QO‘QON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI ILMIY XABARLARI
(2026-yil 10-son)

TABIIY FANLAR

NATURAL SCIENCES

https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i10.098

UO‘K: 637.146.3:579.67

LACTIPLANTIBACILLUS PLANTARUM YORDAMIDA YOGURTNI FOLAT BILAN MIKROBIAL BIOFORTIFIKATSIYA QILISH: BIOSINTEZ MEXANIZMLARI, TEXNOLOGIK OMILLAR VA SIFAT KO‘RSATKICHLARINING QIYOSIY TAHLILI

Akbarova Muxayyo Xusanovna
Farg‘ona davlat universiteti dotsenti,
biologiya fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD)
ORCID ID 0000-0002-2903-5675
Xamzaliyeva A’loxon Adhamjon qizi
Farg‘ona davlat universiteti magistranti
ORCID ID 0009-0000-7741-0209

Annotatsiya. Maqolada *Lactiplantibacillus plantarum* yordamida yogurtni folat (B9 vitamini) bilan mikrobial biofortifikatsiya qilishning molekulyar-biokimyoviy va texnologik asoslari, folat miqdori bilan mahsulot sifati o‘rtasidagi bog‘liqlik hamda o‘lchash usullarining qiyoslanishi ko‘rib chiqildi. Ilmiy manbalar asosida folat biosintezining shtammga bog‘liqligi, fermentatsiya muhitining ta’siri, yogurt starterlari bilan ko-kultivatsiya, tabiiy folat shakllarining miqdoriy tahlili va sovitib saqlash davridagi barqarorligi tahlil etildi. Maqolada nazorat va tajriba guruhlarini, folat vitamerlari, pH, titrlanadigan kislotalilik, sinerezis, reologiya, mikrobiologik barqarorlik hamda sensor baholashni birlashtiruvchi tekshiriladigan eksperimental model ishlab chiqildi.

Kalit so‘zlar: *Lactiplantibacillus plantarum*, yogurt, folat, 5-metiltetrahidrofolat, biofortifikatsiya, ko-kultivatsiya, fermentatsiya, LC–MS/MS, saqlanish barqarorligi, sifat nazorati.

Abstract. This article examines the molecular, biochemical, and technological foundations of microbial biofortification of yogurt with folate (vitamin B9) using Lactiplantibacillus plantarum, the relationship between folate content and product quality, and a comparative assessment of analytical methods. Based on scientific literature, the study analyzes the strain-dependent nature of folate biosynthesis, the influence of fermentation conditions, co-cultivation with conventional yogurt starter cultures, quantitative analysis of naturally occurring folate vitamers, and their stability during refrigerated storage. Furthermore, a verifiable experimental model is proposed that integrates control and

experimental groups with the assessment of folate vitamers, pH, titratable acidity, syneresis, rheological properties, microbiological stability, and sensory characteristics.

Keywords: *Lactiplantibacillus plantarum*, yogurt, folate, vitamin B9, microbial biofortification, lactic acid bacteria, LC–MS/MS, product quality.

KIRISH. Folatlar bir uglerodli fragmentlar almashinuvida qatnashuvchi, nukleotid biosintezi va hujayra bo‘linishi uchun zarur bo‘lgan suvda eriydigan B9 vitamini guruhidir. Bu atama faqat sintetik foliy kislotasini emas, balki 5-metiltetrahidrofolat (5-MTHF), 5-formiltetrahidrofolat (5-FTHF), tetrahidrofolat (THF) kabi biologik faol shakllarni ham qamrab oladi. Odam organizmi folat ehtiyojini asosan oziq-ovqat orqali qondiradi. AQSh Milliy sog‘liqni saqlash institutining oziqlanish bo‘yicha ma’lumotiga ko‘ra, kattalar uchun tavsiya etiladigan miqdor 400 mkg DFE/kun; bu raqam mahalliy mahsulot yorlig‘idagi huquqiy da’voni avtomatik asoslamaydi. [1, 12]

Folat miqdorini oziq-ovqatda oshirishning ikki yondashuvi mavjud: tayyor vitaminni qo‘shish va mahsulot tarkibida mikroorganizmlar yordamida biosintez qilish. Ikkinchi strategiya mikrobial biofortifikatsiya deyiladi. Ushbu usulda sut kislotasi bakteriyalari fermentatsiya mobaynida folat hosil qilishi mumkin; lekin ayrim shtammlar tayyor folatni iste’mol qilishi, boshqa shtammlar esa ishlab chiqarishi mumkin. Demak, bir tur doirasida aniqlangan vitamin sintezi butun turga umumlashtirilmaydi. [1, 2]

Yogurt ishlab chiqarishda odatda *Streptococcus thermophilus* hamda *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* simbiotik starterlari ishlatiladi. Codex CXS 243-2003 ta’rifiga muvofiq ayni shu mikroorganizmlar klassik yogurtning identifikatsion asosidir; boshqa xavfsiz mikroorganizmlarni qo‘shishga ruxsat berilishi ularning klassik starter o‘rnini avtomatik egallashini anglatmaydi. Shuning uchun *L. plantarum* ni mahsulotni biofortifikatsiya qiluvchi qo‘shimcha kultura sifatida qo‘llash ilmiy va texnologik jihatdan maqbul boshlang‘ich strategiya hisoblanadi. [10]

Tadqiqot muammosi shundan iboratki, folatning ko‘payishi doim ham texnologik sifatning yaxshilanishi bilan birga kechmaydi. Kislota hosil bo‘lish sur’ati, proteoliz, starterlararo raqobat, saqlash mobaynidagi postatsidifikatsiya, erkin zardob ajralishi va iste’molchi qabul qilishi bitta mikrobiologik aralashmaga turlicha javob beradi. Shu bois folat miqdorini mustaqil ko‘rsatkich sifatida emas, ko‘p mezonli sifat tizimining bir qismi sifatida tekshirish kerak.

Tadqiqot maqsadi — ilmiy manbalar asosida *L. plantarum* ishtirokida yogurtning folat bilan mikrobial biofortifikatsiyasi imkoniyatlarini tanqidiy tahlil qilish hamda vitamin miqdorini, mahsulot sifati va xavfsizligini birgalikda baholashning ilmiy asoslangan eksperimental modelini taklif etish.

Tadqiqot vazifalari: (I) folat biosintezining shtammga xos asoslarini tavsiflash; (II) e’lon qilingan yogurt va fermentlangan sut tadqiqotlarini qiyoslash; (III) laboratoriya tajribasi va nazorat guruhlarini loyihalash; (IV) folat vitamerlari va yogurt sifatini o‘lchash ko‘rsatkichlarini tanlash; (V) xatolik manbalarini va amaliy joriy etish cheklovlarini baholash.

Ishning ilmiy ahamiyati mavjud natijalarni yangidan o‘zlashtirishda emas, balki folat hosil bo‘lishi, vitamerlar taqsimoti, fermentatsiya jarayoni va saqlashdagi sifat dinamikasini ajralmas baholash tizimiga birlashtirish, shuningdek, nisbiy folat boyishini nazoratga nisbatan aniqlash algoritmini asoslashdan iborat.

MATERIALLAR VA USULLAR

Adabiyotlar tahlilida folat sintezlovchi sut kislotasi bakteriyalari, yogurt yoki fermentlangan sut matritsasi, yuqori samarali xromatografiya, folatning bioo‘zlashtirilishi hamda mahsulot sifati bilan bevosita bog‘liq manbalar ajratildi. Tahlilning besh mezoni belgilandi: shtamm identifikatsiyasi va xavfsizligi; folatni o‘lchash usuli hamda ifodalash birligi; klassik yogurt starterlari bilan moslik; saqlash mobaynidagi fizik-kimyoviy va sensor barqarorlik; real mahsulotga texnologik ko‘chirish imkoniyati. Folatni kimyoviy qo‘shish bilan amalga oshirilgan ishlardan mikrobial sintez samarasi ajratiladi.

Eksperimental tekshirish uchun taklif etiladigan model bajarilgan laboratoriya tajribasini anglatmaydi. Bir xil partiyadagi pasterizatsiyalangan va tarkibi standartlashtirilgan sigir sutida (maqsadli oqsil miqdori 3,0–3,5% va yog‘ miqdori texnologik retseptga muvofiq) to‘rtta variant tayyorlash tavsiya etiladi. Barcha variantlarda klassik yogurt starterlari doimiy miqdorda saqlanadi; folat sintezlovchi *L. plantarum* esa faqat tajriba variantlarida qo‘shimcha kultura sifatida ishlatiladi. Har bir variant mustaqil uchta ishlab chiqarish partiyasida bajariladi; bir partiyadan olingan ko‘p o‘lchovlar mustaqil biologik takror sifatida hisoblanmaydi.

Taklif etiladigan eksperimental variantlar

1-jadval.

Guruh	**Starter tarkibi**	***L. plantarum* boshlang‘ich qo‘shimchasi**	**Maqsad**
K - nazorat	S. thermophilus + L. delbrueckii subsp. bulgaricus	Yo‘q	Standart yogurt fonini aniqlash
T1	K tarkibi + L. plantarum	10^6 KHB/ml atrofida	Past dozaning ta’siri
T2	K tarkibi + L. plantarum	10^7 KHB/ml atrofida	O‘rta dozaning ta’siri
T3	K tarkibi + L. plantarum	10^8 KHB/ml atrofida	Yuqori doza va sensor xavf

Ko‘rsatilgan inokulum darajalari qat’iy ishlab chiqarish normasi emas, balki dastlabki optimallashtirish uchun tadqiqot diapazonidir. Har bir qo‘shimcha kultura partiyasida ekishdan oldin titr real sanalishi, pH 4,6 atrofidagi fermentatsiya yakunigacha yetib borish vaqti qayd qilinishi va 4 ± 1 °C da saqlashda 1-, 7-, 14-, 21-kunlarda folat hamda sifat ko‘rsatkichlari o‘lchanishi tavsiya etiladi. Xom sut bosqichi va fermentatsiya yakunidan olingan nazorat namunalari biofortifikatsiya samaradorligini aniqlash uchun alohida zarur.

Jarayonning taxminiy bosqichlari: sut tarkibini standartlashtirish → issiqlik bilan ishlov berish (masalan, 85 °C/30 daqiqa yoki sanoat rejimiga ekvivalent) → starter shtammining xususiyatiga mos 40–43 °C ga sovitish → steril/aseptik inokulyatsiya → pH

4,6–4,5 gacha fermentatsiya → zudlik bilan sovitish → 4 ± 1 °C da saqlash. Harorat va vaqtni yakuniy tanlash tanlangan shtammning o‘sish hamda folat biosinteziga doir sinovlari bilan aniqlanadi.

Yogurt tarkibidagi folat vitamerlari qatoriga 5-MTHF, 5-FTHF, THF va boshqa mos shakllar kirishi mumkin. Umumiy folatni birgina mikrobiologik test orqali aniqlash birlamchi skrining uchun foydali, biroq alohida vitamerlar profilini ko‘rsatmaydi. Taklif etilayotgan yakuniy analitik usul — matritsada validatsiya qilingan maqsadli LC–MS/MS; imkoniyatga qarab UHPLC-HRMS vitamin shakllarini chuqurroq profillash uchun qo‘llanadi. Ekstraksiyada askorbatga asoslangan antioksidant muhit, nazoratli yorug‘lik va harorat rejimi, kerak bo‘lganda dekon’yugatsiya hamda tegishli ichki standartlar qo‘llanadi. Har bir folat shakli uchun tiklanish foizi, kalibrlash diapazoni, aniqlash/miqdoriy chegarasi va matritsa effektini tekshirish zarur. [6]

Muhim talqin: folat tarkibi mkg/l, mkg/100 g, mkg/ml yoki 5-MTHF ekvivalenti sifatida berilishi mumkin. Turli ishlardagi konsentratsiyalarni solishtirishdan avval birliklar o‘girilishi bilan bir qatorda analitik usul, ekstraksiya, vitamin shakllari, erkin va hujayra bilan bog‘langan fraksiyalar ham mos kelishini tekshirish shart. Muhitda yig‘ilgan hujayradan tashqari folat qiymati butun yogurt mahsulotining iste’mol qilinadigan umumiy folati bilan aynan bir xil emas.

Yogurtning mikrobiologik xavfsizligi, klassik starterlarning tirik hujayra soni, qo‘shimcha *L. plantarum* tirikligi, titrlanadigan kislotalilik, pH, sinerezis, suvni ushlash qobiliyati (WHC), ko‘rinma yopishqoqlik, tekstura hamda sensor maqbullik birgalikda nazorat qilinishi kerak. ISO 7889:2026 klassik yogurtga xos ikkita starter mikroorganizmini koloniyalar usulida hisoblashni qamrab oladi, lekin qo‘shimcha *L. plantarum* ni alohida spetsifik tarzda aniqlash uchun differensial/selektiv muhit va tasdiqlovchi molekulyar identifikatsiya talab qilinishi mumkin. [10, 11]

Taklif etilgan statistika: ishlab chiqarish partiyasi tasodifiy omil, guruh, saqlash kuni va ularning o‘zaro ta’siri qat’iy omillar sifatida kiritilgan aralash chiziqli model; qoldiq taqsimoti va dispersiyalar tekshiriladi. Normal taqsimot asoslari bajarilgan holatda ko‘p martalik taqqoslashlar Tukey yondashuvi yoki oldindan belgilangan kontrastlar bilan o‘tkaziladi. Muhimlik chegarasi $p < 0,05$; qo‘shimcha ravishda 95% ishonch oralig‘i va ta’sir kattaligi e’lon qilinadi. Texnik takrorlar biologik mustaqillik o‘rnini bosa olmaydi.

NATIJALAR: ADABIYOTLAR ASOSIDAGI QIYOSIY TAHLIL

2020-yilda Khalili va hammualliflar yogurt tarkibiga turli qo‘shimcha kulturani qo‘shib, sovitib saqlash davrida 5-MTHF hamda 5-FTHF shakllarini o‘rgangan. Mahalliy *L. plantarum* 15HN qo‘llangan variantda 7-kun umumiy folat 1487 ± 96,42 mkg/l bo‘lib, ishlatilgan variantlar orasida eng yuqori natija sifatida qayd etilgan. Bu xulosani boshqa shtammlarga umumlashtirish mumkin emas. [2]

Guo va hammualliflar (2024) ko‘p sonli bakterial izolyatlar orasidan *L. plantarum* TXZ2-26 va FJ2-3 shtammlarini ajratib, an’anaviy starterlar bilan ko-kultivatsiyalashgan. Tadqiqotda folE, folP, folQ, folB va folK kabi biosintez bilan bog‘liq genlar ifodalanishi hamda 3% NaCl osmotik stressining laboratoriya sharoitidagi ta’siri

ko‘rib chiqilgan. Shunga qaramay, tuzli stress sharoitini to‘g‘ridan-to‘g‘ri odatiy iste’mol yogurti retseptiga tatbiq etish texnologik va sensor jihatdan ma’qul bo‘lmasligi mumkin. [4]

2026-yilgi Cui va hammualliflar tajribasida ZJUIDS16 shtammi uchun kultivatsiya muhitida 27,16 mkg/ml folat (5-MTHF ekvivalenti), optimallashtirishdan so‘ng 34,72 mkg/ml hamda fermentlangan sutda 56,18 mkg/ml ko‘rsatkichlari keltirilgan. Tadqiqot nazoratiga nisbatan oshish qayd etilgan bo‘lsa-da, boshqa ishlarda qo‘llangan analitik usullar va birliklar bilan to‘g‘ridan-to‘g‘ri statistik umumlashtirish xato bo‘lishi mumkin. Ushbu maqoladagi qiymatlar original manbada qanday qayd etilgan bo‘lsa, shu tarzda saqlandi va yangi tekshiruv natijasi sifatida ko‘rsatilmaydi. [7]

Folat biofortifikatsiyasiga doir asosiy manbalar qiyosi

2-jadval.

Manba	Biomaterial va shtamm	Tasdiqlangan asosiy topilma	Qiyoslash cheklovi
Khalili va b., 2020 [2]	Sigir sutidan yogurt; L. plantarum 15HN	7-kunda 1487 ± 96,42 mkg/l umumiy folat	Saqlash kuni, vitamerlar va retsept farqi
Guo va b., 2024 [4]	Fermentlangan sigir/echki suti; TXZ2-26, FJ2-3	Kokultura va NaCl stressi folat oshishiga olib kelgan	Stress rejimi iste’mol yogurti uchun tayyor retsept emas
Tu va b., 2025 [5]	O‘simlik asosli sut; L. plantarum A3	Folat sintezi va sifatga ijobiy ta’sir imkoniyati	O‘simlik matritsasi sigir sutidan farq qiladi
Bozzetti va b., 2025 [6]	Yogurt starterlari, S. thermophilus va L. bulgaricus	UHPLC-HRMS orqali 6 folat metaboliti aniqlangan	Ushbu tajriba L. plantarum ga bag‘ishlanmagan
Cui va b., 2026 [7]	Fermentlangan sut; ZJUIDS16	56,18 mkg/ml (5-MTHF ekvivalenti sifatida) qayd etilgan	Analitik ifoda va birliklar farqli; mustaqil validatsiya zarur
Obermaier va b., 2024 [8]	Folatga boyitilgan zardob ichimligi	Inson pilot sinovida bioo‘zlashtirilishning cheklanganligi ko‘rsatilgan	Yogurt emas, zardob ichimligi; klinik ko‘rsatkichlar boshqa

2-jadvalda keltirilgan ishlar bir xil dizayn asosida bajarilmagani uchun ularning raqamli natijalari bo‘yicha meta-tahlil yoki umumiy samaradorlik koeffitsienti hisoblanmadi. Qiyosiy tahlil asosidagi izchil xulosa: istiqbolli natija avvalo shtamm tanloviga bog‘liq; keyingi bosqich esa xuddi shu sut matritsasi va xuddi shu analitik usulda nazoratga nisbatan takroriy tekshirish bo‘lishi kerak.

Sut kislotasi bakteriyalarida folat biosintezi odatda pteridin va para-aminobenzoy kislota (pABA) bilan bog‘liq prekursorlar, so‘ngra dihidropteroat va dihidrofolat hosil bo‘lishi bosqichlari orqali amalga oshadi. Folat biosinteziga oid folE, folB, folK, folP va folC singari genlarning mavjudligi sintetik yo‘lning potensial belgisi hisoblanadi, biroq gen mavjudligi mahsulotda sof folat ko‘payishini avtomatik tasdiqlamaydi. Shartli gen ifodalanishi, substrat yetarli bo‘lishi, mikrob biomassasi va starterlararo raqobat, metabolitning hujayraga bog‘lanishi kabi omillar mavjud. [1, 4, 7]

Tadqiqot natijalaridan kelib chiqadigan muhim mexanistik farq — bakteriyaning folat hosil qilishi va yogurtning umumiy folat bilan boyishi turli bosqichlardir. Birinchi jarayon

probirkadagi o‘sish muhitida ham qayd etilishi mumkin; ikkinchisi esa sutning oqsil-lipid matritsasi, o‘zgaruvchi pH, kulturalarning faolligi va fermentatsiya davomiyligi bilan cheklanadi. Bundan tashqari, saqlashdagi oksidlanish natijasida biofaol vitamerlarning profili o‘zgaradi.

Folat hosil bo‘lishi va yogurt sifatiga ta’sir qiluvchi omillar

3-jadval.

Omil	Folat uchun kutiladigan ta’sir	Sifat nazorati yoki xavf
Shtamm genotipi	Biosintez yo‘li to‘liqligi va ekspressiya	Antibiotikga rezistentlik determinantlari, identifikatsiya
pABA va boshqa prekursorlar	Ayrim sharoitlarda sintezni kuchaytirishi mumkin	Doza, qonuniy ruxsat, sensor o‘zgarishlar
Starterlararo moslik	Sintez/iste’mol balansi, kokultura sinergiyasi	Fermentatsiya vaqti, starter soni
pH va temperatura	Metabolik tezlik va vitamer barqarorligi	Postatsidifikatsiya va tuzilish
Sovitib saqlash va kislorod	Folat vitamerlarining parchalanishi yoki qayta taqsimlanishi	Sinerezis, ta’m, mikrobiologik barqarorlik
Analitik ekstraksiya	Aniqlangan konsentratsiyaga kuchli ta’sir	Matritsa effekti, tiklanish, kalibrlash

Bozzetti va hammualliflar (2025) *S. thermophilus* shtammlarida mikrobiologik usul bilan 309–639 mkg/l folat, *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* shtammlarida esa 48 mkg/l gacha folatni ko‘rsatgan. Ularning UHPLC-HRMS yondashuvi oltita folat metabolitini ajratishga imkon bergan. Mazkur natija klassik yogurt starterlari o‘zi ham folat muvozanatiga ta’sir qilishini tasdiqlaydi va *L. plantarum* qo‘shilgan yogurt uchun nazorat guruhini majburiy qiladi. [6]

Biofortifikatsiya samarasi quyidagi nisbiy ko‘rsatkich bilan hisoblanishi mumkin: BF (%) = [(F_tajriba − F_nazorat) / F_nazorat] × 100. Bu yerda har ikkala F ayni saqlash kunida, bir xil matritsa, o‘lchov birligi va analitik metodika bilan olingan folat qiymatidir. Dastlabki sut bilan solishtiriladigan «sof hosil»ni ajratish uchun F_fermentatsiya − F_xom_sut ko‘rsatkichi qo‘shimcha hisoblanadi; u bir xil ekstraksiya sxemasi bilan aniqlanadi.

Saqlanish barqarorligi uchun R_21 (%) = 100 × F_21 / F_1 hisoblash mumkin, lekin bu ko‘rsatkich 100% dan oshgan taqdirda albatta yangi biosintez yuz berganini isbotlamaydi: hujayralar lizisi, bog‘langan folatning chiqarilishi va analitik tiklanish ham kuzatilgan qiymatga ta’sir etishi mumkin. Har bir ko‘rsatkich uchun o‘lchov noaniqligi va biologik takrorlarni qayd etish zarur.

Sifati yuqori yogurt fermentatsiya jarayonida kerakli kislotalilikka erishishi, saqlashda haddan tashqari nordonlashmasligi, zardob ajratmasligi va xaridorga maqbul konsistensiyaga ega bo‘lishi lozim. *L. plantarum* ning ma’lum shtammlari ekzopolisaxarid hosil qilishi yoki oqsillar bilan o‘zaro ta’sirlashishi mumkin; lekin bunday imkoniyat har bir konkret shtamm va formulada mustaqil isbotlanadi. To‘liq sifatni baholash faqat pH yoki faqat folat tahlili bilan cheklanmasligi kerak.

Eksperimental tekshirish uchun sifat ko‘rsatkichlari va o‘lchash usullari

4-jadval.

Ko‘rsatkich	O‘lchash usuli	Namuna va talqin
Umumiy folat va 5-MTHF	Validatsiya qilingan LC–MS/MS; UHPLC-HRMS qo‘shimcha	Boshlang‘ich sut, 1/7/14/21-kun
pH va titrlanadigan kislotalilik	Kalibrlangan pH-metr va titrimetrik usul	Fermentatsiya davomida va saqlashda
Fermentatsiya davomiyligi	pH 4,6 ga yetish vaqti	Barcha guruhlar va partiyalar
Starterlar tirikligi	ISO 7889:2026	Yogurtga xos ikki starter; KHB/g
L. plantarum tirikligi	Validatsiyalangan selektiv/differensial ekish + identifikatsiya	Starterlardan alohida ajratish shart
Achitqi-mog‘or	Mos ISO mikrobiologik usuli	Saqlash xavfsizligi
Sinerezis va WHC	Standartlashtirilgan sentrifugalash / drenaj	Qancha past sinerezis, shuncha yaxshi, sharoitga bog‘liq
Yopishqoqlik va tekstura	Reometr/viskozimetr, tekstura analizatori	Bir xil o‘lchash harorati va deformatsiya rejimi
Sensor ko‘rsatkichlar	Kodlangan ko‘r baholash, oldindan tasdiqlangan shkala	Ta’m, hid, rang, konsistensiya, umumiy qabul
Shtamm xavfsizligi	Genom identifikatsiya, AMR profili, virulentlik va biogen amin xavfi	Oziq-ovqatga qo‘llashdan oldin

Codex CXS 243-2003 da yogurt uchun xos starterlar tirik va faol bo‘lishi hamda tegishli miqdorda saqlanishi belgilangan. Ushbu ko‘rsatkichlar mahsulot nomlanishi va iste’mol davrigacha mikrobiologik barqarorlikni baholashda muhim. Shuningdek, qo‘shimcha shtammni «probiotik» deb atash uchun uning tirikligi va o‘ziga xos sog‘liq foydasi tegishli dalillar bilan ko‘rsatilishi lozim; vitamin sintezi yoki kislota hosil bo‘lishi bunday da’vo uchun yetarli emas. [9, 10]

MUHOKAMA. Manbalar qiyosidan *L. plantarum* yordamida folatni ko‘paytirish mumkinligi ayon bo‘ladi, ammo optimum deganda bitta maksimal vitamin ko‘rsatkichi emas, ko‘p mezonli maqbul variant tushunilishi kerak. Agar T3 guruhida folat yuqori bo‘lsa-yu, saqlashda pH haddan tashqari kamayib, sinerezis oshsa yoki ta’m qabul qilinmasa, ushbu guruhni iste’mol mahsuloti sifatida optimal deyish to‘g‘ri emas. Aksincha, folat nazoratga nisbatan izchil va takrorlanadigan tarzda ortgan, tuzilishi va ta’mi buzilmagan, xavfsizlik ko‘rsatkichlari qoniqarli bo‘lgan variant ustun hisoblanadi.

Optimallashtirish uchun ikki bosqichli yondashuv taklif etiladi. Birinchi bosqichda majburiy mezonlar — shtamm xavfsizligi, mahsulotning gigiyenik ko‘rsatkichlari, starterlarning saqlanishi va sensor qabul qilinishi — bo‘yicha yaroqsiz variantlar chiqarib tashlanadi. Ikkinchi bosqichda mos variantlar ichida folat miqdori, saqlanishdagi retensiya, past sinerezis va maqbul tekstura bo‘yicha Pareto tahlili yoki oldindan e’lon qilingan vaznlar bilan ko‘p mezonli baholash bajariladi. Statistik asos bo‘lmaganda sun’iy «optimal ball» hisoblash tavsiya etilmaydi.

Laboratoriyada folat miqdori ortishi uning inson organizmida to‘liq o‘zlashtirilishini anglatmaydi. Obermaier va hammualliflar (2024) folatga boyitilgan fermentlangan zardob ichimligida insonlar ishtirokidagi pilot tekshiruvda 5-MTHF qo‘shimchasiga nisbatan o‘rtacha 17,1% bioo‘zlashtirilish qiymatini aniqlagan. Bu raqam bevosita yogurtga

o‘tkazilmaydi, lekin mahsulotdagi konsentratsiya va odam organizmidagi oziqaviy ta’sirni bir-biridan ajratish zarurligini yaqqol ko‘rsatadi. [8]

Xususan, qadoq yorlig‘ida vitamin miqdori, «folat manbai» yoki boshqa funksional da’voni ko‘rsatishdan oldin yakuniy mahsulotdagi miqdor validatsiyalangan usul bilan, iste’mol qilinadigan porsiya hisobida va saqlash muddati oxirida tasdiqlanishi; tegishli milliy me’yoriy hujjatlarga moslashtirilishi lozim. Klinik foyda, homiladorlikdagi profilaktika yoki kasallikni davolash haqidagi da’volar ushbu tahliliy ish dalillaridan kelib chiqmaydi.

Biofortifikatsiya tajribasidagi eng muhim xatolik. manbalari

5-jadval

Xatar	Natijaga ta’siri	Oldini olish choralari
Folatning oksidlanishi	Real folatni kam o‘lchash	Qorong‘i-sovuq ekstraksiya, antioksidant, tiklanish nazorati
Noto‘g‘ri birlik konversiyasi	Bir necha o‘n/ming baravar xato qiyos	Birliklarni va 5-MTHF ekvivalentini ochiq bayon qilish
Starterlar folat iste’moli	Sof yig‘ilish kamayishi	Bir xil klassik starter nazorati
Shtammlar aralash sanalishi	Tiriklik natijasining noto‘g‘ri talqini	Selektiv usul va shtamm identifikatsiyasi
Psevdotakrorlash	Statistik ishonchlilik sun’iy oshishi	Mustaqil ishlab chiqarish partiyalari n≥3

Natijalarni talqin qilishning minimal mezoni — yangi ma’lumot bo‘lsa, uni olish jarayoni qayta takrorlanadigan bo‘lishi, asbobning kalibrlanishi, mustaqil tajriba soni, statistik model, vitamin shakllari va xatolik diapazoni e’lon qilinishidir.

XULOSA. *Lactiplantibacillus plantarum* ning folat hosil qilish qobiliyati shtammga bog‘liq bo‘lib, ayrim izolyatlar klassik yogurt starterlari bilan birgalikda qo‘llanganda B9 vitamini miqdorini oshirishi mumkin. Mazkur imkoniyatni konkret sut matritsasida mustaqil tasdiqlash zarur. [2, 4, 7]. Folatga boyitilgan yogurtni baholashda vitaminning umumiy miqdori bilan cheklanmasdan, 5-MTHF va boshqa vitamerlar profili, biofortifikatsiyaning nazoratga nisbatan farqi hamda saqlanish mobaynidagi retensiya aniqlanishi lozim. [6]. Yogurt texnologiyasining maqbul varianti folat hosildorligi, starterlarning tirikligi, xavfsizlik, kislotalilik, sinerezis, tekstura va sensor qabul qilinish bo‘yicha birgalikda baholanganda tanlanadi. [9–11]

Vitamin konsentratsiyasining oshishi folatning inson organizmidagi bioo‘zlashtirilishi yoki qo‘shimcha kulturaga tegishli probiotik ta’sir isbotlandi degani emas. Bunday xulosalar uchun alohida oziqaviy va zaruratda klinik tadqiqotlar talab qilinadi. [8, 9].

Mahalliy sutni qayta ishlash laboratoriyalari uchun dastlab *L. plantarum* ning hujjatlashtirilgan, xavfsizlik bahosi mavjud shtammlarini olish va folat hosil qilishni ayni sut matritsasida tasdiqlash; so‘ng konsentratsiyani uch doza bo‘yicha optimallashtirish, folat profili va saqlash dinamikasini LC–MS/MS bilan tekshirish tavsiya qilinadi. Klinik foyda yoki «probiotik» da’vosini texnologik parametrlarning ijobiy natijasi bilan almashtirish mumkin emas.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

[1] Rossi M., Amaretti A., Raimondi S. Folate production by probiotic bacteria. Nutrients. 2011;3(1):118–134. https://doi.org/10.3390/nu3010118

[2] Khalili M., Homayouni Rad A., Yari Khosroushahi A., Khosravi H., Jafarzadeh S. Application of Probiotics in Folate Bio-Fortification of Yoghurt. Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2020;12(2):756–763. https://doi.org/10.1007/s12602-019-09560-7

[3] Zheng J., Wittouck S., Salvetti E. et al. A taxonomic note on the genus Lactobacillus: description of 23 novel genera. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2020;70(4):2782–2858. https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107

[4] Guo J., Liu X., Wang Y., Zeng T., Leng J., Han D. et al. Co-cultivation of selected Lactiplantibacillus plantarum strains with starter cultures under osmotic stress increases folate content and enhances product quality in fermented dairy. LWT. 2024;211:116934. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116934

[5] Tu X., Lou J., Zheng T., Zhang H., Liang J., Ou M. et al. Evaluation of folate synthesis of Lactiplantibacillus plantarum A3 and the application in the plant-based milk fermentation. LWT. 2025;217:117399. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2025.117399

[6] Bozzetti M., Cerri C., Morandi S., Rocchetti G., Mussio C., Barbieri F., Tabanelli G., Bassi D. Untargeted Screening Based on UHPLC-HRMS of Total Folates Produced by Lactic Acid Bacteria in Fermented Milk and During Yogurt Shelf Life. Foods. 2025;14(7):1112. https://doi.org/10.3390/foods14071112

[7] Cui N., Chen K., Cao F., Liu Y., Ren D. Screening and application of high-folate-producing lactic acid bacteria in yogurt products. Journal of Dairy Science. 2026;109(8):7784–7801. https://doi.org/10.3168/jds.2026-28544

[8] Obermaier L., Candelaria Cucick A.C., Gombossy de Melo Franco B.D. et al. Assessing a Fermented Whey Beverage Biofortified with Folate as a Potential Folate Source for Humans. Molecular Nutrition & Food Research. 2024;68(15):2300888. https://doi.org/10.1002/mnfr.202300888

[9] Hill C., Guarner F., Reid G. et al. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology. 2014;11:506–514. https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66

[10] Codex Alimentarius. CXS 243-2003. Standard for Fermented Milks. Adopted 2003; revisions 2008 and 2010. https://www.fao.org/input/download/standards/400/CXS_243e.pdf

[11] International Organization for Standardization. ISO 7889:2026. Yoghurt — Enumeration of characteristic microorganisms — Colony-count technique. Edition 2. 2026. https://www.iso.org/standard/81032.html

[12] National Institutes of Health, Office of Dietary Supplements. Folate — Fact Sheet for Health Professionals. https://ods.od.nih.gov/factsheets/Folate-HealthProfessional/ (murojaat: 29.10.2026).

[13] European Food Safety Authority. Qualified presumption of safety (QPS): information and assessment procedures. https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/qualified-presumption-safety-qps (murojaat: 29.10.2026).

[14] International Organization for Standardization. ISO 21527-1:2008. Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for enumeration of yeasts and moulds — Part 1. https://www.iso.org/standard/38275.html