punomasnog mlijeka.

Ključne riječi: inulin, kinetika fermentacije i koagulacije, starter kultura, reološka svojstva, udio mliječne masti

Uvod

Od sredine osamdesetih godina do danas neprestano raste popularnost fermentiranih mliječnih napitaka u cijelom svijetu (I D F Bulletin, 1983., 1984., 1993., 1994.). Tako je proizvodnja jogurta od 1982. do 1992. u Njemačkoj, Finskoj, Švedskoj, Francuskoj i SAD porasla za preko 100% (Tamime i Marshall, 1997.). Posebno je značajan porast fermentiranih proizvoda s probiotičkim sojevima mliječno kiselih bakterija. Rezultat je to, prije svega, pozitivnog djelovanja bakterija mliječne kiseline (osobito probiotičkih sojeva) na ljudsko zdravlje (Živković, 1996., Gregurek i Borović, 1997.). U Hrvatskoj je od 1994. godine proizvodnja fermentiranih mliječnih proizvoda također u znatnom porastu. U samo dvije godine porasla je za oko 60% (Kovačić i Senta, 1996.).

Istodobno s trendom porasta potrošnje fermentiranih mliječnih napitaka s probiotičkim sojevima mliječno kiselih bakterija, kod potrošača se javio i trend smanjenja broja unesenih kalorija iz masti u namirnici (White, 1991.).

Rezultati su to povećanja zdravstvene svijesti potrošača u zadnjih petnaestak godina.

Reološke osobine fermentiranih mliječnih napitaka jedan su od najbitnijih parametara njihove senzorske kvalitete (Steventon i sur., 1995.). Osim toga, reološka svojstva proizvoda igraju važnu ulogu kod projektiranja i optimiranja samog tehnološkog procesa proizvodnje (Hegedušić, 1992.). Fermentirani mliječni napici imaju izrazita svojstva tečenja newtonovskih tekućina karakterističnih za tiksotropni, odnosno pseudoplastični tip tekućina (Amemiya i Shoemaker, 1992.). Istodobno, fermentirani mliječni napici su visokoelastični sustavi, tj. imaju sposobnost uspostave prvobitne strukture nakon izvršene deformacije (Teo i sur., 1996.). Opis teksturalnih osobina jednog takvog visokoelastičnog sustava nije nimalo jednostavan i zahtijeva poznavanje nekoliko polja znanosti i tehnologije.

Smanjenjem udjela masti u mlijeku bitno se mijenjaju i reološke osobine fermentiranih mliječnih proizvoda. Niz autora u zadnjih desetak godina bavio se ispitivanjem poboljšanja kvalitete teksture fermentiranih mliječnih napitaka sa smanjenim udjelima mliječne masti (Kjaergard i sur., 1987., Kirkegard, 1989., Keating i White, 1990., Farooq i Haque, 1992.). Promjena fizikalno kemijskih svojstava mlijeka koje nastaju izdvajanjem masti, zahtijeva i određene promjene u tehnološkom procesu. Naime, tijekom tehnološkog procesa (osobito tijekom toplinskog tretmana) dolazi u obranom mlijeku do specifičnih interakcija koje mogu bitno utjecati na teksturalne osobine fermentiranog mliječnog napitka (Davies i sur., 1978., Parnell - Clunies i sur., 1986.; 1987.).

Dodatkom stranih molekula u mlijeko mijenja se tijek i brzina fermentacije, kao i brzina koagulacije kazeinskih micela (Marshall i Tamime, 1997.).

Inulin je relativno nova sirovina s velikim mogućnostima primjene u prehrambenoj, osobito mljekarskoj industriji. Zbog jedinstvene tehnološke i nutricionističke prednosti, upotrebljava se kao dodatak u mljekarskoj industriji. Inulin je prirodni fruktooligosaharid koji se nalazi u jestivim biljkama kao što su luk, šparoge, banane poriluk i jeruzalemske artičoke (Božanić i Tratnik, 1999.). U prehrambenim proizvodima može služiti kao zamjena masti ili šećera, balastna je tvar i povoljno djeluje na teksturu i volumen proizvoda (Frank, 1998.). Osim što doprinosi boljim senzorskim karakteristikama proizvoda inulin je snažan prebiotik, to jest stimulator rasta bifidobakterija (Božanić i Tratnik, 1999.).

Cilj rada bio je ispitati kinetiku grušanja jogurta dobivenog od obranog mlijeka. Osim jogurtne kulture, za jednu seriju uzoraka korištena je miješana starter kultura s dva soja probiotičkih mliječno kiselih bakterija. Kako bi se dobio "light" proizvod što veće nutritivne vrijednosti, te umjesto obrane mliječne

masti, kao dodatak korišten je prebiotik inulin, snažni promotor djelovanja bifidogenih bakterija.

Materijal i metode rada

Za pripravu jogurta korišteno je obrano kravlje mlijeko s manje od 1% mliječne masti (proizvođač MIA Osijek). Mlijeko je prije naciepljivanja toplinski obrađeno UHT postupkom. Kao referentni uzorak korišteno je kravlje mlijeko s 3,2% mliječne masti (proizvođač MIA Osijek). Uzorci su priređeni bez dodatka obranog mlijeka u prahu, kako bi se što bolje istaknuo utjecaj odabranih faktora. Za inokulaciju uzoraka jogurta korištena je miješana jogurtna kultura (u koncentraciji 2%) sastavljena od bakterija *Streptococcus termophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* i *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* (DVS, YC 180, Chr. Hansen A/S Danska). Uzorci su naciepljeni na temperaturi 41°C i fermentirani 4 sata. Za probiotički fermentirani mliječni napitak korištena je miješana kultura (u koncentraciji 2%) sastavljena od bakterija *Streptococcus termophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Bifidobacterium* spp. i *Lactobacillus acidophilus* (FD DVS La-5, Chr. Hansen A/S Danska). Uzorci s probiotičkim kulturama su naciepljeni na temperaturi 38°C i također fermentirani 4 sata. Omjer - jogurtna kultura: bifidogena kultura: acidofilna kultura - u miješanom starteru bio je 1:3:2. Inulin je dodan svim uzorcima u koncentraciji od 3%.

Reološke osobine gruša mjerene su nakon svakog sata fermentacije, a u ekspanzionalnoj fazi fermentacije (četvrti sat) svakih petnaest minuta. Mjerenja su obavljena kod +20°C pomoću rotacionog viskozimetra (RHEOMAT 15T) u području brzina smicanja 11,16 do 702, 3 s⁻¹ (mjerni sustav A) te od 3, 111 do 195,7 s⁻¹ (mjerni sustav B). U mjernom sustavu A mjereni su uzorci nakon drugog sata fermentacije (zbog niske viskoznosti uzoraka), a u daljnjem tijeku fermentacije mjerenja su obavljena u mjernom sustavu B. Ovisnosti vrijednosti napona smicanja (τ) i prividne viskoznosti (μ) o brzini smicanja (γ) određene su izrazima: $\tau = k \cdot \gamma^n$ i $\mu = k \cdot \gamma^{n-1}$; gdje je k = koeficijent konzistencije (Nsⁿ/m²), a n = indeks tečenja (Hegedušić, 1992.). Matematička obrada podataka reoloških mjerenja rađena je metodom linearne regresije pomoću programa MSOFFICE EXCEL 6,0 (Novaković i sur., 1998.).

Tijekom fermentacije određivana je pH vrijednost uzoraka (RADIOMETER, Kopenhagen) i udjel mliječne kiseline posrednom metodom (Sabadoš, 1996.).

Rezultati rada i rasprava

Promjene pH vrijednosti i udjela mliječne kiseline tijekom fermentacije prikazane su tablicom 1. Iz iznesenih podataka u tablici 1 vidljivo je da je veća brzina fermentacije bila u uzorcima s jogurtnom kulturom, što se potpuno slaže s činjenicom da probiotički sojevi proizvode manje mliječne kiseline i osta-

lih produkata fermentacije od jogurtne kulture (Sellars, 1991.). Eksponecijalna faza fermentacije nastupila je u uzorcima s jogurtnom kulturom u 3. satu fermentacije, a u uzorcima s dodanim probiotskim kulturama eksponecijalna faza je nastupila u 4. satu fermentacije. Veći udio mliječne kiseline, uz brži pad pH vrijednosti, nastajao je u uzorcima pripravljenim od obranog mlijeka. To se slaže s podacima koje iznose Shah i sur. (1993.). Pokazalo se, međutim, da dodatak inulina ubrzava pad pH vrijednosti u uzorcima s probiotskim kulturama (slika 1). Suprotno tome, u uzorcima s jogurtnom kulturom, dodatak inulina djelovao je vrlo slabo na usporenje fermentacije u odnosu na uzorke bez inulina (slika 1). Ovakvo ponašanje inulina pokazuje već dokazane postavke o promotorskom djelovanju inulina na bifidogene mliječno kisele bakterije.

Tablica 1: Promjene pH vrijednosti i udjela mliječne kiseline (% MK) tijekom fermentacije niskomasnog jogurta (A), kontrolnog jogurta (3,2% mliječne masti) (B), probiotskog fermentiranog napitka iz niskomasnog mlijeka (Ap) i kontrolnog probiotskog fermentiranog mliječnog napitka (3,2% mliječne masti) (Bp)

Table 1: pH values and lactic acid concentration (%LA) during fermentation of low fat yoghurt (A), control yoghurt (3,2% of milk fat) (B), probiotic fermented milk product from low fat milk (Ap) and control probiotic fermented milk product (3,2% of milk fat) (Bp)

Vrijeme (minuta) Time (minutes)	UZORAK SAMPLE							
	A		B		Ap		Bp	
	pH	% MK % LA	pH	% MK % LA	pH	% MK % LA	pH	% MK % LA
0	6,60	0,401	6,50	0,194	6,50	0,351	6,60	0,146
60	6,30	0,524	6,30	0,228	6,21	0,423	6,50	0,207
120	5,32	0,851	5,25	0,468	5,65	0,565	6,40	0,252
180	4,62	0,837	4,45	0,716	5,30	0,581	5,95	0,392
195	4,56	0,882	4,40	0,734	5,20	0,594	5,35	0,491
210	4,42	0,581	4,35	0,749	5,05	0,605	4,95	0,522
225	4,35	0,896	4,30	0,756	4,80	0,678	4,70	0,612
240	4,18	0,947	4,25	0,833	4,50	0,725	4,65	0,626

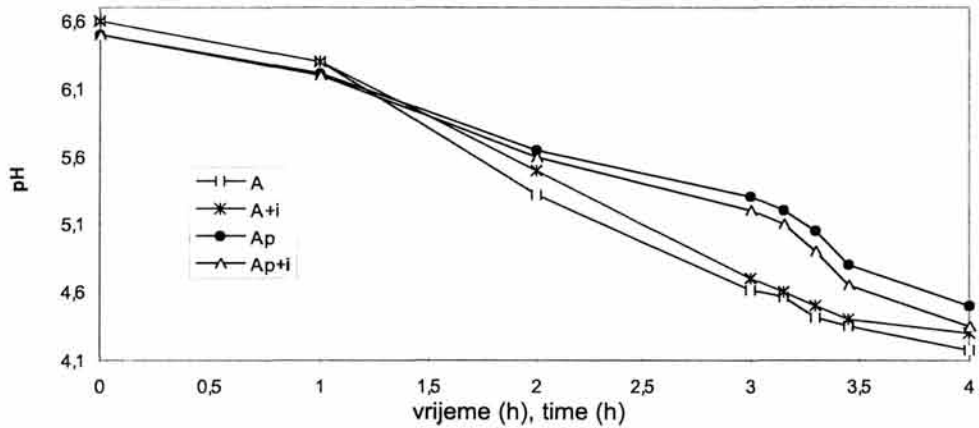
Praćenjem ovisnosti vrijednosti napona smicanja i viskoznosti o brzini smicanja, uočeni su različiti intenziteti promjena u strukturi gruša tijekom fermentacije između uzoraka dobivenih od obranog i punomasnog mlijeka (slike 2, 3 i 4).

Unatoč tome što je eksponecijalna faza fermentacije u jogurtu od obranog i referentnog mlijeka (3,2% mliječne masti) bila u trećem satu fermentacije (tablica 1), glavina procesa grušanja odvijala se u četvrtom satu fermentacije (slike 2, 3 i 4). Taj se podatak potpuno slaže s teorijom kiselinskog grušanja mlijeka, budući da prva faza predstavlja destabilizaciju proteinskog kompleksa, a druga faza se odvija u izoelektričnom području i utječe na snažno po-

višenje viskoznosti (slika 3) (Tratnik, 1998.). Više vrijednosti koeficijenta konzistencije (čvršća tekstura) punomasnog u odnosu na niskomasni jogurt, logične su i potvrđene od čitavog niza autora (Fernandez - Martin, 1972.; Bakshi i Smith, 1983.; Kjaergard i sur., 1987.; Farooq i Haque, 1992.).

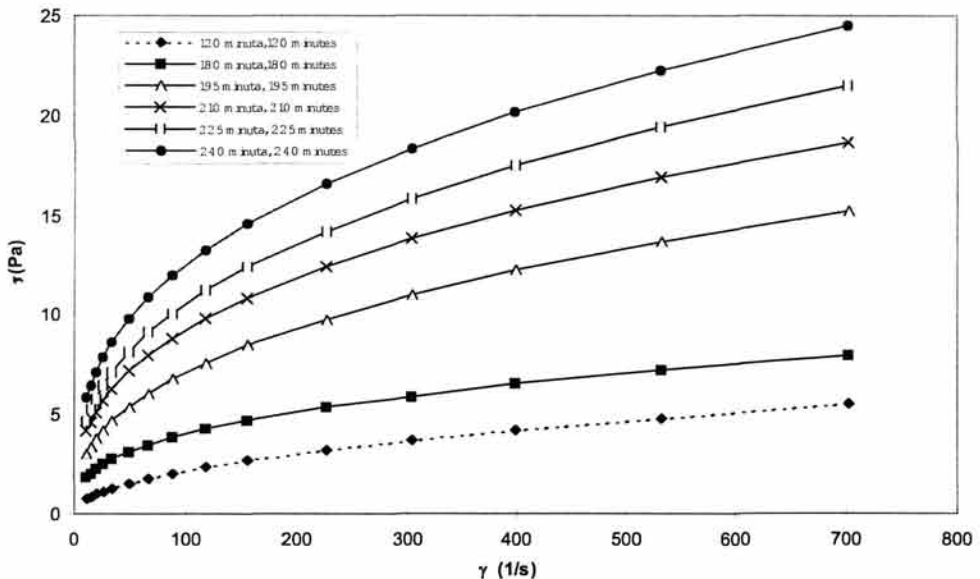
Slika 1: Utjecaj dodatka inulina (i) na fermentaciju niskomasnog jogurta (A) i probiotičkog fermentiranog napitka iz niskomasnog mlijeka (Ap)

Figure 1: Influence of inulin addition on fermentation of low fat yoghurt (A) and probiotic fermented milk product from law fat milk (Ap)



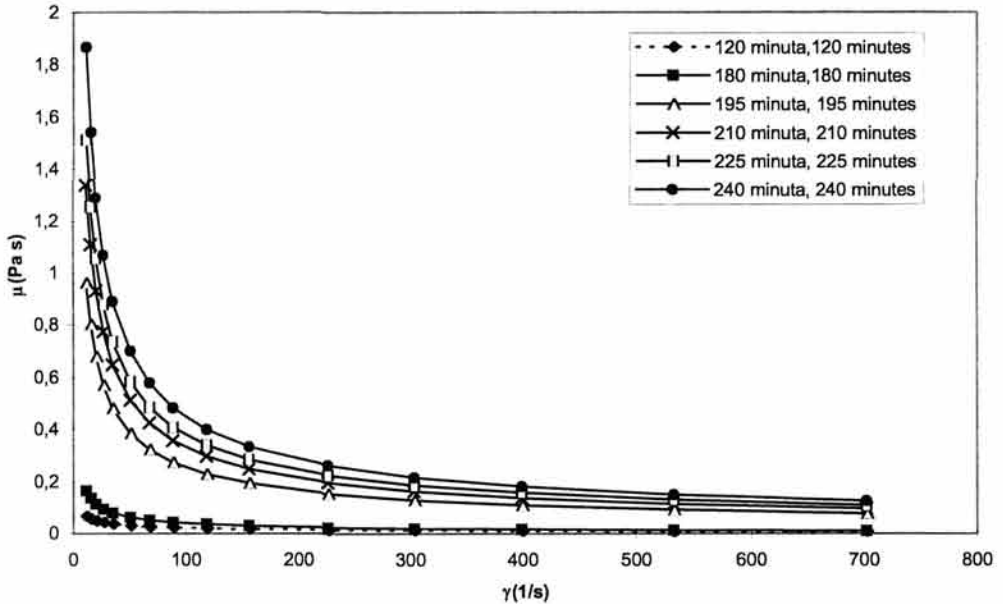
Slika 2: Ovisnost napona smicanja (τ) o brzini smicanja (γ) tijekom fermentacije niskomasnog jogurta (A)

Figure 2: Shear stress (τ) vs. shear rate (γ) of low fat yoghurt (A) during fermentation



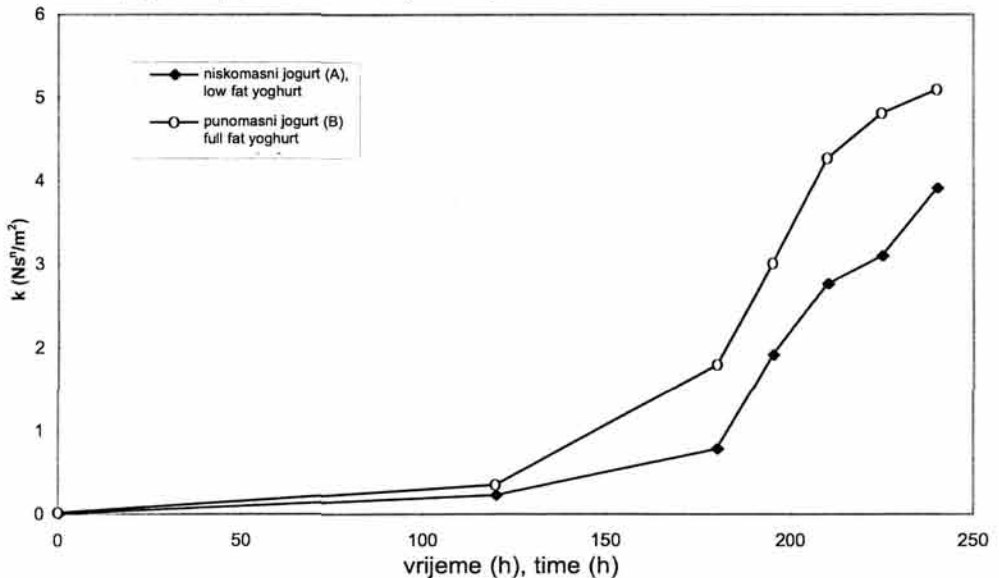
Slika 3: Ovisnost viskoznosti (μ) o brzini smicanja (γ) tijekom fermentacije niskomasnog jogurta (A)

Figure 3: Viscosity (μ) vs. shear rate (γ) of low fat yoghurt (A) during fermentation



Slika 4: Promjena vrijednosti koeficijenta konzistencije (k) niskomasnog (A) i kontrolnog (B) jogurta (3,2% mliječne masti) tijekom fermentacije

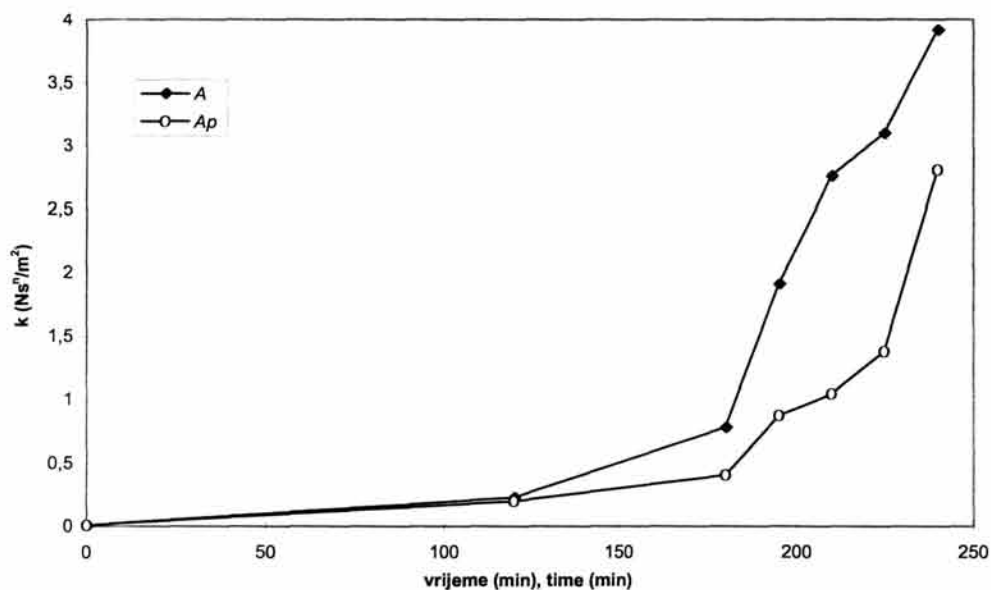
Figure 4: Changes of consistency coefficient (k) of low fat (A) and control (B) yoghurt (3,2% of milk fat) during fermentation



Znatno veći utjecaj na kinetiku koagulacije od udjela masti u mlijeku imala je starter kultura (slike 5 i 6). Upotreba mješovite starter kulture, u kojoj se uz jogurtu nalaze i dvije probiotičke mliječno kisele bakterije i bifidostimulator inulin, rezultirala je stvaranjem nešto slabijeg, ali vrlo kompaktnog grušta niskomasnog jogurta (slika 5). Upotreba miješane starter kulture s probioticima uzrokovala je kod uzoraka od punomasnog mlijeka stvaranje čvršće teksture u odnosu na uzorke s jogurtom kulturom, što je vidljivo iz prikaza kretanja vrijednosti koeficijenta konzistencije na slici 6.

Slika 5: Odnos promjena vrijednosti koeficijenta konzistencije (k) tijekom fermentacije između niskomasnog jogurta (A) i probiotičkog fermentiranog mliječnog napitka (A_p)

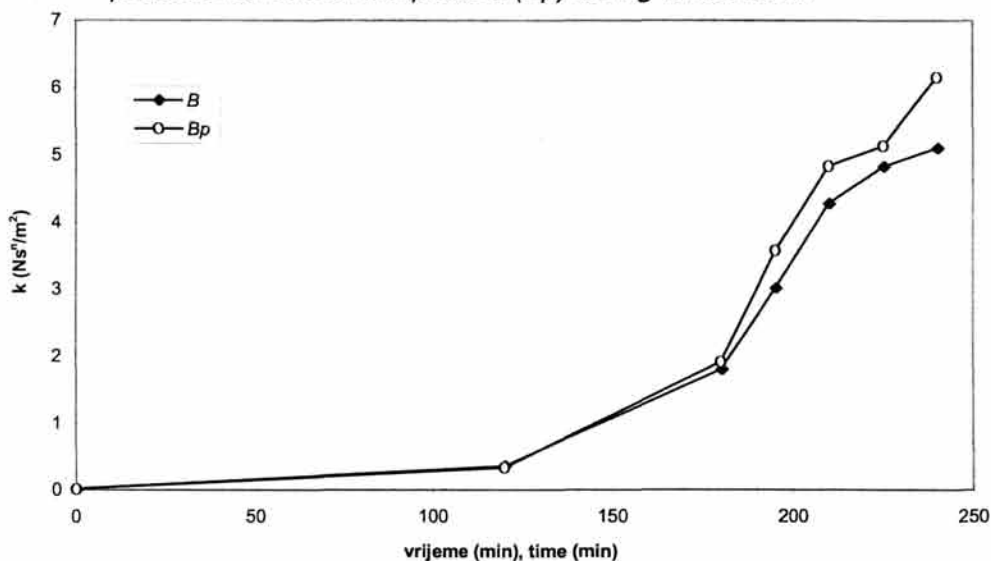
Figure 5: Changes of consistency coefficient (k) of low fat yoghurt (A) and probiotic fermented milk product (A_p) during fermentation



Razlike u čvrstoći konzistencije probiotičkog fermentiranog mliječnog napitka između obranog i mlijeka s 3,2% mliječne masti nije jednostavno objasniti. Stabilnija emulzija mliječne masti utječe na raniji početak intenzivnog procesa grušanja u uzorcima od kontrolnog mlijeka (slike 5 i 6). Ne treba zanemariti ni utjecaj inulina koji, vjerovatno povoljnije djeluje na stvaranje grušta u mlijeku s višim udjelom mliječne masti.

Slika 6: Odnos promjena vrijednosti koeficijenta konzistencije (k) tijekom fermentacije između kontrolnog jogurta (B) i probiotičkog fermentiranog mliječnog napitka (Bp)

Figure 6: Changes of consistency coefficient (k) of control yoghurt (B) and probiotic fermented milk product (Bp) during fermentation



Zaključci

Sva tri odabrana činioca: udio mliječne masti, odabrana starter kultura i dodatak promotora fermentacijske aktivnosti bifidobakterija, utjecali su na kinetiku fermentacije i koagulacije mlijeka.

Sasvim je logično da je najviše utjecala odabrana kultura mikroorganizama. U uzorcima pripremljenim s jogurtnom kulturom fermentacija je tekla brže i prije ulazila u eksponencijalnu fazu. Međutim, inulin se pokazao kao vrlo dobar promotor fermentativne aktivnosti u uzorcima koji su naciepljeni probiotičkom kulturom (zbog prisutstva bifidobakterija).

Glavnina procesa grušanja odvijala se u svim uzorcima u četvrtom satu fermentacije. Uzorci pripremljeni od mlijeka s 3,2 % mliječne masti imali su na kraju fermentacije čvršću konzistenciju od niskomasnih fermentiranih proizvoda, bez obzira koji je starter primijenjen. Kod uzoraka priređenih iz obranog mlijeka, jogurtna kultura stvarala je čvršću i kompaktniju teksturu u odnosu na starter s acidofilnom i bifido kulturom. U uzorcima priređenim od mlijeka s 3,2 % mliječne masti, primjena probiotičkog startera rezultirala je stvaranjem čvršće konzistencije u odnosu na čistu jogurtnu kulturu. Moguće je, da je čvršća konzistencija probiotičkog napitka rezultat prisutnosti prebiotika (bifido-stimulatore) inulina.

EXAMINATION OF COAGULATION KINETICS AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF FERMENTED MILK PRODUCTS: INFLUENCE OF STARTER CULTURE, MILK FAT CONTENT AND ADDITION OF INULIN

Summary

Rheological properties of curd of fermented milk products are one of the basic factors of their overall quality. The textural (rheological) properties of fermented dairy products depend on the many different factors such as starter culture, milk composition, initial viscosity of milk, fermentation kinetics (intensity of pH value decrease), heat treatment of milk, homogenization etc. The aim of this paper was to examine the influence of three factors to coagulation kinetics and rheological properties of fermented milk product: milk fat content, starter culture and addition of inulin (a strong bifidogenic prebiotic). Results of this work indicated that all three factors have influence on fermentation and coagulation kinetics, as well as to textural quality of fermented milk products. The greatest influence of starter culture is well known, while the influence of inulin addition on consistency of probiotic samples increase was found to be the most interesting.

Key words: inulin, fermentation and coagulation kinetics, milk fat content, rheological properties, starter culture

Literatura

- AMEMIYA, J. I., SHOEMAKER, C. F., (1992.): "Measurement of thixotropy of model food colloidal suspensions with step change shear rate", *J. Food Eng.* 16: 17.
- BOŽANIC, R., TRATNIK, Lj., (1999.): "Prebiotički supstrati i bakterije mliječne kiseline", *Mljekarstvo* 49: 27.
- DAVIES, F. L., SHANKAR, R. A., BROOKER, B. E., 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: 53.
- FAROOQ, K., HAQUE, Z. U., (1992.): "Effect of sugar esters on the textural properties of nonfat low calorie yoghurt", *J. Dairy Sci.* 75: 2676.
- FERNANDEZ-MARTIN, F., (1972.): "Influence of temperature and composition on some physical properties of milk and milk concentrates. II. Viscosity", *J Dairy Res.* 39: 75.
- FRANCK, A., (1998.): "Prebiotic stimulate calcium absorption: a review", *Milchwissenschaft* 53: 427.
- GREGUREK, Lj., BOROVIĆ, A., (1997.): "Mljekarske kulture mikroorganizama u proizvodnji fermentiranih mlijeka", *Mljekarstvo* 47: 103.
- HEGEDIŠIĆ, V., (1992.): "Advances in Food Process Engineering", Faculty of Food Technology and Biotechnology, Zagreb, 13-29.
- IDF (1983.): "Consumption Statistics for Milk and Milk Products (1981.)", No. 160, IDF, Brussels, str.1.
- IDF (1984.): "Consumption Statistics for Milk and Milk Products (1982.)", No. 173, IDF, Brussels, str.1.
- IDF (1993.): "Consumption Statistics for Milk and Milk Products (1991.)", No. 282, IDF, Brussels, str.1.
- IDF (1994.): "Consumption Statistics for Milk and Milk Products (1992.)", No. 295, IDF, Brussels, str.1.
- KEATING, K. R., WHITE, C. H., (1990.): "Effect of alternative sweeteners in plain and fruit-flavoured yoghurts", *J. Dairy Sci.* 73: 5415.
- KIRKEGAARD, P., (1989.): "Fat substitutes: tastes great-less fattening", *Food Sci. Newsletter*, No. 3 (31).

- KJAERGAARD, J. G., IPSEN, R. H., ILSOE, C., (1987.): "Functionality and application of dairy ingredients in dairy products", *Food Technol.* 41: 66.
- KOVAČIĆ, L., SENTA, A., (1996.): "Proizvodnja i potrošnja fermentiranih mliječnih proizvoda u Hrvatskoj", u *Fermentirani mliječni proizvodi u prehrani i dijetetici*, Hrvatska akademija medicinskih znanosti, Zagreb, str. 91.
- MARSHALL, V.M.E., TAMIME, A. Y., (1997.): "Physiology and biochemistry of fermented milks", u *Microbiology and Biochemistry of cheese and fermented milk*", Blackie Academic & Professional (Chapman & Hall), London, str. 153.
- NOVAKOVIĆ, P., KORDIĆ, J., SLAČANAC, V., (1998.): "Reološke osobine kozjeg i kravljeg acidofila tijekom skladištenja", *Mljekarstvo* 48: 75.
- PARNELL-CLUNIES, E., KAKUDA, Y., MULLEN, K., ARNOTT, D. R., DEMAN, J., (1986.): "Physical properties of yoghurt: a comparison of vat versus continuous heating systems of milk", *J. Dairy Sci.* 69: 2593.
- PARNELL-CLUNIES, E., KAKUDA, Y., SMITH, K., (1987.): "Microstructure of yoghurt as affected by heat treatment of milk", *Milchwissenschaft* 42: 413.
- SABADOŠ, D., (1996.): "Kontrola i ocjenjivanje mlijeka i mliječnih proizvoda", Hrvatsko mljekarsko društvo, Zagreb.
- SELLARS, R. L., (1991.): "Acidophilus products", u *Therapeutic properties of fermented milks*, Elsevier Applied Science Publishers, London, str. 81.
- SHAH, N. P., SPURGEON, K. R., GILMORE, T. M., (1993.): "Use of dry whey and lactose hydrolysis in yoghurt bases", *Milchwissenschaft* 48: 494.
- STEVENTON, A. J., PARKINSON, C. J., FRYER, P. J., BOTTOMLEY, R. C. (1995.): "The rheology of yoghurt", u *Rheology of food, pharmaceutical and biological materials with general rheology*, Elsevier Applied Science, London-New York, pp. 196-210.
- TAMIME, A. Y., MARSHALL, V. M. E., (1997.): "Microbiology and technology of fermented milks", u *Microbiology and biochemistry of cheese and fermented milk*, Chapman & Hall, London, str. 57.
- TEO, C. T., MUNRO, P. A., SINGH, H., (1996.): "Reversibility of shrinkage of mineral acid casein curd as a function of ionic strength, pH and temperature", *J. Dairy Res.* 63: 555.
- TRATNIK, Lj., (1998.): *Mlijeko - tehnologija, biokemija i mikrobiologija*, Hrvatska mljekarska udruga, Zagreb, 1998.
- WHITE, C. H., (1991.): "Light yoghurt with heavy consumer appeal", *Dairy Field* 174: 52.
- ŽIVKOVIĆ, R., (1996.): "Današnje koncepcije o prehrambenoj i medicinskoj važnosti fermentiranih mliječnih proizvoda", u *Fermentirani mliječni proizvodi u prehrani i dijetetici*, Hrvatska akademija medicinskih znanosti, Zagreb, str.9.

Adrese autora - Author's addresses

Prof. dr. sc. Jovica Hardi

Mr. sc. Vedran Slačanac

Prehrambeno tehnološki fakultet, Osijek

Primljeno - Received: 20.08.2000.**Prihvaćeno - Accepted: 28.09.2000.**