

**FERMENTATSIYA SHAROITLARINING POSTBIOTIK METABOLITLAR
TARKIBI VA BIOLOGIK FAOLLIGIGA TA'SIRI*****To'rayeva Munisa Furqat qizi****Namangan Davlat Texnika Universiteti talabasi**E-mail: m.torayeva2005@gmail.com**Tel: +998973381315*

Kalit so'zlar: Fermentatsiya sharoitlari, postbiotik metabolitlar, probiotiklar, qisqa zanjirli yog' kislotalari (SCFA), bakteriosinlar, ekzopolisaxaridlar (EPS), Lactobacillus, Bifidobacterium, antimikrobiyal faollik, immunomodulyatsiya, antioksidant, qattiq fazali fermentatsiya, suyuq fazali fermentatsiya, biologik faollik, metabolomika, farmatsevtika.

Annotatsiya

Fermentatsiya sharoitlari postbiotik metabolitlarning tarkibi va biologik faolligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Postbiotiklar – probiotik mikroorganizmlar (masalan, Lactobacillus va Bifidobacterium turlarining) fermentatsiya jarayonida ishlab chiqaradigan o'lik hujayralar, ularning komponentlari va metabolitlari (SCFA, bakteriosinlar, EPS va boshqalar) bo'lib, ular jonli hujayralarsiz ham sog'liq uchun foydali ta'sir ko'rsatadi. Ushbu maqolada fermentatsiya parametrlari (harorat, pH, oziq muhit tarkibi, vaqt, kislorod darajasi) metabolitlar hosildorligi va faolligiga qanday ta'sir etishi tahlil qilinadi. Optimal sharoitlarda (masalan, 37°C, pH 5.5–6.5) SCFA va bakteriosinlar miqdori ortadi, bu esa antimikrobiyal, immunomodulyator va antioksidant xususiyatlarni kuchaytiradi.

Asosiy qism

Postbiotiklar zamonaviy biotexnologiya, oziq-ovqat sanoati va tibbiyotda muhim o'rin tutadi. Ular probiotik mikroorganizmlar tomonidan fermentatsiya jarayonida hosil bo'ladigan metabolitlar, o'lik hujayralar va ularning komponentlaridan iborat bo'lib, jonli bakteriyalarsiz ham mezbon organizmga foydali ta'sir ko'rsatadi. ISAPP (International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics) ta'rifiga ko'ra, postbiotiklar – bu o'lik mikroorganizmlar va/yoki ularning komponentlari bo'lib, ular sog'liq uchun foyda keltiradi. Bu metabolitlar orasida qisqa zanjirli yog' kislotalari (SCFA – short-chain fatty acids), bakteriosinlar, ekzopolisaxaridlar (EPS), organik kislotalar, biopeptidlar va boshqa birikmalar mavjud.

Fermentatsiya sharoitlari – harorat, pH, oziq muhit tarkibi, fermentatsiya vaqti, kislorod darajasi, inokulum miqdori va boshqa parametrlari – postbiotik metabolitlarning tarkibi, miqdori va biologik faolligini to'g'ridan-to'g'ri belgilaydi.

Masalan, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis* va boshqa lactic acid bacteria (LAB) shtamlari uchun optimal sharoitlarda SCFA, bakteriosinlar va EPS hosildorligi bir necha baravar ortishi mumkin. Bu esa antimikrobiyal, immunomodulyator, antioksidant va yallig'lanishga qarshi ta'sirlarni kuchaytiradi. Postbiotiklarning asosiy afzalliklari: ular barqaror, saqlash muddati uzun, issiqlikka chidamli, zaif immunitetli odamlarda (bolalar, qariyalar, bemorlar) xavfsizroq. Ular ichak mikrobiotasini tartibga soladi, patogen bakteriyalarni bostiradi, ichak to'sig'ini mustahkamlaydi, metabolik kasalliklarni (diabet, semizlik) oldini oladi va oziq-ovqat mahsulotlarining sifatini yaxshilaydi. Ushbu maqolada fermentatsiya sharoitlarining postbiotik metabolitlar tarkibi va biologik faolligiga ta'siri batafsil tahlil qilinadi, optimallashtirish usullari va sanoat qo'llanishlari ko'rib chiqiladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, fermentatsiya jarayonini statistik modellar (RSM, Box-Behnken, Plackett-Burman) yordamida optimallashtirish hosildorlikni 2–4 baravar oshirishi mumkin.

Postbiotik metabolitlarning asosiy turlari va biologik faolligi: Postbiotik metabolitlar fermentatsiya mahsulotlari sifatida turli xil bo'ladi. Eng muhimlari:

1. Qisqa zanjirli yog' kislotalari (SCFA): Asetat, propionat va butirrat. Ular uglevodlarning anaerob fermentatsiyasi natijasida hosil bo'ladi. SCFA ichak epiteliy hujayralari uchun energiya manbai bo'lib, yallig'lanishni kamaytiradi, immun javobni tartibga soladi va qon shakarini barqarorlashtiradi. Tadqiqotlarda butirrat ichak saratoni xavfini pasaytirishi va neyrodegenerativ kasalliklarga qarshi ta'sir ko'rsatishi aniqlangan.

2. *Bakteriosinlar:* *Lactobacillus* va boshqa LAB tomonidan ishlab chiqariladigan antimikrobiyal peptidlar. Ular patogenlar (*E. coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*) hujayra membranasini buzib, o'sishini to'xtatadi. Bakteriosinlar oziq-ovqat konservantlari sifatida ishlatiladi.

3. *Eksopolisaxaridlar* (EPS): Shtamlarning tashqi qobig'ida hosil bo'ladigan polisaxaridlar. Ular immunomodulyator, antioksidant, antibiofilm va suvni ushlab turuvchi xususiyatlarga ega. EPS tarkibi (monosaxaridlar zanjiri, bog'lanish turi) fermentatsiya sharoitlariga bog'liq.

4. *Boshqa metabolitlar:* Sut kislotasi, sirka kislotasi, gamma-aminobutirik kislota (GABA), konjugatsiyalangan linoleik kislota (CLA), vitaminlar va fenolik birikmalar. Bu moddalar antioksidant faollikni oshiradi va neurotransmitter sifatida ishlaydi. Bu metabolitlarning biologik faolligi fermentatsiya sharoitlariga kuchli bog'liq. Masalan, past pH va optimal haroratda bakteriosinlar va SCFA miqdori ortadi, ammo haddan tashqari ekstremal sharoitlar (yuqori harorat yoki juda past pH) metabolitlarni parchalashi mumkin.

Fermentatsiya sharoitlarining ta'siri: Harorat LAB o'sishi va metabolizmi uchun eng muhim omillardan biri. Ko'pchilik *Lactobacillus* va *Bifidobacterium*

shtammlari uchun optimal harorat 30–40°C, eng yaxshisi 37°C. Bu haroratda hujayra bo‘linishi tez, fermentativ fermentlar faolligi yuqori bo‘ladi. Tadqiqotlardan birida *Lactobacillus plantarum* uchun 37°C da SCFA va bakteriosinlar maksimal miqdorda ishlab chiqarilgan. 30°C dan past haroratda o‘shish sekinlashadi, metabolit hosildorligi pasayadi. 42°C dan yuqori harorat stress yaratib, ba’zi shtammlarda EPS ishlab chiqarishni rag‘batlantirishi mumkin, ammo umumiy biomassani kamaytiradi. *Bifidobacterium thermophilum* kabi ba’zi turlar 41–43°C gacha bardosh beradi. Harorat metabolit tarkibini ham o‘zgartiradi: yuqori haroratda asetat ko‘payishi, past haroratda butirat nisbati ortishi mumkin. Sanoatda bioreaktorlarda haroratni aniq nazorat qilish (PID regulyatorlari) orqali hosildorlikni barqarorlashtirish mumkin.

pH ning ta’siri: pH fermentatsiya muhitining kislotaliligini belgilaydi va metabolik yo‘llarni boshqaradi. Optimal pH 5.0–6.5 oralig‘ida. Kislotali muhit (pH 5.5) organik kislotalar va bakteriosinlar ishlab chiqarishni kuchaytiradi, chunki ko‘p bakteriosinlar past pH da faolroq. Juda past pH (4.0 dan past) hujayra o‘shishini inhibe qiladi va metabolitlarni parchalashi mumkin. Yuqori pH (7.0 dan ortiq) esa heterofermentativ yo‘llarni faollashtirib, asetat va etanol hosil bo‘lishini oshiradi. Avtomatik pH nazorati (NaOH yoki HCl qo‘shish) bilan bioreaktorda hosildorlik 2–3 baravar oshishi mumkin. Tadqiqotlarda pH 6.0 da *Lactobacillus acidophilus* uchun CLA va EPS maksimal bo‘lgan. pH o‘zgarishi metabolomika (GC-MS, LC-MS) orqali kuzatilganda, 100 dan ortiq metabolitlarning profillari o‘zgarishi aniqlangan.

Oziq muhit tarkibi va substratning roli: Oziq muhit – uglevodlar (glyukoza, laktoza, fruktooligosaxaridlar), azot manbalari (pepton, xamirturush ekstrakti, sut zardobi), minerallar (Mg, Mn) va vitaminlar – metabolit tarkibini belgilaydi. Sut zardobi (cheese whey) arzon va samarali substrat bo‘lib, *Bifidobacterium lactis* BB12 uchun CLA, EPS va bakteriosinlar birga ishlab chiqarilishi optimallashtirilgan: 38°C, 28 soat, 2.5% xamirturush ekstrakti. Qattiq fazali fermentatsiya (SSF – solid-state fermentation) makkajo‘xori uni, soya uni, bug‘doy kepagi kabi substratlarda yuqori hosildorlik beradi. SSF da suv faolligi past, energiya sarfi kam, chiqindilar kamayadi. Suyuq fazali fermentatsiya (SmF) esa MRS muhitida qulayroq nazorat qilinadi. Substrat tarkibi EPS monosaxaridlar zanjirini o‘zgartiradi: glyukoza ko‘p bo‘lsa, glyukanlar ko‘payadi. Azot manbai kam bo‘lsa, stress metabolitlari (bakteriosinlar) ortadi. Vaqt, inokulum va boshqa omillar Fermentatsiya vaqti 24–48 soat optimal. Dastlabki 12–24 soatda biomass va asosiy metabolitlar (sut kislotasi) ko‘payadi, keyin ikkilamchi metabolitlar (bakteriosinlar) ortadi. Uzoqroq vaqt metabolitlarni parchalashi mumkin. Inokulum miqdori 6–10% eng yaxshi natija beradi. Kislorod: Ko‘pincha anaerob sharoit afzal, ammo mikroaerofil sharoit ba’zi shtammlarda EPS ni oshiradi. Aralashtirish tezligi (100–200 rpm) masshtansferini yaxshilaydi.

Statistik dizaynlar fermentatsiyani ilmiy asosda optimallashtiradi:

1. One-Factor-At-a-Time (OFAT): Har bir omilni alohida o‘zgartirish.

2. Plackett-Burman Design (PBD): Asosiy omillarni skrining.

3. Response Surface Methodology (RSM, Box-Behnken, CCD): Omillar o‘zaro ta’sirini hisobga olib, optimal nuqtani topish. Bir misolda Bifidobacterium lactis BB12 uchun pishloq zardobida optimallashtirish natijasida CLA, EPS va bakteriosinlar birga maksimallashtirilgan. Boshqa tadqiqotda Bacillus amyloliquefaciens va L. plantarum aralashmasi bilan SSF da antibakterial, antioksidant va anti-yallig‘lanish faolligi kuchaygan. Fenillaktik kislota, sut kislotasi va fenolik birikmalar miqdori ortgan.

Metabolomika usullari (GC-MS, NMR) metabolit profillarini aniqlab, sharoitlarni yanada takomillashtiradi. Genetik muhandislik (metabolik yo‘llarni kuchaytirish) va co-fermentatsiya (bir necha shtamm birga) hosildorlikni oshiradi. Sanoat qo‘llanishi, qiyinchiliklar va kelajak istiqbollari Postbiotiklar oziq-ovqat (fermentlangan sut mahsulotlari, ichimliklar, non), yem-xashak, kosmetika va farmatsevtikada qo‘llaniladi. Ular mahsulot saqlash muddatini uzaytiradi, patogenlarni oldini oladi va funksional oziq-ovqatlar yaratadi. Sanoatda bioreaktorlar, nontermal inaktivatsiya usullari (ultratovush, yuqori bosim) ishlatiladi. Qiyinchiliklar: shtamm barqarorligi, hosildorlikning o‘zgaruvchanligi, tozalik, xarajat va tartibga solish (regulyatsiya). Metabolitlarning bioekvivalentligini ta’minlash va miqyoslash muammolari mavjud. Kelajakda AI va mashinaviy o‘qitish fermentatsiya jarayonini real vaqtda optimallashtiradi. Barqaror substratlar (chiqindilar) va sintetik biologiya yangi postbiotik turlarini yaratadi. Tadqiqotlar ichak mikrobiotasi bilan o‘zaro ta’sirni chuqurroq o‘rganishi lozim.

Xulosa: qilib aytganda, fermentatsiya sharoitlarini aniq optimallashtirish postbiotik metabolitlar tarkibi va biologik faolligini sezilarli darajada yaxshilaydi. Bu sog‘liqni saqlash, oziq-ovqat xavfsizligi va ekologik barqarorlikka katta hissa qo‘shadi. Ilmiy tadqiqotlar va sanoat hamkorligi orqali postbiotiklar keng qo‘llanilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Thorakkattu P, et al. Postbiotics: Current Trends in Food and Pharmaceutical Industry. Foods. 2022;11(19):3094. doi:10.3390/foods11193094.

2. Rafique N, et al. Promising bioactivities of postbiotics: A comprehensive review. Journal of Agriculture and Food Research. 2023;14:100678. doi:10.1016/j.jafr.2023.100678.

3. Prajapati N, et al. Postbiotic production: harnessing the power of microbial fermentation. Frontiers in Microbiology. 2023;14:1306192. doi:10.3389/fmicb.2023.1306192.

4. Zhu Y, et al. The Role of Inactivation Methods in Shaping Postbiotic Composition and Modulating Bioactivity: A Review. Foods. 2025;14(13):2358. doi:10.3390/foods14132358.

5. Amobonye A, et al. Postbiotics: an insightful review of the latest category in functional foods. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2025;41:123. doi:10.1007/s11274-025-04483-8.
6. Amiri S, et al. Fermentation optimization for co-production of postbiotics by *Bifidobacterium lactis* BB12 in cheese whey. *Waste and Biomass Valorization*. 2021;12:xxxx. (Optimization of fermentation conditions).
7. Tong Y, et al. Optimizing postbiotic production through solid-state fermentation with *Bacillus amyloliquefaciens* J and *Lactiplantibacillus plantarum* SN4 enhances antibacterial, antioxidant, and anti-inflammatory activities. *PubMed*. 2023. doi:10.1016/j.foodchem.2023.XXXX.
8. Aguilar-Toalá JE, et al. Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science & Technology*. 2018;75:105-114. doi:10.1016/j.tifs.2018.03.009.
9. Salminen S, et al. The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. 2021;18:649-667.
10. Wegh CAM, et al. Postbiotics and Their Potential Applications in Early Life Nutrition and Beyond. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(19):4673.
11. Moghadam SK, et al. Postbiotics in food, feed, and culture media: mechanisms and applications. *Journal of Future Foods*. 2026. doi:10.1186/s43014-025-00356-7.
12. Hijová E. Postbiotics as Metabolites and Their Biotherapeutic Potential. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25(10):5441.
13. Aggarwal S, et al. Postbiotics: From emerging concept to application. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022;6:887642. doi:10.3389/fsufs.2022.887642.
14. Bueno EBT, et al. Postbiotics Derived from Lactic Acid Bacteria Fermentation. *Fermentation*. 2025;11(7):362.
15. Pawar SV, et al. Postbiotics for improving food quality and safety. *LWT - Food Science and Technology*. 2026.