

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26038Z

**UTICAJ REZIDUA DEZINFEKCIONIH SREDSTAVA NA
AKTIVNOST STARTER KULTURA U FERMENTACIJI JOGURTA****IMPACT OF DISINFECTANT RESIDUES ON THE ACTIVITY OF
STARTER CULTURES IN YOGURT FERMENTATION****Zorica Zdravković^{1*}, Nemanja Zdravković², Biljana Aleksić¹****Kratak sadržaj**

Starter kulture jogurta, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* i *Streptococcus thermophilus*, ključne su za razvoj karakteristične teksture, arome i nutritivnih svojstava fermentisanog mleka. Njihova aktivnost zavisi od stabilnog mikrobiološkog okruženja, dok se u industrijskoj praksi obezbeđuje higijena opreme primenom različitih dezinfekcionih sredstava. Međutim, rezidue ovih hemikalija, ukoliko ostanu na površinama nakon nedovoljnog ispiranja, mogu imati inhibitoran efekat na korisne bakterije. Oksidativni agensi, kvaternerna amonijumova jedinjenja i hlorni preparati posebno se izdvajaju kao potencijalni faktori koji usporavaju zakiseljavanje mleka, smanjuju proizvodnju mlečne kiseline i dovode do varijacija u senzornim osobinama jogurta. Pregled dostupne literature pokazuje da čak i niske koncentracije rezidua mogu izazvati poremećaje u fermentacionoj kinetici, produžiti vreme fermentacije i uticati na konzistentnost kvaliteta gotovog proizvoda. Ovi nalazi ukazuju na značaj pravilnog odabira dezinfekcionih sredstava, kao i na potrebu za validacijom postupaka ispiranja u mlečnoj industriji. Razumevanje interakcije između rezidua i starter kultura doprinosi unapređenju biosigurnosti, ali i očuvanju tehnološke efikasnosti proizvodnje jogurta.

Ključne reči: dezinfekciona sredstva, jogurt, rezidue, starter kulture

Abstract

Yogurt starter cultures, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*, are essential for the development of the characteristic texture, flavor, and nutritional properties of fermented milk. Their activity depends on a stable microbiological environment, while in industrial practice equipment hygiene is maintained through the use of various disinfectants. However, residues of these chemicals, if left on surfaces after insufficient rinsing, may exert an inhibitory

¹ Spec. dr vet. Zorica Zdravković; dr Biljana Aleksić, naučni saradnik, JPS Zavod za mlekarstvo, 11000 Beograd, R. Srbija

² Dr sci vet. med. Nemanja Zdravković, viši naučni saradnik, Naučni institut za veterinarstvo Srbije, 11000 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: zorica.zdravkovich@gmail.com

effect on beneficial bacteria. Oxidizing agents, quaternary ammonium compounds, and chlorine-based disinfectants are particularly notable as potential factors that slow down milk acidification, reduce lactic acid production, and lead to variations in the sensory attributes of yogurt. A review of the available literature indicates that even low concentrations of residues can cause disturbances in fermentation kinetics, prolong fermentation time and affect the consistency of the final product's quality. These findings emphasize the importance of proper selection of disinfectants, as well as the need for validation of rinsing procedures in the dairy industry. Understanding the interaction between residues and starter cultures contributes both to the improvement of biosafety and to the preservation of technological efficiency in yogurt production.

Keywords: *disinfectants, residues, starter cultures, yogurt*

UVOD

Jogurt se proizvodi fermentacijom mleka delovanjem simbiotske kulture *Streptococcus thermophilus* i *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (Chandan, 2014). Jogurt sadrži skoro sve esencijalne hranljive materije, uključujući kalcijum, vitamine B grupe, fosfor i magnezijum (Chandan, 2014). Konzumacijom jogurta značajno se povećava raznolikost crevne mikrobiote. Jogurt je fermentisani proizvod napravljen od termički obrađene standardizovane mešavine mleka delovanjem karakteristične simbiotske mešavine kultura *Streptococcus thermophilus* i *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (Chandan, 2014). Jogurt se proizvodi od mleka raznih životinja (krava, koza, ovca, itd.) u različitim delovima sveta. Dozvoljeni mlečni sastojci za dodatak jogurtu su pavlaka, mleko, delimično obrano mleko, obrano mleko, pojedinačno ili u kombinaciji (Fernández i ostali, 2015).

Fermentacija predstavlja najvažniji korak u proizvodnji jogurta. Zajednički rast živih ćelija bakterija jogurte kulture je fenomen jedinstven za jogurt. Ovi mikroorganizmi za pravljenje jogurta pokazuju obavezan simbiotski odnos tokom rasta u mlečnoj podlozi. Iako mogu da rastu nezavisno, koriste međusobne metabolite kako bi postigli izuzetnu efikasnost u proizvodnji kiselina. Generalno, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ima znatno veću ćelijski vezanu proteolitičku enzimsku aktivnost, proizvodeći stimulatívne peptide i aminokiseline za *Streptococcus thermophilus*. Relativno visoka aminopeptidazna i ćelijski slobodna i ćelijski vezana dipeptidazna aktivnost *Streptococcus thermophilus*-a je komplementarna jakoj proteinazi i niskoj peptidaznoj aktivnosti *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*-a. Ureazna aktivnost *Streptococcus thermophilus*-a proizvodi CO₂ koji stimuliše rast *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Istovremeno sa proizvodnjom CO₂, ureaza oslobađa amonijak, koji deluje kao slab pufer, kako bi se sprečili ekstremni pH uslovi koji su inhibitorni za bakterije. Shodno tome, mleko kultivisano samo pomoću *Streptococcus thermophilus*-a pokazuje nisku titrabilnu kiselost (ili visok pH)

koagulisane mase. Mravlja kiselina koju formira *Streptococcus thermophilus*, kao i termička obrada mleka, ubrzava rast *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*-a. Brzina proizvodnje kiseline od strane jogurtne starter kulture, koja sadrži i *Streptococcus thermophilus* i *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* je znatno veća nego od strane bilo kog od ova dva organizma uzgajana odvojeno (Chandan, 2014).

Biohemijska osnova mlečne fermentacije za stvaranje ukusa i tekstura se bazira na tome da se glavni sastojci mleka menjaju interakcijom sa starter kulturama. Laktoza se prvo razlaže na glukozu i galaktozu, a zatim na mlečnu kiselinu putem glikolitičkog puta pomoću bakterija mlečne kiseline. Galaktoza se ne razlaže lako kod nekih sojeva bakterija mlečne kiseline. Shodno tome, akumulira se u fermentisanim proizvodima. Proizvodnja kiseline dovodi do snižavanja pH vrednosti i povećanja viskoznosti dok se tečna faza ne transformiše u čvrstu gel fazu u fermentisanom mleku. Još jedna funkcija stvaranja kiseline je njen konzervansni efekat, koji produžava rok trajanja fermentisanog mleka. Enzimi starter kulture su odgovorni za ograničeno razgrađivanje proteina, aminokiselina i masti, čime se stvaraju ključna jedinjenja ukusa. U tom smislu, acetaldehid se smatra tipičnim jedinjenjem ukusa u jogurtu, dok je diacetil prepoznatljivo jedinjenje ukusa u mlaćenici i pavlaci (Chandan i Kilara, 2013).

Starter kultura je ključna komponenta u proizvodnji fermentisanih mlečnih proizvoda visokog kvaliteta i ujednačenosti. Efikasan program sanitacije, uključuje filtrirani vazduh i pozitivan pritisak u prostoru za fermentaciju. To bi trebalo značajno da kontroliše kontaminaciju koja se prenosi vazduhom i doprinese konstantno visokom kvalitetu proizvoda. Komercijalne kulture mogu se sastojati od pojedinačnih sojeva ili mešanih sojeva iste vrste. Štaviše, one mogu biti mešani sojevi kombinacije različitih rodova i vrsta bakterija. Namenjene su za proizvodnju zasebnih kultivisanih namirnica i namenjene su za upotrebu prema uputstvima proizvođača kulture, koja uključuju temperaturu inkubacije, nivo inokuluma i vreme inkubacije. Od karakteristika starter kultura zavisi proizvodni proces: vreme i temperatura fermentacije; održivost kulture tokom roka trajanja; pokazivanje probiotskih svojstava i preživljavanje u gastrointestinalnom traktu za određene zdravstvene pogodnosti (Chandan, 2014).

Mnoge hemikalije za dezinfekciju, kao što su kvaternerna amonijumova jedinjenja, jedinjenja joda i hlora, usporavaju razvoj kiseline starter kulturama. Jedan do pet delova na milion ovih jedinjenja za dezinfekciju su baktericidna za mlečne kulture. Pravilna upotreba sredstava za dezinfekciju uključuje proveru koncentracije sredstava za dezinfekciju, kao i uklanjanje rezidualnih sredstava za dezinfekciju iz cevi i posuda pre upotrebe opreme za preradu fermentisanih mlečnih proizvoda (Chandan, 2014) (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007).

MEHANIZMI INHIBICIJE STARTER KULTURA

Starter kulture jogurta, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* i *Streptococcus thermophilus*, osetljive su na prisustvo rezidua dezinfekcionih sredstava u proizvodnom sistemu. Inhibicija njihove aktivnosti može se objasniti kroz nekoliko mehanizama (Dunsmore i ostali, 1985):

1. **Oštećenje ćelijskih membrana**-kvaternerna amonijumova jedinjenja i hlorni preparati deluju kao površinski aktivne supstance koje destabilizuju lipidne membrane bakterija. To dovodi do gubitka integriteta ćelije, curenja intracelularnih komponenti i smanjenja vitalnosti starter kultura.
2. **Inaktivacija enzima**-oksidativni agensi, poput peroksida, mogu oksidovati sulfhidrilne grupe u enzimima odgovornih za metabolizam šećera. Time se usporava glikolitički put i smanjuje proizvodnja mlečne kiseline, što direktno utiče na brzinu zakiseljavanja mleka.
3. **Poremećaj transportnih sistema**-rezidue hemikalija mogu blokirati transport šećera i aminokiselina kroz membranu, čime se ograničava dostupnost supstrata za rast i fermentaciju.
4. **Stresni odgovori bakterija**-prisustvo inhibitora izaziva aktivaciju stresnih mehanizama u bakterijama, uključujući produkciju zaštitnih proteina i smanjenje metaboličke aktivnosti. Posledica je sporija fermentaciona kinetika i produženo vreme fermentacije.
5. **Uticaj na međusobnu sinergiju kultura**-starter kulture jogurta funkcionišu u simbiotskom odnosu – *S. thermophilus* inicira rast, dok *L. bulgaricus* pojačava zakiseljavanje. Inhibicija jedne vrste narušava ovu ravnotežu, što rezultira neujednačenim fermentacionim procesom i varijabilnim senzornim svojstvima proizvoda.

UTICAJ NA FERMENTACIONU KINETIKU

Fermentaciona kinetika jogurta zasniva se na brzom zakiseljavanju mleka, koje je rezultat metaboličke aktivnosti starter kultura. Prisustvo rezidua dezinfekcionih sredstava može značajno usporiti ovaj proces (Sidhu и остали, 2001). Hemijski inhibitori deluju na različite nivoe – od oštećenja membranskih struktura do inaktivacije ključnih enzima – što dovodi do smanjenog intenziteta metabolizma i sporije proizvodnje mlečne kiseline (Sidhu и остали, 2001).

U praksi, to se manifestuje produženim vremenom fermentacije, često sa kašnjenjem od nekoliko sati u poređenju sa kontrolnim uzorcima bez rezidua. Krive zakiseljavanja pokazuju da starter kulture u prisustvu inhibitora postižu niži stepen acidifikacije u istom vremenskom intervalu, što rezultira neujednačenom teksturom i promenama u senzornim osobinama jogurta (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007).

Čak i niske koncentracije rezidua mogu izazvati poremećaje u kinetici fermentacije, produžiti lag fazu rasta bakterija i smanjiti maksimalnu brzinu zakiseljavanja (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007). Ovi efekti imaju direktan uticaj

na konzistentnost kvaliteta gotovog proizvoda, pa se pravilna kontrola higijenskih protokola i validacija postupaka ispiranja nameću kao ključni faktori u očuvanju tehnološke efikasnosti proizvodnje jogurta.

SENZORNA SVOJSTVA I KVALITET PROIZVODA

Senzorna svojstva jogurta – uključujući teksturu, aromu, ukus i konzistenciju – direktno zavise od pravilne aktivnosti starter kultura tokom fermentacije. Kada su starter bakterije izložene reziduima dezinfekcionih sredstava, dolazi do poremećaja u njihovoj metaboličkoj funkciji, što se odražava na organoleptičke karakteristike gotovog proizvoda (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007).

Rezidue hlornih preparata i kvaternernih amonijumovih jedinjenja posebno su povezani sa smanjenom proizvodnjom mlečne kiseline, što rezultira slabijim zakiseljavanjem i blažim ukusom jogurta (Sidhu и остали, 2001). Oksidativni agensi, s druge strane, mogu izazvati pojavu neželjenih aroma usled oksidacije mlečnih komponenti. Tekstura proizvoda postaje neujednačena, sa mogućim odstupanjima u viskoznosti i koagulaciji proteina.

Varijabilnost u senzornim osobinama često dovodi do smanjene konzistentnosti kvaliteta između različitih proizvodnih serija, što predstavlja značajan izazov za mlečnu industriju. Potrošači očekuju stabilan i prepoznatljiv profil jogurta, pa čak i minimalne promene u ukusu ili teksturi mogu negativno uticati na percepciju brenda (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007).

Ovi nalazi naglašavaju da kontrola rezidua dezinfekcionih sredstava nije samo pitanje biosigurnosti, već i ključni faktor u očuvanju senzorne stabilnosti i tržišne vrednosti jogurta (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007) (Chandan, 2014).

INDUSTRIJSKE IMPLIKACIJE

Rezidue dezinfekcionih sredstava u proizvodnji jogurta predstavljaju izazov koji prevazilazi okvire mikrobiološke kontaminacije i biosigurnosti. Njihovo prisustvo direktno utiče na fermentacionu kinetiku, senzorna svojstva i konzistentnost kvaliteta gotovog proizvoda, što ima značajne posledice po industrijsku praksu.

Prvo, produženo vreme fermentacije usled inhibicije starter kultura dovodi do povećanja proizvodnih troškova i smanjenja efikasnosti procesa (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007). Drugo, varijabilnost u organoleptičkim osobinama jogurta može negativno uticati na percepciju potrošača i stabilnost brenda na tržištu. Treće, neadekvatno ispiranje opreme nakon dezinfekcije može rezultirati ponavljajućim problemima u proizvodnim serijama, što zahteva dodatne kontrole kvaliteta i korektivne mere.

Iz perspektive regulative, mlečna industrija mora da obezbedi usklađenost sa međunarodnim standardima (npr. ISO i EFSA smernice), koji naglašavaju potrebu za validacijom postupaka čišćenja i ispiranja. To podrazumeva ne samo izbor odgovarajućih dezinfekcionih sredstava, već i optimizaciju protokola kako

bi se postigla ravnoteža između biosigurnosti i očuvanja aktivnosti starter kultura (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007).

Na strateškom nivou, razumevanje interakcije između hemijskih rezidua i starter kultura doprinosi razvoju inovativnih tehnologija čišćenja, kao i implementaciji preventivnih mera koje obezbeđuju stabilan kvalitet proizvoda (Chandan, 2014). Time se ne samo unapređuje tehnološka efikasnost, već i jača konkurentnost mlečne industrije na globalnom tržištu.

ZAKLJUČAK

Rezidue dezinfekcionih sredstava u proizvodnji jogurta predstavljaju značajan faktor rizika koji može kompromitovati aktivnost starter kultura, usporiti fermentacionu kinetiku i izazvati varijacije u senzornim svojstvima gotovog proizvoda. Iako su dezinfekciona sredstva neophodna za održavanje higijene i biosigurnosti u mlečnoj industriji, njihova nepravilna upotreba ili nedovoljno ispiranje opreme dovode do poremećaja u fermentacionom procesu.

Analiza dostupne literature pokazuje da čak i niske koncentracije rezidua mogu imati inhibicioni efekat na *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* i *Streptococcus thermophilus*, produžavajući vreme fermentacije i smanjujući konzistentnost kvaliteta jogurta. Ovi nalazi naglašavaju potrebu za pažljivim odabirom dezinfekcionih sredstava, optimizacijom protokola čišćenja i validacijom postupaka ispiranja.

Sa industrijskog aspekta, kontrola rezidua nije samo pitanje mikrobiološke sigurnosti, već i ključni element u očuvanju stabilnog kvaliteta proizvoda i zadovoljstva potrošača. Dalja istraživanja usmerena na razumevanje interakcije između hemijskih rezidua i starter kultura doprineće razvoju inovativnih tehnologija čišćenja i unapređenju proizvodne efikasnosti.

LITERATURA

1. Chandan, R. C. (2014). Dairy – Fermented Products. U S. Clark, S. Jung, & B. Lamsal (Upr.), *Food Processing* (1st izd., str. 405–436). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118846315.ch18>
2. Chandan, R. C., & Kilara, A. (Upr.). (2013). *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks* (1st izd.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118481301>
3. Dunsmore, D. G., Makin, D., & Arkins, R. (1985). Effect of residues of five disinfectants in milk on acid production by strains of lactic starters used for Cheddar cheesemaking and on organoleptic properties of the cheese. *Journal of Dairy Research*, 52(2), 287–297. <https://doi.org/10.1017/S002202990002416X>
4. Fernández, M., Hudson, J. A., Korpela, R., & De Los Reyes-Gavilán, C. G. (2015). Impact on Human Health of Microorganisms Present in Fermented Dairy Products: An Overview. *BioMed Research International*, 2015, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2015/412714>
5. Sidhu, M. S., Langsrud, S., & Holck, A. (2001). Disinfectant and Antibiotic Resistance of Lactic Acid Bacteria Isolated from the Food Industry. *Microbial Drug Resistance*, 7(1), 73–83. <https://doi.org/10.1089/107662901750152846>
6. Tamime A.Y & Robinson R.K. (2007). *Tamime and Robinsons Yoghurt Science and Technology* (3rd izd.)