

ХҒТАР 34.27.19

<https://doi.org/10.32523/2616-7034-2026-154-1-48-62>

Ғылыми мақала

Сүтқышқылды бактериялардың пробиотикалық әлеуетін бағалау

Т.С. Тасмаганбетова*¹, У.З. Сагындыков²

^{1,2}Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

E-mails: *tasmaganbetova.tolkyn@mail.ru, outemourate@list.ru

Аңдатпа. Бүгінгі таңда пробиотикалық микроорганизмдер, оның ішінде сүтқышқылды бактериялар, тағам өнеркәсібінде және биотехнологияда ерекше маңызға ие болып келеді. Олар асқазан-ішек жолдарының микрофлорасын қалыптастыруда, патогенді микроорганизмдердің көбеюін тежеуде, қоректік заттардың сіңуін жақсартуда және тұтынушылардың жалпы денсаулығына ықпал етуде маңызды рөл атқарады. Пробиотикалық штамдарды тиімді таңдау олардың физиологиялық тұрақтылығына (қышқылдар мен өт тұздары), адгезия қабілетіне және технологиялық қасиеттеріне негізделген. Осыған байланысты сүтқышқыл бактериялардың пробиотикалық потенциалын кешенді бағалау тағамдық өнімдерге енгізу үшін перспективалы штамдарды таңдаудағы маңызды қадам болып табылады. Бұл зерттеуде *Lactobacillus acidophilus* SLA, *Lacticaseibacillus casei* SLC және *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* SSV (бұдан әрі *Lactobacillus* - *L*) қолданылды. Штамдардың негізгі пробиотикалық қасиеттері *in vitro* жағдайында жан-жақты бағаланды. Зерттеу барысында Тернер әдісімен қышқыл түзілу белсенділігі анықталып, асқазан-ішек жолдарының жағдайларын модельдеу үшін қышқылдар мен өт тұздарына төзімділік сынақтары жүргізілді. Эритроциттерге адгезия қабілеті Брилис әдісі бойынша бағаланды. Алынған нәтижелерге сәйкес, *L. acidophilus* SLA штаммы қышқылдар мен өт тұздарына жоғары төзімділікке ие (рН 2,0-де өміршеңдігі - 82,4%, өт тұздарында 0,5 %-да өміршеңдігі - 90,4%) және адгезияның жоғары деңгейін көрсетті (ОАК = 4,3). *L. casei* SLC штаммының орташа деңгейде төзімділігі мен адгезиясы болғанымен, *L. bulgaricus* SSV штаммының қышқыл түзуші белсенділігі жоғары (124 °Т), бірақ стресс факторлары мен адгезияға төзімділігі төмен болды. Жалпы алғанда, деректер сүтқышқылды бактериялардың пробиотикалық потенциалын кешенді бағалау кезінде қышқылдар мен өт тұздарының тұрақтылығы мен адгезиясы сияқты маңызды критерийлерді ескеру қажет екенін көрсетті. Зерттеу нәтижелері *L. acidophilus* SLA штаммын тағамға енгізуге перспективалы үміткер ретінде бағалауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: сүтқышқылды бактериялар, *Lactobacillus*, пробиотикалық әлеует, қышқылға төзімділік, өт тұздары, адгезия, Тернер әдісі

Түсті: 11.12.2025. Қабылданды: 30.03.2026. Онлайн қол жетімді: 31.03.2026.

Кіріспе

Сүтқышқылды бактериялар (СҚБ) тағамдық және биотехнологиялық өндірісте маңызды рөл атқарады және қазіргі таңда пробиотикалық қасиеттері кеңінен зерттеліп отырған микроорганизмдердің негізгі тобына жатады. FAO/WHO анықтамасына сәйкес, пробиотиктер – «иесіне пайдалы әсер ететін, жеткілікті мөлшерде енгізілген тірі микроорганизмдер» [1-2]. Соңғы онжылдықта пробиотиктерге деген қызығушылық адамның асқазан-ішек жолы микробиотасын оңтайландыру, иммундық жүйені модуляциялау және тағам өнімдерінің функционалды қасиеттерін арттыру мақсаттарымен тығыз байланысты [3-6].

Пробиотикалық штаммдарды іріктеудің негізгі кезеңдерінің бірі – олардың *in vitro* жағдайында пробиотикалық әлеуетін бағалау, яғни физиологиялық және технологиялық стресс факторларына төзімділігін, сонымен қатар ішек эпителийіне адгезия қабілетін анықтау [7-9]. Пробиотиктер адамның асқазан-ішек жолында тірі қалу үшін қышқыл орта мен өт тұздарының әсеріне төтеп бере алуы тиіс. Сондықтан қышқылға және өт тұздарына төзімділік - пробиотикалық қасиеттерді бағалаудағы негізгі критерийлердің бірі болып саналады [10-13].

Асқазан сөлінің рН 2.0-3.0 диапазонында болуы көптеген бактериялар үшін летальды жағдай туғызады. Ал сүтқышқылды бактериялардың кейбір штаммдары бұл жағдайға бейімделіп, тіршілігін сақтай алады [13-16]. Сол сияқты, өт тұздары жасуша мембранасына зақым келтіріп, микробтық ақуыздарды денатурациялайды және метаболизмге кері әсер етеді. Алайда көптеген *Lactobacillus* және *Bifidobacterium* өкілдері бұл стресс жағдайына арнайы бейімделу механизмдері (мысалы, өт тұздарын гидролиздейтін ферменттер - BSH) арқылы жауап береді [17-20].

Пробиотикалық әлеуетті анықтаудың екінші маңызды көрсеткіші - ішек эпителийіне немесе муцинге адгезия қабілеті. Бұл қасиет микроорганизмдердің ішекте ұзақ уақыт сақталуына, патогендермен бәсекеге түсуіне және биоүлбір түзу қабілетіне тікелей әсер етеді [21-22]. Адгезияны анықтау үшін көбінесе муцинмен қапталған планшеттерге жабысу, Сасо-2 немесе НТ-29 жасушалық желілерін пайдалану, сондай-ақ жасуша бетінің гидрофобтылығын және авто/коагрегация қабілетін бағалау әдістері қолданылады [23-26].

Қазіргі уақытта ішек микробиотасының бұзылуымен байланысты аурулардың көбеюі және табиғи биоконсервация тәсілдеріне қызығушылықтың артуы жаңа тиімді пробиотикалық штаммдарды іздеу қажеттілігін күшейтеді. Сондықтан әртүрлі табиғи көздерден бөлініп алынған сүтқышқылды бактериялардың қасиеттерін зерттеу және олардың пробиотикалық әлеуетін анықтау ерекше ғылыми және практикалық маңызға ие.

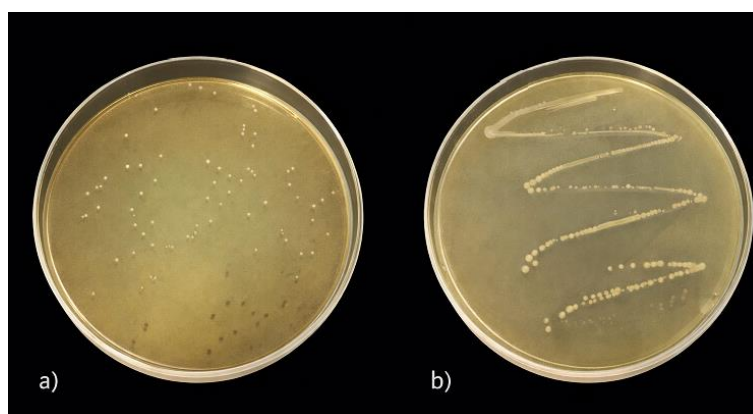
In vitro сынақтардың нәтижесінде алынған деректер пробиотикалық штаммдарды бастапқы скринингке іріктеуге мүмкіндік береді. Ал жоғары төзімділік пен жақсы адгезия көрсеткіштеріне ие изоляттар әрі қарай тағамдық матрицаларда және клиникаға дейінгі модельдерде зерттеліп, тағам өнеркәсібіне енгізуге кандидаттар ретінде қарастырылады [27-30].

Осыған байланысты, бұл зерттеудің мақсаты - таңдалған сүтқышқылды бактериялардың қышқыл және өт тұздарына төзімділігі мен адгезия қабілеттерін *in vitro* жағдайында бағалау арқылы олардың пробиотикалық әлеуетін анықтау.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Зерттеу материалдары ретінде *Lactobacillus* туысына жататын үш штамм пайдаланылды: *L. acidophilus* SLA, *L. casei* SLC және *L. bulgaricus* SSV. Барлық штаммдар MRS қоректік ортасында 37 °C температурада 18-24 сағат инкубацияланды. Штаммдардың түрлік идентификациясы 16S rRNA генінің секвенирлеу әдісі арқылы жүргізілді. 16S rRNA генінің амплификациясы әмбебап праймерлер 27F және 1492R көмегімен ПТР әдісі арқылы орындалды. Алынған ПТР өнімдері секвенирленіп, нәтижелері NCBI GenBank дерекқорындағы нуклеотидтік тізбектермен салыстырылды.

Барлық штаммдар de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) қоректік ортасында өсірілді. Қоректік орта Himedia Laboratories Pvt. Ltd. (India) компаниясының дайын құрғақ ортасы негізінде дайындалды. Инкубация 37 °C температурада 18–24 сағат бойы жүргізілді.



Сурет 1. MRS агарда СҚБ штаммдарының өсуі. а) инкубациядан кейін колониялардың қалыптасуы. б) штрих-себу әдісімен таза дақылдарды бөлу

Қышқыл түзу белсенділігін анықтау

Қышқыл түзу белсенділігі Тернер әдісі [31] бойынша анықталды. Зерттеу алдында пайдаланылатын сүттің бастапқы титрленетін қышқылдығы анықталды. Штаммдардың белсенділігін анықтау үшін үлгілер инкубацияға қойылып, белгілі уақыт өткен соң титрленетін қышқылдығы Тернер градусымен (°T) өлшенді.

Эритроциттерге адгезияны анықтау

Штаммдардың адгезия қабілеті В. Брилиса әдісі [32] бойынша *in vitro* жағдайда зерттелді. Талдау үшін 0 (I) тобы, Rh⁺, формалинмен бекітілген адамның эритроциттері қолданылды. Эритроциттер Астана қаласындағы Қан орталығынан алынған донорлық қан үлгілерінен дайындалып, зертханалық жағдайда формалинмен бекітілді. Әр сынамада кем дегенде 5 көру өрісінде 100-ден астам эритроцит есептелді.

Орташа адгезия көрсеткіші (ОАК) бір эритроцит бетіне бекітілген микроб жасушаларының орташа саны бойынша анықталды (кемінде 50 эритроцит негізінде). Адгезия дәрежесі мынадай шкала бойынша бағаланды:

- 0-1,0 - адгезия жоқ,
- 1,01-2,0 - төмен,
- 2,01 - 4,0 - орташа,
- 4,0-тен жоғары - жоғары адгезия.

Сонымен қатар, адгезия коэффициенті және адгезияланған эритроциттердің үлесі (%) есептелді.

Өт тұздарына төзімділікті анықтау

Штаммдардың өт тұздарына төзімділігі Charteris және Begley әдістерімен анықталды [33]. Дақылдар MRS сорпасына енгізілді, 0,3% және 0,5% (w/v) концентрациясында өт тұздары (Sigma) қамтылды. 0, 2 және 4 сағаттық инкубациядан кейін (37 °C, 48 сағат инкубациядан кейін санау жүргізілді) агар ортасындағы өміршең колониялардың саны (КТБ/мл) (Колония түзуші бірліктер/мл) есептелді.

Үлгідегі рН деңгейі 8,0-ге дейін жеткізілді - бұл рН деңгейі өт және аш ішекте бөлінетін ұйқы безі шырынының физиологиялық деңгейіне сәйкес келеді (шамамен 8,0). Бұл әдіс сүтқышқылды бактериялардың табиғи жағдайларға сезімталдығын бағалауға көмектеседі.

Қышқыл мен өт әсеріне дәйекті төзімділікті анықтау

Штаммдардың асқазан (қышқыл) және ішек (өт) факторларының дәйекті әсеріне төзімділігі жоғарыда аталған дәйекті әдістер арқылы бағаланды [34]. Алдымен ол рН 2,0-3,0 буферінде 2 сағат бойы инкубацияланды, содан кейін бірден 1% өт тұзы бар ортаға ауыстырылды және тағы 4 сағат инкубацияланды. Екі кезеңнен кейін КТБ (Колония Түзуші Бірлік) есептелді және өмір сүрудің салыстырмалы пайызы анықталды.

Статистикалық өңдеу әдістері

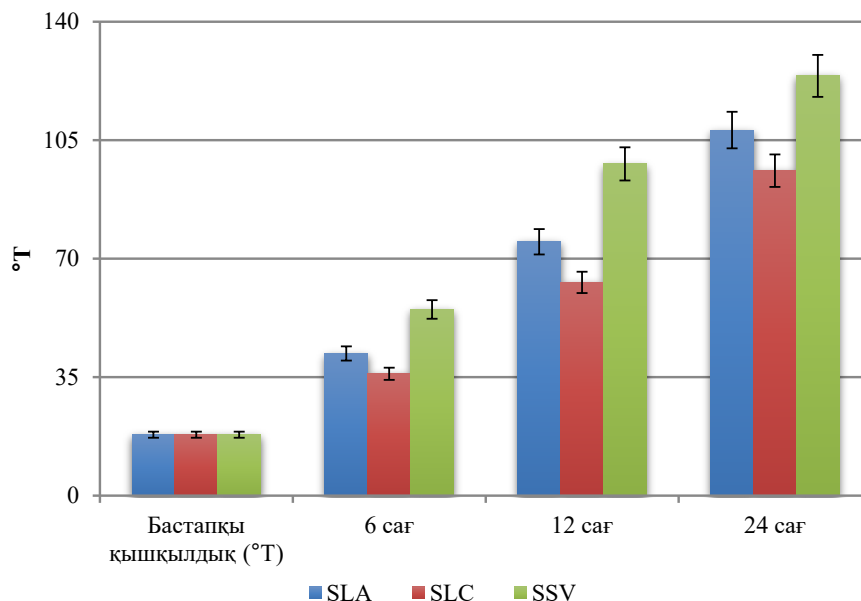
Статистикалық өңдеу Microsoft Excel 2019 және GraphPad Prism 8.0 бағдарламалары арқылы жүргізілді. Барлық тәжірибелер кемінде үш қайталымда орындалды. Нәтижелер орташа мән ± стандартты ауытқу ($M \pm SD$) түрінде көрсетілді. Топтар арасындағы айырмашылықтардың статистикалық маңыздылығы Student t-тесті арқылы бағаланды, $p < 0,05$ мәні статистикалық тұрғыдан маңызды деп қабылданды.

Нәтижелер

Зерттеу барысында *Lactobacillus acidophilus* SLA, *Lactobacillus casei* SLC және *Lactobacillus bulgaricus* SSV штаммдардың негізгі пробиотикалық қасиеттері *in vitro* жағдайында жан-жақты бағаланды. Тәжірибелер зертханалық жағдайда жүргізіліп, сонымен бірге олардың нәтижелері әртүрлі стресстік жағдайларға төзімділігі мен адгезия қабілеттерін сандық салыстыруға мүмкіндік берді.

Микробиологиялық талдаулар стандартты өсу ортасында өсірілген культуралардың колониялар түзуге қабілеттілігін, өт тұздары мен қышқылға әсерінен кейін өміршеңдігін және адгезия дәрежесін анықтады. Асқазан-ішек жолындағы жағдайларды модельдеу үшін өт қышқылдары мен тұздарға төзімділік сынақтары жүргізілді. Эритроциттердің адгезиялық сынақтары штаммдардың ішек эпителийімен байланысу қабілетінің көрсеткіші ретінде танылды.

Зерттелетін штамдардың қышқыл түзуші белсенділігі сүт ортасында инкубациядан кейін Тернер әдісімен анықталды. Барлық штамдар инкубацияның бастапқы 24 сағатында сүттің титрленетін қышқылдығын едәуір арттырды (Сурет 2).



Сурет 2. Штаммдардың қышқыл түзу белсенділігі (°T, Тернер әдісі)

Ең жоғары қышқыл түзуші белсенділік *L. bulgaricus* SSV штаммында байқалды - 24 сағаттан кейін қышқылдық $124 \pm 3,2$ °T құрады, бұл айқын қышқыл түзуші қасиетке сәйкес келеді. *L. acidophilus* SLA және *L. casei* SLC штаммдары сәйкесінше $108 \pm 2,5$ °T және $96 \pm 3,0$ °T көрсетті.

L. bulgaricus SSV - ең жоғары қышқыл түзуші белсенділікке ие, бұл оның сүтті ашыту процестерінде белсенді рөл атқара алатынын көрсетеді. *L. acidophilus* SLA - жақсы, ал *L. casei* SLC - орташа белсенділік көрсетті. Бұл мәліметтер штаммдардың технологиялық қасиеттерін бағалауда маңызды көрсеткіш болып табылады және пробиотикалық қасиеттермен бірге кешенді түрде қарастырылды.

Қышқыл ортаға төзімділік сынақтары *L. acidophilus* SLA, *L. casei* SLC және *L. bulgaricus* SSV штаммдарының тіршілік ету қабілетінің айырмашылығын көрсетті. pH 2,0 жағдайында 2 сағат инкубациядан кейін *L. acidophilus* SLA штаммының тірі жасушаларының үлесі 82,4 % құрады, ал *L. casei* SLC - 75,6 %, *L. bulgaricus* SSV - 63,2% болды (Кесте 1).

Кесте 1

Қышқылға төзімділік нәтижелері (pH 2.0 және 2.5, 2 сағ)

Штамм	pH 2.0, КТБ 0 сағ	pH 2.0, КТБ 2 сағ	Төзімділік, %	pH 2.5, КТБ 0 сағ	pH 2.5, КТБ 2 сағ	Төзімділік, %
SLA	8,25	8,14	82,4	8,27	8,23	92,1
SLC	8,21	8,03	75,6	8,19	8,12	87,4
SSV	8,18	7,92	63,2	8,22	8,05	78,5

pH 2,5 жағдайында барлық штаммдар жоғарырақ төзімділік көрсетті: SLA - 92,1 %, SLC - 87,4 %, SSV - 78,5 %. Бұл деректер *L. acidophilus* штаммының қышқылға жоғары бейімделу қабілетіне ие екенін көрсетті.

0,3 % және 0,5 % өт тұздары жағдайында 4 сағат инкубациядан кейін *L. acidophilus* SLA ең жоғары төзімділік көрсетті ($95,8$ % және $90,4$ %), ал *L. bulgaricus* SSV төменірек

мән көрсетті (83,1 % және 75,0 %) (Кесте 2). Бұл нәтижелер штамдардың асқазаннан кейінгі ішек ортасына бейімделу қабілетінде айырмашылық бар екенін көрсетеді.

Кесте 2

Өт тұздарына төзімділік нәтижелері (4 сағат, 37 °С)

Штамм	0,3 % өт	Төзімділік, %	0,5 % өт	Төзімділік, %
SLA	8,15→8,12	95,8	8,16→8,07	90,4
SLC	8,10→8,02	89,1	8,11→7,97	83,2
SSV	8,12→7,98	83,1	8,10→7,88	75,0

3-кестеде 0,3% және 0,5% өт тұздары бар ортада 4 сағаттық инкубациядан кейін зерттелген штамдардың өміршеңдігі көрсетілген. *L. acidophilus* штаммы SLA өмір сүру деңгейі ең жоғары болды: 0,3% өт тұздары кезінде өмір сүру деңгейі - 95,8% болса, ал 0,5% өт тұздары кезінде - 90,4%-ды құрады. Бұл көрсеткіштер штаммның ішек ортасына жақсы бейімделу қабілетін растайды.

L. casei SLC штаммы 0,3% концентрацияда өт тұздарының 89,1% және 0,5% концентрацияда 83,2% тұрақтылықты көрсетті, бұл орташа деп бағаланды. Штамм *L. bulgaricus* SSV сәйкесінше - 83,1% және 75,0% мөлшерде ең төменгі нәтижеге ие болды.

Жалпы қарағанда, штамдардың төзімділігі өт тұздарының концентрациясына пропорционалды түрде төмендейтіні байқалды. Бұл сүтқышқыл бактерияларының физиологиялық қасиеттеріне және өт тұздарының жасуша мембранасына әсер ету механизміне байланысты болып табылады. *L. acidophilus* SLA штаммы кейін тағам өнімдеріне енгізуге және ішек транзитіне бейімделу тұрғысынан ең перспективалы болып саналады.

Асқазан (қышқыл) және ішек (өт тұздары) факторларына дәйекті әсер жағдайында штамдардың жалпы өмір сүру деңгейі 60-85 % аралығында болды. SLA штаммы ең жоғары көрсеткішке ие болды (84,7 %), бұл оның асқазан-ішек транзитін сәтті еңсеру мүмкіндігін дәлелдейді.

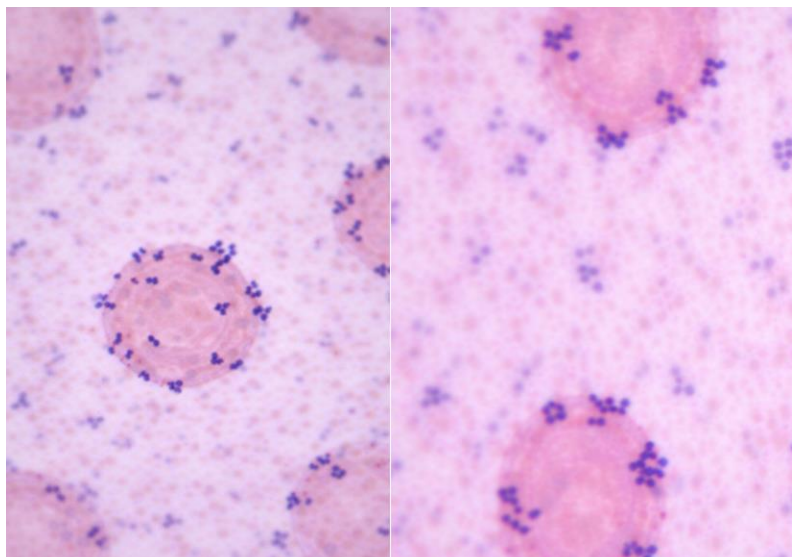
Брилис әдісімен жасалған адгезиялық сынақтар штамдар арасындағы айқын айырмашылықтарды көрсетті (Кесте 3).

Кесте 3

Штамдардың эритроциттерге адгезия белсенділігі (Брилис әдісі)

Штамм	Орташа адгезия көрсеткіші	Адгезия дәрежесі	Адгезияланған эритроциттер, %
SLA	4,3 ± 0,2	Жоғары	68,0 ± 3,1
SLC	2,7 ± 0,3	Орташа	45,2 ± 2,7
SSV	1,4 ± 0,2	Төмен	28,5 ± 2,1

L. acidophilus SLA штаммы ең жоғары адгезиялық белсенділікті көрсетті (ОАК = 4,3), бұл 68% жағдайда 100 эритроциттерде бекінудің байқалғанын көрсетеді. SLC штаммы орташа адгезияны көрсетті (ОАК = 2,7), ал SSV штаммы төмен адгезиялық белсенділікті танытты (ОАК = 1,4) (Сурет 3).



Сурет 3. *Lactobacillus* штамдарының адам эритроциттеріне адгезиясы (Брилис әдісі)

Зерттеу нәтижелері бойынша *L. acidophilus* SLA штаммы өт тұздары мен қышқылдарға жоғары төзімділікке ие және қызыл қан жасушаларына жоғары адгезия деңгейін көрсетеді. *L. casei* SLC штаммы орташа көрсеткіштерге ие болса, онда *L. bulgaricus* SSV штаммы жоғары қышқыл түзетін белсенділігіне қарамастан салыстырмалы түрде стресс пен адгезияға төзімділікке төмен көрсеткішке ие болды. Бұл деректер штаммдардың пробиотикалық потенциалын жан-жақты бағалауға және оларды тағам өнімдерінде одан әрі пайдалануға бағытталған селекцияны жүргізуге мүмкіндік береді.

Талқылау

Бұл жұмыста *Lactobacillus acidophilus* SLA, *Lacticaseibacillus casei* SLC және *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* SSV штамдарының *in vitro* жағдайындағы негізгі пробиотикалық қасиеттері жан-жақты зерттелді. Алынған нәтижелер штаммдар арасында айқын физиологиялық және технологиялық айырмашылықтардың бар екенін көрсетті. Бұл құбылыс пробиотикалық қасиеттердің көбінесе түр деңгейінен гөрі штамм деңгейінде анықталатынын көрсететін бұрынғы зерттеулермен сәйкес келеді. Мысалы, Jacobsen және бірлескен авторлар лактобациллалардың әртүрлі штаммдары арасында пробиотикалық қасиеттер бойынша айтарлықтай айырмашылықтар болатынын көрсеткен [35]. Сонымен қатар, Аюуаш және бірлескен авторлар жаңа пробиотикалық штаммдарды бағалауда қышқылға төзімділік, өтке тұрақтылық және адгезия қабілеті негізгі критерийлер екенін атап өткен [36].

L. bulgaricus SSV штаммы қышқыл түзушілігі бойынша ең жоғары көрсеткішті (124 °Т) көрсетті. Бұл оның классикалық сүт өнімдерін ашыту үдерістерінде белсенді технологиялық рөл атқара алатынын көрсетеді. *L. acidophilus* SLA және *L. casei* SLC штамдарының қышқыл түзуші белсенділігі тиісінше жақсы және орташа деңгейде болды. Бұл нәтижелер *Lactobacillus* туысына тән көмірсулардың гомоферментативті ашу метаболизмімен түсіндіріледі, оның негізгі өнімі - сүт қышқылы.

Қышқылға төзімділік сынақтары SLA штаммының төмен рН жағдайында жақсы бейімделетінін көрсетті (рН 2.0 кезінде 82,4% өміршеңдік). Бұл нәтиже *L. acidophilus*

штамдарының асқазан ортасына төзімділігі жоғары болатынын көрсететін зерттеулермен сәйкес келеді. Мысалы, Рап және бірлескен авторлар *L. acidophilus* штамдарының қышқыл және өт ортасына төзімділігін зерттей отырып, олардың асқазан-ішек жолында тіршілік ету қабілеті жоғары екенін көрсеткен [37]. Сонымен қатар, Jacobsen және бірлескен авторлар пробиотикалық штамдардың қышқылға төзімділігі штамға тәуелді екенін және барлық штамдардың бірдей жоғары тұрақтылық көрсетпейтінін атап өткен [35].

Өт тұздарына төзімділікті зерттеу нәтижелері SLA штаммының физиологиялық тұрақтылығы жоғары екенін көрсетті: 0,5% өт тұздары концентрациясында оның өміршеңдігі 90,4% болды. Пробиотикалық микроорганизмдерді іріктеу кезінде мұндай көрсеткіштер маңызды критерийлердің бірі болып табылады. Begley және бірлескен авторлар өт тұздарына төзімділік көбінесе өт тұздарының гидролазасы (BSH) ферментінің белсенділігімен байланысты екенін көрсеткен [38]. Бұл фермент бактерияларға өт тұздарының уытты әсеріне бейімделуге мүмкіндік береді. Сондықтан SLA штаммының жоғары төзімділігі оның физиологиялық бейімделу механизмдерінің тиімді жұмыс істейтінін көрсетеді. Ал SLC штаммы орташа төзімділікті көрсетсе, SSV штаммы ең төменгі нәтижені көрсетті.

Қышқыл мен өт тұздарының дәйекті әсеріне төзімділік сынағы асқазан-ішек жолының жағдайын модельдеуге мүмкіндік береді. SLA штаммының бұл сынақта 84,7% өміршеңдігін сақтауы оның ішекке тірі жету ықтималдығы жоғары екенін көрсетеді. Осындай кешенді *in vitro* бағалау тәсілдері қазіргі пробиотиктерді зерттеуде кеңінен қолданылады.

Эритроциттерге адгезия сынағы нәтижелері SLA штаммының ең жоғары адгезия индексі (ОАК = 4,3) көрсеткенін анықтады. Бұл оның эпителий жасушаларына және муцин қабатына жақсы бекіну қабілетінің бар екенін көрсетеді. Адгезия пробиотиктердің маңызды қасиеттерінің бірі болып табылады, себебі ол микроорганизмдердің ішекте уақытша колонизациялануына мүмкіндік береді. Tuomola және Salminen жүргізген зерттеулерде әртүрлі *Lactobacillus* штамдарының ішек эпителий жасушаларына адгезиясы айқын штаммдық айырмашылықтарға ие екені көрсетілген [39]. Сонымен қатар, зерттеушілер адгезияны зерттеудің *in vitro* әдістері пробиотиктерді бастапқы скринингтеу үшін пайдалы болғанымен, олардың нәтижелері әрқашан *in vivo* жағдайды толық сипаттай бермейтінін атап өткен.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер SLA штаммының пробиотикалық әлеуеті жоғары екенін көрсетті. Ол қышқылға және өт тұздарына төзімділік, дәйекті гастроинтестиналдық стресс жағдайында өміршеңдігін сақтау және салыстырмалы түрде жоғары адгезия қабілеті сияқты маңызды қасиеттерді көрсетті. Мұндай нәтижелер SLA штаммын функционалдық тағам өнімдері мен пробиотикалық биопрепараттар өндірісінде қолдануға перспективалы кандидат ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Зерттеудің белгілі бір шектеулері бар. Біріншіден, барлық тәжірибелер *in vitro* жағдайында жүргізілді, сондықтан нәтижелерді *in vivo* жағдайына толық экстраполяциялау мүмкін емес. Ouwehand және Salminen пробиотикалық штамдардың нақты әсерін анықтау үшін қосымша *in vivo* зерттеулер қажет екенін атап өткен [40]. Екіншіден, адгезия эритроциттер моделі арқылы бағаланды, ал бұл модель ішек эпителийінің нақты құрылымын толық бейнелей алмайды. Сонымен қатар, зерттеуде штамдардың генетикалық ерекшеліктері, антибиотиктерге төзімділігі және антимикробтық белсенділігі қарастырылмады.

Болашақ зерттеулерде SLA, SLC және SSV штамдарының адгезиясын Caco-2 немесе HT-29 жасушалық модельдерінде зерттеу, олардың антимикробтық белсенділігін анықтау, сондай-ақ геномдық қауіпсіздігін бағалау маңызды болып табылады. Сонымен қатар, пробиотикалық әсерін нақты бағалау үшін жануарлық модельдерде немесе клиникалық зерттеулерде қосымша зерттеулер жүргізу қажет. Осы зерттеу нәтижелері *L. acidophilus* SLA штаммының асқазан-ішек жолының стресс факторларына жоғары төзімділігі мен адгезиялық қабілеті бар екенін көрсетті. Бұл оны тағам өнімдерінде қолдануға жарамды перспективалы пробиотикалық штамм ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Зерттеу нәтижелеріне сәйкес *L. acidophilus* SLA, *L. casei* SLC және *L. bulgaricus* SSV штамдарының пробиотикалық қасиеттері салыстырмалы түрде зерттелді. *L. acidophilus* SLA - өт тұздары мен қышқылдарға жоғары төзімділікке және жоғары адгезиялық белсенділікке ие екенін көрсетті. Бұл штамм ішек арқылы өту кезінде өмір сүру және ішек эпителийіне бекіну қабілеті бойынша ең тиімді пробиотикалық үміткер болып табылады. *L. casei* SLC - орташа төзімділік пен адгезиялық белсенділікті көрсетті, бұл оның қосымша культура немесе пробиотикалық композициялар құрамында пайдалануға лайық екенін көрсетеді. *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* SSV штаммы жоғары қышқыл түзетін белсенділігіне қарамастан, стресс жағдайларына төзімділік пен адгезиялық қабілеті бойынша төмен көрсеткіштер көрсетті.

Жалпы алғанда, алынған нәтижелер сүтқышқыл бактерияларының пробиотикалық потенциалын бағалау кезінде бірнеше негізгі параметрлерді (қышқыл мен өтке төзімділік, адгезия қабілеті және қышқыл түзуші белсенділік) кешенді түрде талдаудың маңыздылығын көрсетті.

Зерттеудің ғылыми маңыздылығы сүтқышқыл бактерияларының әртүрлі штамдарының пробиотикалық қасиеттерін *in vitro* модельдер арқылы кешенді бағалау нәтижесінде олардың физиологиялық ерекшеліктері мен функционалдық әлеуетін анықтаумен байланысты. Бұл нәтижелер пробиотикалық микроорганизмдердің штаммдық деңгейдегі айырмашылықтарын түсінуге және оларды мақсатты түрде іріктеуге ғылыми негіз береді.

Зерттеудің практикалық маңыздылығы алынған деректердің функционалдық тағам өнімдерін, пробиотикалық биопрепараттарды және стартерлік мәдениеттерді әзірлеуде қолданылу мүмкіндігімен анықталады. Атап айтқанда, *L. acidophilus* SLA штаммы жоғары тұрақтылығы мен адгезиялық қасиеттеріне байланысты пробиотикалық тағам өнімдерінің құрамына енгізу үшін перспективалы кандидат ретінде қарастырылуы мүмкін. Болашақ зерттеулерде бұл штаммдардың пробиотикалық әсерін *in vivo* жағдайында, сондай-ақ олардың антимикробтық белсенділігі мен генетикалық қауіпсіздігін зерттеу маңызды болып табылады.

Авторлардың қосқан үлесі

Т.С.Т. – зерттеу тұжырымдамасын әзірледі, әдеби шолу жүргізді, зерттеу әдістемесін таңдады, зертханалық жұмысты жүргізіп, нәтижелерді талдады. Сонымен қатар, мақаланың негізгі мәтінін жазып, қорытынды бөлімін дайындады. **У.З.С.** – алынған деректерді өңдеді және кестелерді дайындауға қатысып, материалдарды редакциялауға атсалысты. Екі автор да мақаланың соңғы нұсқасын оқып, мазмұнымен толық келіседі және жұмыстың ғылыми нәтижелері үшін бірдей жауапкершілік алады.

Қаржыландыру

Бұл зерттеу мемлекеттік, коммерциялық немесе коммерциялық емес секторлардағы ешқандай қаржыландыру агенттігінен арнайы грант алған жоқ.

Мүдделер қақтығысы

Авторлар осы зерттеуге байланысты қаржылық, коммерциялық немесе өзге де мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Этикалық нормаларды сақтау

Авторлар орындаған бұл мақалада адамдарды немесе жануарларды зерттеу объектілері ретінде пайдаланған зерттеулер жүргізілмеген.

Әдебиеттер тізімі

1. Zapasnik A, Sokołowska B, Bryła M. Role of lactic acid bacteria in food preservation and safety. *Foods*. 2022;11(9):1283. <https://doi.org/10.3390/foods11091283>
2. Wang Y, Wu J, Lv M, et al. Metabolism characteristics of lactic acid bacteria and the expanding applications in food industry. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*. 2021;9:612285. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.612285>
3. Mathur H, Beresford T. P, Cotter P. D. Health benefits of lactic acid bacteria (LAB) fermentates. *Nutrients*. 2020;12(6):1679. <https://doi.org/10.3390/nu12061679>
4. Mora-Villalobos J, Montero-Zamora J, Barboza N, et al. Multi-product lactic acid bacteria fermentations: A review. *Fermentation*. 2020;6(1):23. <https://doi.org/10.3390/fermentation6010023>
5. Raman J, Kim J, Choi K, et al. Application of lactic acid bacteria (LAB) in sustainable agriculture: advantages and limitations. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(14):7784. <https://doi.org/10.3390/ijms23147784>
6. Ayivi R, Gyawali R, Krastanov A, et al. Lactic acid bacteria: Food safety and human health applications. *Dairy*. 2020;1(3):202-232. <https://doi.org/10.3390/dairy1030015>
7. Kieliszek M, Pobiega K, Piwowarek K, et al. Characteristics of the proteolytic enzymes produced by lactic acid bacteria. *Molecules*. 2021;26(7):1858. <https://doi.org/10.3390/molecules26071858>
8. Barcenilla C, Ducic M, López M, et al. Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products: A systematic review. *Meat Science*. 2022; 183: 108661. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108661>
9. de Souza E, de Oliveira K, de Oliveira M. Influence of lactic acid bacteria metabolites on physical and chemical food properties. *Current Opinion in Food Science*. 2023; 49:100981. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100981>
10. Yang X, Hong J, Wang L, et al. Effect of lactic acid bacteria fermentation on plant-based products. *Fermentation*. 2024;10(1):48. <https://doi.org/10.3390/fermentation10010048>
11. Zhang H., Cai Y. *Lactic Acid Bacteria: Fundamentals and Practice*. Dordrecht: Springer; 2014. 335-338 p.
12. Albuquerque-Cavalcanti de Albuquerque M.A., de Morene de LeBlanc A., LeBlanc J.G. (eds.) *Lactic Acid Bacteria: A Functional Approach*. London: Routledge; 2023. 122-125 p.
13. Kim S, Lee J, Jeong Y, et al. Antioxidant activity and probiotic properties of lactic acid bacteria. *Fermentation*. 2022;8(1):29. <https://doi.org/10.3390/fermentation8010029>
14. Vougiouklaki D, Tsironi T, Tsantes A, et al. Probiotic properties and antioxidant activity in vitro of lactic acid bacteria. *Microorganisms*. 2023;11(5):1264. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11051264>
15. Reuben R, Roy P, Sarkar S, et al. Characterization and evaluation of lactic acid bacteria from indigenous raw milk for potential probiotic properties. *Journal of dairy science*. 2020;103(2):1223-1237. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17092>

16. Jeong Y, Kim H, Lee J, et al. The antioxidant, anti-diabetic, and anti-adipogenesis potential and probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from human and fermented foods. *Fermentation*. 2021;7(3):123. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030123>
17. Pachla A, Ptaszyńska A, Wicha M, et al. Insight into probiotic properties of lactic acid bacterial endosymbionts of *Apis mellifera* L. derived from the Polish apiary. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021;28(3):1890-1899. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.040>
18. Bryukhanov A, Klimko A, Netrusov A. Antioxidant properties of lactic acid bacteria. *Microbiology*. 2022;91(5):463-478. <https://doi.org/10.1134/S0026261722601439>
19. Klimko A, Cherdyntseva T, Brioukhanov A, et al. In vitro evaluation of probiotic potential of selected lactic acid bacteria strains. *Probiotics and antimicrobial proteins*. 2020;12(3):1139-1148. <https://doi.org/10.1007/s12602-019-09599-6>
20. Montet D., Ray R.C., Paramithiotis S. (eds.) *Lactic Acid Bacteria as Cell Factories: Synthetic Biology and Metabolic Engineering*. Amsterdam: 2020. 32-41 p.
21. Wang H, Li L. Comprehensive evaluation of probiotic property, hypoglycemic ability and antioxidant activity of lactic acid bacteria. *Foods*. 2022; 11(9): 1363. <https://doi.org/10.3390/foods11091363>
22. Lin J, Xiong T, Peng Z, et al. Novel lactic acid bacteria with anti-hyperuricemia ability: Screening and in vitro probiotic characteristics. *Food Bioscience*. 2022; 49: 101840. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101840>
23. Terzić-Vidojević A, Veljović K, Tolinački M, et al. Diversity of non-starter lactic acid bacteria in autochthonous dairy products from Western Balkan Countries-technological and probiotic properties. *Food Research International*. 2020; 136: 109494. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109494>
24. Szutowska J. Functional properties of lactic acid bacteria in fermented fruit and vegetable juices: A systematic literature review. *European Food Research and Technology*. 2020; 246(3): 357-372. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03425-7>
25. Saboori B, Shahidi F, Hedayati S, et al. Investigating the probiotic properties and antimicrobial activity of lactic acid bacteria isolated from an Iranian fermented dairy product, kashk. *Foods*. 2022; 11(23): 3904. <https://doi.org/10.3390/foods11233904>
26. Ahire J, Jakkamsetty C, Kashikar M, et al. In vitro evaluation of probiotic properties of *Lactobacillus plantarum* UBLP40 isolated from traditional indigenous fermented food. *Probiotics and antimicrobial proteins*. 2021; 13(5): 1413-1424. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09775-7>
27. Nath S, Sikidar J, Roy M, et al. In vitro screening of probiotic properties of *Lactobacillus plantarum* isolated from fermented milk product. *Food Quality and Safety*. 2020; 4(4): 213-223. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyaa026>
28. Kanauchi, M. *Lactic Acid Bacteria: Methods and Protocols*. Springer; 2019. 125-128 p.
29. Meena K, Taneja N, Jain D, et al. In vitro assessment of probiotic and technological properties of lactic acid bacteria isolated from indigenously fermented cereal-based food products. *Fermentation*. 2022; 8(10): 529. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100529>
30. Rai R., Tamang J. P. In vitro and genetic screening of probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from naturally fermented cow-milk and yak-milk products of Sikkim, India. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2022; 38(2): 25. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03215-y>
31. Turner KW, Shahani KM. Determination of acidity in dairy cultures by the Turner method. *Journal of Dairy Science*. 1974;57(6):716-720.
32. Брилис ВИ, Брилене ТА, Ленцнер ХП, Ленцнер АА. Методика изучения адгезивных свойств микроорганизмов. *Лабораторное дело*. 1986;4:210-212.
33. Charteris WP, Kelly PM, Morelli L, Collins JK. Development and application of an in vitro methodology to determine the transit tolerance of potentially probiotic *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* species in the upper human gastrointestinal tract. *Journal of Applied Microbiology*. 1998;84:759-768
34. Begley M, Hill C, Gahan CGM. Bile salt hydrolase activity in probiotics. *Applied and Environmental Microbiology*. 2006;72(3):1729-1738. <https://doi.org/10.1128/AEM.72.3.1729-1738.2006>

35. Jacobsen CN, Rosenfeldt Nielsen V, et al. Screening of probiotic activities of forty-seven strains of *Lactobacillus* spp. by in vitro techniques and evaluation of the colonization ability of five selected strains in humans. *Applied and Environmental Microbiology*. 1999;65(11):4949–4956. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.11.4949-4956.1999>
36. Ayyash MM, Abdalla AK, AlKalbani NS, et al. Invited review: Characterization of new probiotics from dairy and nondairy products—Insights into acid tolerance, bile metabolism and tolerance, and adhesion capability. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(8):8363–8379. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20398>
37. Pan X, Chen F, Wu T, Tang H, Zhao Z. The acid, bile tolerance and antimicrobial property of *Lactobacillus acidophilus* NIT. *Food Control*. 2009;20(6):598–602. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.08.019>
39. Tuomola EM, Salminen SJ. Adhesion of some probiotic and dairy *Lactobacillus* strains to Caco-2 cell cultures. *International Journal of Food Microbiology*. 1998;41(1):45–51. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(98\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00033-6)
40. Ouwehand AC, Salminen S. In vitro adhesion assays for probiotics and their in vivo relevance: a review. *Microbial Ecology in Health and Disease*. 2000;15(4):175–184. <https://doi.org/10.1080/08910600310019886>

Оценка пробиотического потенциала молочнокислых бактерий

Т.С. Тасмаганбетова*¹, У.З. Сагындыков²

^{1,2}Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Аннотация. Сегодня пробиотические микроорганизмы, в том числе молочнокислые бактерии, приобретают все большее значение в пищевой промышленности и биотехнологии. Они играют важную роль в формировании микрофлоры желудочно-кишечного тракта, подавляют рост патогенных микроорганизмов, улучшают усвоение питательных веществ и способствуют общему здоровью потребителей. Эффективный отбор пробиотических штаммов основан на их физиологической стабильности (кислоты и соли желчных кислот), адгезионной способности и технологических свойствах. В связи с этим комплексная оценка пробиотического потенциала молочнокислых бактерий является важным шагом в выборе перспективных штаммов для включения в пищевые продукты. В этом исследовании использовались *Lactobacillus acidophilus* SLA, *Lacticaseibacillus casei* SLC и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* SSV (далее *Lactobacillus* – L). Основные пробиотические свойства штаммов были всесторонне оценены in vitro. В ходе исследования методом Тернера определена кислотообразующая активность и проведены тесты на устойчивость к кислотам и солям желчного пузыря для моделирования желудочно-кишечных состояний. Способность адгезии к эритроцитам оценивалась по методу Брилиса. Согласно полученным результатам, штамм *L. acidophilus* SLA обладает высокой устойчивостью к кислотам и солям желчи (жизнеспособность при pH 2,0 – 82,4 %, жизнеспособность при 0,5% – 90,4 %) и показал высокий уровень адгезии (ОАК = 4,3). Хотя штамм *L. casei* SLC обладает средней устойчивостью и адгезионной способностью, штамм *L. bulgaricus* SSV обладал высокой кислотообразующей активностью (124°Т), но низкой устойчивостью к стрессовым факторам и адгезии. В целом, данные показали, что при комплексной оценке пробиотического потенциала молочнокислых бактерий необходимо учитывать такие важные критерии, как стабильность и адгезия кислот и желчных солей. Результаты исследования позволяют оценить штамм *L. acidophilus* SLA как многообещающего кандидата для использования в пищевых продуктах.

Ключевые слова: молочнокислые бактерии, *Lactobacillus*, пробиотический потенциал, устойчивость к кислоте, желчные соли, адгезия, метод Тернера

Assessment of the probiotic potential of lactic acid bacteria

T.S. Tasmaganbetova*¹, U.Z. Sagyndykov²

^{1,2}L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Abstract. Today, probiotic microorganisms, including lactic acid bacteria, are becoming increasingly important in the food industry and biotechnology. They play an important role in the formation of the microflora of the gastrointestinal tract, inhibit the growth of pathogenic microorganisms, improve the absorption of nutrients, and contribute to the overall health of consumers. Effective selection of probiotic strains is based on their physiological stability (acids and salts of bile acids), adhesive ability, and technological properties. In this regard, a comprehensive assessment of the probiotic potential of lactic acid bacteria is an important step in selecting promising strains for inclusion in food products. In this study, *Lactobacillus acidophilus* SLA, *Lacticaseibacillus casei* SLC және *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* SSV (hereinafter *Lactobacillus* - L) were used. The main probiotic properties of the strains were comprehensively evaluated in vitro. During the study, the Turner method revealed the activity of acid formation and conducted tests for resistance to acids and salts of the gallbladder to simulate gastrointestinal conditions. The ability of adhesion to erythrocytes was evaluated using the Brilis method. According to the results obtained, the *L. acidophilus* SLA strain is highly resistant to acids and bile salts (viability at pH 2.0 - 82.4%, viability at 0.5% - 90.4%) and showed a high level of adhesion (UAC = 4.3). Although the *L. casei* SLC strain has medium resistance and adhesion, the *L. bulgaricus* SSV strain had high acid-forming activity (124 °T), but low resistance to stress factors and adhesion. In general, the data showed that in a comprehensive assessment of the probiotic potential of lactic acid bacteria, it is necessary to take into account such important criteria as stability and adhesion of acids and bile salts. The results of the study allow us to evaluate the *L. acidophilus* SLA strain as a promising candidate for introduction into food.

Keywords: lactic acid bacteria, *Lactobacillus*, probiotic potential, acid resistance, bile salts, adhesion, Turner method

References

1. Zapasnik A, Sokołowska B, Bryła M. Role of lactic acid bacteria in food preservation and safety. *Foods*. 2022;11(9):1283. <https://doi.org/10.3390/foods11091283>
2. Wang Y, Wu J, Lv M, et al. Metabolism characteristics of lactic acid bacteria and the expanding applications in food industry. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*. 2021;9:612285. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.612285>
3. Mathur H, Beresford T. P, Cotter P. D. Health benefits of lactic acid bacteria (LAB) fermentates. *Nutrients*. 2020;12(6):1679. <https://doi.org/10.3390/nu12061679>
4. Mora-Villalobos J, Montero-Zamora J, Barboza N, et al. Multi-product lactic acid bacteria fermentations: A review. *Fermentation*. 2020;6(1):23. <https://doi.org/10.3390/fermentation6010023>
5. Raman J, Kim J, Choi K, et al. Application of lactic acid bacteria (LAB) in sustainable agriculture: advantages and limitations. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(14):7784. <https://doi.org/10.3390/ijms23147784>
6. Ayivi R, Gyawali R, Krastanov A, et al. Lactic acid bacteria: Food safety and human health applications. *Dairy*. 2020;1(3):202-232. <https://doi.org/10.3390/dairy1030015>
7. Kieliszek M, Pobiega K, Piwowarek K, et al. Characteristics of the proteolytic enzymes produced by lactic acid bacteria. *Molecules*. 2021;26(7):1858. <https://doi.org/10.3390/molecules26071858>
8. Barcenilla C, Ducic M, López M, et al. Application of lactic acid bacteria for the biopreservation of meat products: A systematic review. *Meat Science*. 2022; 183: 108661. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108661>
9. de Souza E, de Oliveira K, de Oliveira M. Influence of lactic acid bacteria metabolites on physical and chemical food properties. *Current Opinion in Food Science*. 2023; 49:100981. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100981>

10. Yang X, Hong J, Wang L, et al. Effect of lactic acid bacteria fermentation on plant-based products. *Fermentation*. 2024;10(1):48. <https://doi.org/10.3390/fermentation10010048>
11. Zhang H., Cai Y. *Lactic Acid Bacteria: Fundamentals and Practice*. Dordrecht: Springer; 2014. 335-338 p.
12. Albuquerque-Cavalcanti de Albuquerque M.A., de Morene de LeBlanc A., LeBlanc J.G. (eds.) *Lactic Acid Bacteria: A Functional Approach*. London: Routledge; 2023. 122-125 p.
13. Kim S, Lee J, Jeong Y, et al. Antioxidant activity and probiotic properties of lactic acid bacteria. *Fermentation*. 2022;8(1):29. <https://doi.org/10.3390/fermentation8010029>
14. Vougiouklaki D, Tsironi T, Tsantes A, et al. Probiotic properties and antioxidant activity in vitro of lactic acid bacteria. *Microorganisms*. 2023;11(5):1264. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11051264>
15. Reuben R, Roy P, Sarkar S, et al. Characterization and evaluation of lactic acid bacteria from indigenous raw milk for potential probiotic properties. *Journal of dairy science*. 2020;103(2):1223-1237. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17092>
16. Jeong Y, Kim H, Lee J, et al. The antioxidant, anti-diabetic, and anti-adipogenesis potential and probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from human and fermented foods. *Fermentation*. 2021;7(3):123. <https://doi.org/10.3390/fermentation7030123>
17. Pachla A, Ptaszyńska A, Wicha M, et al. Insight into probiotic properties of lactic acid bacterial endosymbionts of *Apis mellifera* L. derived from the Polish apiary. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021;28(3):1890-1899. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.12.040>
18. Bryukhanov A, Klimko A, Netrusov A. Antioxidant properties of lactic acid bacteria. *Microbiology*. 2022;91(5):463-478. <https://doi.org/10.1134/S0026261722601439>
19. Klimko A, Cherdyntseva T, Brioukhanov A, et al. In vitro evaluation of probiotic potential of selected lactic acid bacteria strains. *Probiotics and antimicrobial proteins*. 2020;12(3):1139-1148. <https://doi.org/10.1007/s12602-019-09599-6>
20. Montet D., Ray R.C., Paramithiotis S. (eds.) *Lactic Acid Bacteria as Cell Factories: Synthetic Biology and Metabolic Engineering*. Amsterdam: 2020. 32-41 p.
21. Wang H, Li L. Comprehensive evaluation of probiotic property, hypoglycemic ability and antioxidant activity of lactic acid bacteria. *Foods*. 2022; 11(9): 1363. <https://doi.org/10.3390/foods11091363>
22. Lin J, Xiong T, Peng Z, et al. Novel lactic acid bacteria with anti-hyperuricemia ability: Screening and in vitro probiotic characteristics. *Food Bioscience*. 2022; 49: 101840. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101840>
23. Terzić-Vidojević A, Veljović K, Tolinački M, et al. Diversity of non-starter lactic acid bacteria in autochthonous dairy products from Western Balkan Countries-technological and probiotic properties. *Food Research International*. 2020; 136: 109494. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109494>
24. Szutowska J. Functional properties of lactic acid bacteria in fermented fruit and vegetable juices: A systematic literature review. *European Food Research and Technology*. 2020; 246(3): 357-372. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03425-7>
25. Saboori B, Shahidi F, Hedayati S, et al. Investigating the probiotic properties and antimicrobial activity of lactic acid bacteria isolated from an Iranian fermented dairy product, kashk. *Foods*. 2022; 11(23): 3904. <https://doi.org/10.3390/foods11233904>
26. Ahire J, Jakkamsetty C, Kashikar M, et al. In vitro evaluation of probiotic properties of *Lactobacillus plantarum* UBLP40 isolated from traditional indigenous fermented food. *Probiotics and antimicrobial proteins*. 2021; 13(5): 1413-1424. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09775-7>
27. Nath S, Sikidar J, Roy M, et al. In vitro screening of probiotic properties of *Lactobacillus plantarum* isolated from fermented milk product. *Food Quality and Safety*. 2020; 4(4): 213-223. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyaa026>
28. Kanauchi, M. *Lactic Acid Bacteria: Methods and Protocols*. Springer; 2019. 125-128 p.
29. Meena K, Taneja N, Jain D, et al. In vitro assessment of probiotic and technological properties of lactic acid bacteria isolated from indigenously fermented cereal-based food products. *Fermentation*. 2022; 8(10): 529. <https://doi.org/10.3390/fermentation8100529>

30. Rai R., Tamang J. P. In vitro and genetic screening of probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from naturally fermented cow-milk and yak-milk products of Sikkim, India. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2022; 38(2): 25. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03215-y>
31. Turner KW, Shahani KM. Determination of acidity in dairy cultures by the Turner method. *Journal of Dairy Science*. 1974;57(6):716–720.
32. Brilis VI, Brilene TA, Lentsner HP, Lencner AA. Metodika izucheniya adgezivnykh svoystv mikroorganizmov [Technique of studying the microorganisms adhesive process]. *Laboratornoye delo [Laboratory work]* 1986;4:210-212. [In Russian]
33. Charteris WP, Kelly PM, Morelli L, Collins JK. Development and application of an in vitro methodology to determine the transit tolerance of potentially probiotic *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* species in the upper human gastrointestinal tract. *Journal of Applied Microbiology*. 1998;84:759–768
34. Begley M, Hill C, Gahan CGM. Bile salt hydrolase activity in probiotics. *Applied and Environmental Microbiology*. 2006;72(3):1729–1738. <https://doi.org/10.1128/AEM.72.3.1729-1738.2006>
35. Jacobsen CN, Rosenfeldt Nielsen V, et al. Screening of probiotic activities of forty-seven strains of *Lactobacillus* spp. by in vitro techniques and evaluation of the colonization ability of five selected strains in humans. *Applied and Environmental Microbiology*. 1999;65(11):4949–4956. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.11.4949-4956.1999>
36. Ayyash MM, Abdalla AK, AlKalbani NS, et al. Invited review: Characterization of new probiotics from dairy and nondairy products—Insights into acid tolerance, bile metabolism and tolerance, and adhesion capability. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(8):8363–8379. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20398>
37. Pan X, Chen F, Wu T, Tang H, Zhao Z. The acid, bile tolerance and antimicrobial property of *Lactobacillus acidophilus* NIT. *Food Control*. 2009;20(6):598–602. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.08.019>
39. Tuomola EM, Salminen SJ. Adhesion of some probiotic and dairy *Lactobacillus* strains to Caco-2 cell cultures. *International Journal of Food Microbiology*. 1998;41(1):45–51. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(98\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(98)00033-6)
40. Ouwehand AC, Salminen S. In vitro adhesion assays for probiotics and their in vivo relevance: a review. *Microbial Ecology in Health and Disease*. 2000;15(4):175–184. <https://doi.org/10.1080/08910600310019886>

Авторлар туралы мәлімет:

Тасмаганбетова Толкын Сериковна – хат-хабар авторы, докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Сәтбаев көшесі, 2, 010008, Астана, Қазақстан.

Сагындыков Утемурат Зулхарнаевич – биология ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, биотехнология және микробиология кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Сәтбаев көшесі, 2, 010008, Астана, Қазақстан.

Сведения об авторах:

Тасмаганбетова Толкын Сериковна – автор для корреспонденции, докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. К. Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

Сагындыков Утемурат Зулхарнаевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры биотехнологии и микробиологии, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. К. Сатпаева, 2, 010008, Астана, Казахстан.

Authors' information:

Tasmaganbetova Tolkyn Serikovna – Corresponding author, Doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satbayev St., 010008, Astana, Kazakhstan.

Sagindykov Utemurat Zulkharnaevich – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biotechnology and Microbiology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satbayev St., 010008, Astana, Kazakhstan.