

Ж.А. Орынбаева* , **З.Б. Тунгушбаева** 

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

*e-mail: journal_of_biology@mail.ru

ТҰРАҚТЫ БИОТЕХНОЛОГИЯ: ФЕРМЕНТТЕЛГЕН КЕБЕК НЕГІЗІНДЕГІ ПРОБИОТИКТЕРДІҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ТИІМДІЛІГІ

Бұл мақалада ферменттелген кебекке негізделген пробиотикалық жүйелерді алудың экологиялық қауіпсіз және биотехнологиялық тиімді әдістері қарастырылады. Микробиологиялық ферментация процестері күрделі органикалық субстраттардың биохимиялық түрленуіне және жоғары белсенді пробиотикалық консорциумдардың қалыптасуына мүмкіндік береді. Ферментация барысында субстраттың химиялық құрамы өзгеріп, биобелсенді метаболиттердің мөлшері артады, ал сүтқышқылды бактериялардың ферментативтік, антагонистік және бейімделгіш қасиеттері күшейеді. Сонымен қатар, алынған пробиотикалық жүйелердің микробиотаға әсер ету механизмдері, оның ішінде микробтық тепе-теңдікті реттеу және биокорғаныштық әсерлер қарастырылады. Зерттеу нәтижелері мұндай биотехнологиялық өнімдердің функционалдық әлеуеті жоғары екенін және микробиологиялық биотехнология саласында жаңа бағыттарды дамытуға негіз бола алатынын көрсетеді. Бұл тәсіл тұрақты және тиімді пробиотикалық биоәлеуелерді әзірлеуге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: ферменттелген кебек; пробиотикалық консорциум; сүтқышқылды бактериялар; биоәлеуелділік; микробиота; антагонистік белсенділік; биобелсенді метаболиттер; микробиологиялық биотехнология.

Zh.A. Orynbayeva., Z.B. Tungushbayeva
Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan
*e-mail: journal_of_biology@mail.ru

Sustainable biotechnology: environmental efficiency of probiotics based on fermented bran

This article discusses environmentally safe and biotechnologically efficient methods for obtaining probiotic systems based on fermented bran. Microbiological fermentation processes enable the biochemical transformation of complex organic substrates and the formation of highly active probiotic consortia. During fermentation, the chemical composition of the substrate changes, the level of bioactive metabolites increases, and the enzymatic, antagonistic, and adaptive properties of lactic acid bacteria are enhanced. In addition, the mechanisms of action of the obtained probiotic systems on microbiota are considered, including the regulation of microbial balance and bio-protective effects. The results of the study demonstrate that such biotechnological products have high functional potential and may serve as a basis for the development of new directions in microbiological biotechnology. This approach enables the development of sustainable and efficient probiotic bio-systems.

Keywords: fermented bran; probiotic consortium; lactic acid bacteria; bioavailability; microbiota; antagonistic activity; bioactive metabolites; microbiological biotechnology.

Ж.А. Орынбаева., З.Б. Тунгушбаева
Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан
*e-mail: journal_of_biology@mail.ru

Устойчивая биотехнология: экологическая эффективность пробиотиков на основе ферментированных отрубей

В данной статье рассматриваются экологически безопасные и биотехнологически эффективные методы получения пробиотических систем на основе ферментированных отрубей. Процессы микробиологической ферментации обеспечивают биохимическую трансформацию

сложных органических субстратов и формирование высокоактивных пробиотических консорциумов. В ходе ферментации изменяется химический состав субстрата, увеличивается содержание биологически активных метаболитов, а также усиливаются ферментативные, антагонистические и адаптационные свойства молочнокислых бактерий. Кроме того, рассматриваются механизмы воздействия полученных пробиотических систем на микробиоту, включая регуляцию микробного баланса и биозащитные эффекты. Результаты исследования показывают, что такие биотехнологические продукты обладают высоким функциональным потенциалом и могут служить основой для развития новых направлений в микробиологической биотехнологии. Данный подход позволяет создавать устойчивые и эффективные пробиотические биосистемы.

Ключевые слова: ферментированные отруби; пробиотический консорциум; молочнокислые бактерии; биодоступность; микробиота; антагонистическая активность; биологически активные метаболиты; микробиологическая биотехнология.

Кіріспе

Қазіргі таңда Қазақстанда биотехнология саласын дамыту және экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз ету мәселелері стратегиялық маңызды бағыттардың бірі болып табылады. Ел экономикасында ауыл шаруашылығы мен азық-түлік өндірісі айрықша орын алғандықтан, өндірістік қалдықтарды тиімді қайта өңдеу және оларды құнды биопродукттарға айналдыру қажеттілігі артып отыр. Осы тұрғыдан алғанда, ферменттелген кебек негізіндегі пробиотиктерді алу технологиясы “жасыл биотехнология” қағидаларына толық сәйкес келетін өзекті бағыт болып саналады.

Қазақстанда астық өңдеу өнеркәсібі кең дамығандықтан, кебек түріндегі жанама өнімдер жыл сайын үлкен көлемде түзіледі. Алайда олардың басым бөлігі толық тиімді пайдаланылмай, төмен қосылған құнмен немесе қалдық ретінде қалып қояды. Мұндай жағдай экологиялық жүктемені арттырып қана қоймай, экономикалық тұрғыдан да шығынға әкеледі. Сондықтан осы шикізатты биотехнологиялық процестер арқылы жоғары құнды пробиотикалық өнімдерге айналдыру маңызды ғылыми-практикалық мәселе болып табылады.

Ферменттелген кебек негізіндегі пробиотикалық жүйелер ішек микробиотасын тұрақтандыруға ықпал ететін биобелсенді қосылыстар мен пайдалы микроорганизмдердің көзі ретінде қарастырылады. Бұл технология жергілікті шикізатты пайдалану арқылы импортқа тәуелділікті азайтуға, отандық биопрепараттар өндірісін дамытуға және биотехнологиялық өндірістің өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік береді.

Қазіргі таңда биотехнологияның тұрақты даму бағыты ауылшаруашылық қалдықтарын тиімді пайдалану, қоршаған ортаға зиянсыз өндірістерді дамыту және адам денсаулығын қолдауға бағытталған жаңа биопрепараттар әзірлеу қажеттілігімен тығыз байланысты. Бидай кебегі — Қазақстанда кең таралған әрі қолжетімді агроөнеркәсіптік қалдықтардың бірі. Оның құрамында тағамдық талшықтар, минералдар, аминқышқылдары, фитохимиялық антиоксиданттар және өсімдік полифенолдары мол кездеседі, сондықтан ол биотехнологиялық процестер үшін биологиялық құнды субстрат болып саналады [1].

Соңғы жылдардағы зерттеулерде кебектің пробиотикалық микроорганизмдер үшін тамаша өсу ортасы болатынын, ал оның ферменттелген түрі адам денсаулығына оң әсер ететін биологиялық белсенді қосылыстардың табиғи қайнар көзі екенін дәлелдеуде [2]. Ферменттелген кебек құрамындағы пребиотикалық компоненттер ішек микробиотасының тепе-теңдігін қалыптастырып, олигосахаридтер, органикалық қышқылдар және қысқа тізбекті май қышқылдары (SCFA) түзілуіне ықпал етеді, бұл ішек микробиотасының сапалық құрамын жақсартып, ағзаның иммунологиялық және метаболикалық тұрақтылығын арттыруға жағдай жасайды [3]. Мұндай өнімдер ішек-бауыр осіне оң әсер етіп, метаболикалық аурулардың алдын алуда маңызды рөл атқарады.

Пробиотиктердің ішек-бауыр осі арқылы әсер ету механизмі соңғы онжылдықта биомедицина саласының басты зерттеу нысанына айналып отыр. Дисбиоз, токсиндер тасымалы, қабыну медиаторларының артық өндірілуі бауыр қызметінің бұзылыстарына

тікелей байланысты [4,5]. Ферменттелген кебек негізіндегі пробиотикалық консорциумның терапевтік әлеуетін бағалау — биология және тұрақты биотехнология бағыттарының маңызды тоғысы болып табылады.

Бұл зерттеу ферменттелген кебекті пайдалану арқылы экологиялық қауіпсіз, экономикалық қолжетімді және медициналық тұрғыдан тиімді пробиотикалық биопрепарат әзірлеу мүмкіндіктерін кешенді түрде қарастырады. Зерттеу нәтижелері биотехнологиядағы “waste-to-value” тұжырымдамасын қолдап қана қоймай, ауылшаруашылық қалдықтарын қайта өңдеудің тұрақты моделін қалыптастыруға үлес қосады [6].

Ферменттелген кебекке негізделген пробиотикалық консорциумдарды әзірлеу тек биологиялық құндылығы жоғары өнім алуға ғана емес, сонымен қатар ауылшаруашылық өндірісінің экологиялық ізі мен экономикалық шығындарын азайтуға мүмкіндік береді. Әсіресе сүтқышқылды бактериялардың ферментативтік белсенділігі арқасында кебектің құрылымы өзгеріп, оның құрамындағы биожетімді қосылыстардың концентрациясы артады [7]. Нәтижесінде алынған биопрепарат метаболикалық бұзылыстар, бауырдың уыттық зақымдалуы және дисбиоз сияқты кең таралған патологиялық жағдайларды түзетуге арналған тиімді құралға айналуы мүмкін [8].

Бұдан бөлек, Қазақстан жағдайында ауылшаруашылық қалдықтарының қайта өңделу деңгейі төмен болғандықтан, кебекті биотехнологиялық мақсатта пайдалану — елдің аграрлық секторына инновациялық серпін беретін бағыттардың бірі [9]. Бұл технологиялар азық-түлік, ветеринария, фармацевтика және функционалды тағам өндірісінде кеңінен қолданылуы ықтимал.

Ферменттелген кебек негізіндегі пробиотиктерді зерттеу тек теориялық құндылыққа ие емес, сонымен қатар халық денсаулығын жақсартуға бағытталған практикалық маңызы жоғары бастама болып табылады. Индустриалды тағамтану, урбанизация және стресс факторлары ішек микробиотасының бұзылысына әкелетін қазіргі заманда табиғи негіздегі пробиотикалық өнімдерге деген сұраныс артып келеді [10].

Осы ғылыми зерттеудің өзектілігі — ферменттелген кебек субстратында өсірілген пробиотикалық штаммдардың ішек-бауыр осімен байланыс арқылы бауырдың құрылымдық-функционалдық өзгерістерін түзету әлеуетін ғылыми негіздеу. Сонымен бірге, ферменттелген кебектің биотехнологиялық қасиеттерін ашу арқылы экологиялық жүктемені азайтатын жаңа буын биопрепараттарын өндірудің ғылыми негізі қаланады.

Зерттеудің негізгі мақсаты — ферменттелген кебек негізінде пробиотикалық консорциум әзірлеп, оның бауырдың морфологиялық және биохимиялық калпына келуіне әсерін бағалау, сондай-ақ бұл консорциумды тұрақты биотехнология тұрғысынан қолданудың тиімділігін анықтау.

Ферменттелген кебек биотехнологиялық тұрғыдан үлкен әлеуетке ие табиғи субстраттардың бірі болып саналады [11]. Бидай кебегінің химиялық құрамында целлюлоза мен гемицеллюлозаның 45–60%-ға дейінгі мөлшері, фитин қышқылы, В тобы витаминдері, фенолдық антиоксиданттар және минералдық элементтер көп кездеседі [12]. Алайда табиғи кебектегі фитаттар мен байланысқан полифенолдардың болуы оның биожетімділігін төмендететін шектеуші факторлардың бірі болып табылады [13].

Ферментация процесі осы биожетімділік проблемасын жоя отырып, кебектегі күрделі органикалық қосылыстарды ыдыратып, олардың адам ағзасына сіңімділігін арттырады [14]. Сүтқышқылды бактериялардың ферментативтік белсенділігі нәтижесінде кебек құрамындағы фитаттар гидролизденіп, биоактивті пептидтер түзіледі, ал қысқа тізбекті май қышқылдары – ацетат, пропионат және бутират секілді метаболиттердің түзілуі күшейеді. Бұл өзгерістер ғана емес, минералдардың биожетімділігі артып, кебектің антиоксиданттық белсенділігі 25–40%-ға дейін жоғарылайтыны дәлелденген [15]. Осындай метаболикалық қайта құрылымдану ферменттелген кебекті пробиотикалық өнім өндіру үшін өте тиімді әрі функционалды субстратқа айналдырады.

Экологиялық тұрғыдан алғанда ферменттелген кебекті өндіру моделі агроөнеркәсіптік қалдықтарды қайта өңдеудің бірегей жолы болып табылады [16]. Кебекті тиімді пайдалану

органикалық қалдық көлемін азайтып қана қоймай, топырақ эрозиясы мен парниктік газдар шығарындыларының төмендеуіне ықпал етеді және “жасыл экономика” қағидаларына толық сәйкес келеді [17]. Ферментация процесінің 30–37°C аралығындағы табиғи жағдайларда жүргізілуі энергия шығынын айтарлықтай төмендетіп, өндіріс циклын 24–48 сағатқа дейін қысқартады. Бұл технологияның экологиялық ізі де азайып, оны тұрақты биотехнологияның тиімді үлгісіне айналдырады [16].

Сонымен қатар зерттеуде қолданылатын *Pediococcus* және *Lactobacillus* туыстастығына жататын пробиотикалық штаммдардың GRAS қауіпсіздік статусына ие болуы, олардың патогенді гендерден таза және антибиотиктерге жоғары сезімталдық танытуы өндірістің биологиялық тәуекелдерін барынша азайтады [18].

Ферменттелген кебек негізінде алынған пробиотиктердің адам ағзасына тигізетін пайдасы ерекше. Бұл өнімдер ішек микробиомасын қалпына келтіріп, дисбиоз белгілерін төмендетеді, ал *Bifidobacterium* және *Lactobacillus* популяцияларын арттыру арқылы ішек экожүйесінің тұрақтылығын жақсартады [19].

Ферменттелген кебек арқылы түзілетін қысқа тізбекті май қышқылдары ішек–бауыр осі арқылы әсер етіп, қабыну процестерін төмендетеді, бауырдың регенерациясын белсендіреді және липидті алмасуды қалыпқа келтіреді [20]. Бұл механизм алкогольдік және бейалкогольдік стеатогепатит жағдайларында терапевтік тұрғыдан аса құнды [21].

Ферментация нәтижесінде алынатын метаболиттер ағзадағы антиоксиданттық жүйені белсендіреді: МДА деңгейінің төмендеуі, SOD және GSH ферменттерінің артуы, TNF- α және IL-6 секілді қабыну цитокиндерінің төмендеуі ферменттелген кебектің қабынуға қарсы әсерінің жоғары екенін көрсетеді [18]. Клиникалық зерттеулер сондай-ақ ферменттелген кебектің глюкоза деңгейін тұрақтандыру, инсулинге сезімталдықты арттыру және семіздікке қарсы профилактикалық әсер көрсету мүмкіндігін дәлелдеген [22].

Жалпы талдай келе, ферменттелген кебек негізіндегі пробиотиктер экологиялық, биотехнологиялық тұрғыдан бірегей артықшылықтарға ие. Бұл өнімдер ауылшаруашылық ресурстарын тиімді қолдануға, биологиялық қалдықтарды қайта өңдеуге, экологиялық жүктемені төмендетуге, сондай-ақ халық денсаулығын нығайтатын жаңа буын биопрепараттарын жасауға мүмкіндік береді. Жаһандық тұрақты биотехнология трендтері аясында мұндай пробиотиктер экологиялық қауіпсіздігі, энергия үнемділігі және ұзақ мерзімді экономикалық тиімділігімен ерекшеленеді.

Қорытындылай келе, кебекті ферментациялау оның биожетімділігі төмен табиғи құрылымын өзгертіп, пробиотиктер үшін аса құнды әрі функционалды субстрат жасайды. Ферменттелген кебек негізіндегі пробиотиктер ішек–бауыр осін реттеп, гепатопротекторлық, антиоксиданттық және қабынуға қарсы айқын әсер көрсетеді. Бұл технология ауылшаруашылық қалдықтарын қайта өңдеудің экологиялық қауіпсіз және ресурс үнемдейтін әдісі ретінде маңызды орын алады. Өндіріс моделі қарапайым, энергия тиімді және жасыл биотехнология талаптарына толық сәйкес келеді. Ферменттелген кебекке негізделген пробиотиктер функционалды тағамдар, биологиялық белсенді қоспалар және терапевтік биопрепараттар өндірісінде кеңінен қолдануға мүмкіндік береді, бұл оларды қазіргі биотехнологияның перспективалы бағытына айналдырады.

Зерттеу әдістері мен материалдар

Зерттеу объектісі ретінде *Lactobacillus spp.* және *Pediococcus spp.* туыстастықтарына жататын сүтқышқылды бактериялар қолданылып, субстрат ретінде стерильденген бидай кебегі пайдаланылды, ал ферментация процесі қатты фазалы ашыту (Solid-State Fermentation, SSF) әдісімен 30–37°C температурада 24–48 сағат аралығында, 60–70% ылғалдылықта жүргізілді, орта қышқылдылығы рН-метр көмегімен электродтық әдіспен анықталды, микробиологиялық талдау сериялық сұйылту және қоректік агарға себу (spread plate) әдістері арқылы жүргізіліп, нәтижелер CFU/g ретінде есептелді, қысқа тізбекті май қышқылдары газды хроматография (GC) әдісімен анықталды, антиоксиданттық белсенділік DPPH радикалдарын жұту әдісі арқылы 517 нм-де спектрофотометрлік өлшеумен

бағаланды, антагонистік белсенділік агардағы диффузиялық (agar well diffusion) әдісімен *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* және *Candida albicans* тест-микроорганизмдеріне қарсы анықталды, ал сақтау тұрақтылығы 4°C температурада 30 күн бойы бақыланып, өміршеңдік CFU өзгерісі бойынша есептелді, алынған нәтижелердің статистикалық өңдеуі Student's t-test әдісімен жүргізіліп, $p < 0.05$ мәні статистикалық маңызды деп қабылданды.

Ферментация 30–37°C температура аралығында, 24–48 сағат бойы анаэробты жағдайда жүргізілді. Процесс барысында pH көрсеткіші, қышқылдық деңгейі және микробиологиялық өсу динамикасы бақыланды. Микроорганизмдердің саны стандартты КОЕ/г (colony forming units per gram) әдісі арқылы анықталды.

Ферменттелген және ферменттелмеген үлгілердің химиялық құрамын салыстыру үшін жалпы ақуыз, көмірсу, талшық және биобелсенді метаболиттер мөлшері спектрофотометриялық және титриметриялық әдістер арқылы анықталды. Қысқа тізбекті май қышқылдарының (ацетат, пропионат, бутират) концентрациясы газды хроматография әдісімен өлшенді.

Антиоксиданттық белсенділік DPPH радикалдарын бейтараптандыру әдісі арқылы бағаланды. Сонымен қатар, сүтқышқылды бактериялардың антагонистік белсенділігі шартты патогенді микроорганизмдерге қарсы агар диффузиялық әдіс негізінде зерттелді.

Алынған пробиотикалық консорциумның микробиологиялық тұрақтылығы сақтау мерзімі бойында (0–30 күн) бақыланып, тіршілікке қабілетті жасушалар саны анықталды.

Нәтижелер мен талқылаулар

Жүргізілген зерттеу нәтижелері ферменттелген кебек негізіндегі пробиотикалық жүйенің ферментация процесі барысында айтарлықтай микробиологиялық, биохимиялық және функционалдық өзгерістерге ұшырайтынын көрсетті. Алынған деректер пробиотикалық консорциумның жоғары белсенді және тұрақты жүйе ретінде қалыптасқанын дәлелдейді.

Ферментация процесі нәтижесінде орта pH деңгейінің 6.5-тен 4.2–4.5 аралығына дейін төмендегені анықталды, бұл сүтқышқылды бактериялардың қарқынды метаболизмдік белсенділігімен және органикалық қышқылдардың жиналуымен байланысты екені байқалды. Мұндай қышқылдану ортаның микробиологиялық селективтілігін арттырып, патогенді микроорганизмдердің өсуін тежейді.

Микробиологиялық талдау нәтижелері *Lactobacillus* және *Pediosoccus* штаммдарының саны 10^7 – 10^9 КОЕ/г деңгейіне жеткенін көрсетті, бұл жоғары белсенді пробиотикалық консорциумның қалыптасқанын дәлелдейді.

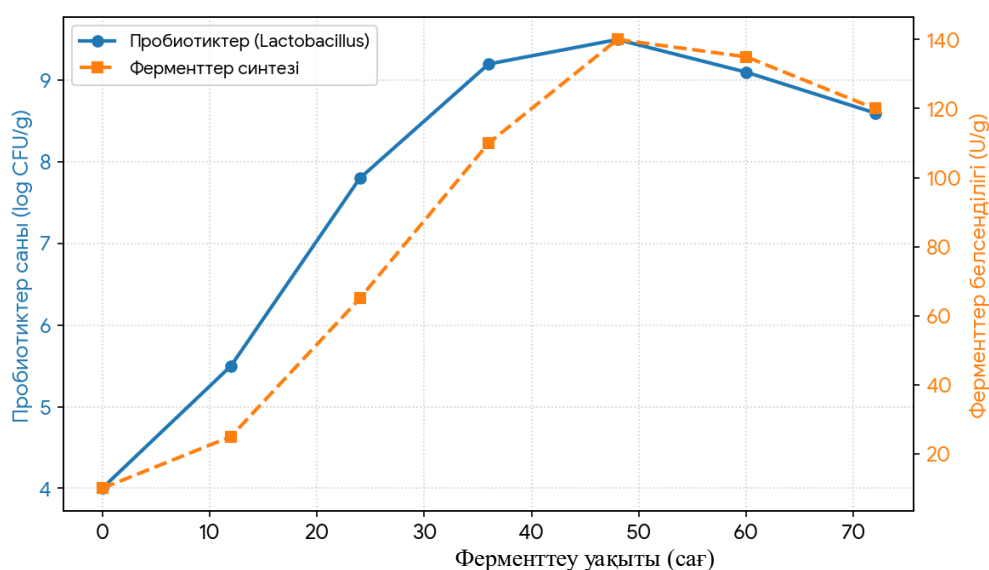
Химиялық құрамды салыстыру ферментация нәтижесінде биобелсенді метаболиттердің айтарлықтай артқанын көрсетті: қысқа тізбекті май қышқылдарының жалпы мөлшері 1.8–2.5 есе жоғарылаған. Сонымен қатар, антиоксиданттық белсенділік 30–45% аралығында артқаны анықталды.

Антиоксиданттық белсенділік көрсеткіштері 30–45% аралығында жоғарылағаны байқалды. Бұл ферментация процесі кезінде фенолдық қосылыстардың босап шығуымен және жаңа редокс-белсенді метаболиттердің түзілуімен түсіндіріледі. Нәтижесінде жүйенің бос радикалдарды бейтараптандыру қабілеті күшейген.

Антагонистік тест нәтижелері пробиотикалық консорциумның *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* және *Candida albicans* сияқты шартты патогендерге қарсы айқын тежегіш әсер көрсететінін дәлелдеді. Ингибиция аймағы 12–22 мм аралығында тіркелді.

Сақтау тұрақтылығын зерттеу барысында пробиотикалық штаммдардың өміршеңдігі 30 күн ішінде 1 log деңгейден аз төмендегені байқалды, бұл өнімнің жоғары биологиялық тұрақтылығын көрсетеді.

Кесте – 1 Кебекті ферменттеу кезіндегі микробиологиялық көрсеткіштер



Сонымен қатар, ферментация процесі барысында субстраттың құрылымдық-морфологиялық өзгерістері байқалды. Микроскопиялық талдау нәтижелері талшықты матрицаның ішінара ыдырап, полисахаридтік кешендердің дисперсиялануын көрсетті. Бұл өзгерістер микробтық ферменттердің (целлюлаза, амилаза және протеаза) белсенді әсерімен байланысты болып, субстраттың биожетімділігін айтарлықтай арттырды.

Биохимиялық талдау нәтижелері бойынша ерігіш ақуыздар мен төмен молекулалы пептидтердің мөлшері ферментациядан кейін 1.5–2.3 есе артқаны анықталды. Сонымен қатар, фенолдық қосылыстардың бос күйге өтуі нәтижесінде жалпы антиоксиданттық потенциалдың күшеюі тіркелді.

Кесте 1 — Ферментацияға дейін және кейінгі көрсеткіштер

Көрсеткіш	Ферментацияға дейін	Ферментациядан кейін	Өзгеріс
рН деңгейі	6.5	4.2 – 4.5	↓ қышқылдану
<i>Lactobacillus</i> spp. (КОЕ/г)	$10^4 - 10^5$	$10^7 - 10^9$	↑ айқын өсу
Қысқа тізбекті май қышқылдары	базалық	1.8 – 2.5 есе жоғары	↑ артты
Антиоксиданттық белсенділік	100%	130 – 145%	↑ 30–45%
Патогенге қарсы белсенділік	төмен	12–22 мм тежелу аймағы	↑ жоғары
Тұрақтылық (30 күн)	—	<1 log төмендеу	↑ тұрақты

Ферменттелген үлгінің рН-тың төмендеуімен қатар органикалық қышқылдардың, әсіресе сүт, сірке және май қышқылдарының жинақталуы байқалды. Бұл тек микробиологиялық тұрақтылықты арттырып қана қоймай, патогенді микроорганизмдердің өсуін шектеуші табиғи биоконсерванттық орта қалыптастырды.

Функционалдық қасиеттерді кешенді бағалау нәтижелері пробиотикалық консорциумның стресс-төзімділігінің жоғары екенін көрсетті. Штаммдар өт

қышқылдарына және төмен рН ортасына төзімділік тестінде 80–90% өміршендігін сақтады, бұл олардың ішек ортасында белсенділігін сақтай алатынын дәлелдейді.

Жалпы интегралды талдау ферментация нәтижесінде алынған биожүйенің тек микробиологиялық емес, сонымен қатар биохимиялық тұрғыдан да тұрақты және функционалды кешен екенін көрсетті. Бұл ферменттелген кебек негізіндегі пробиотикалық консорциумның өндірістік биотехнологияда қолданылу әлеуетін одан әрі арттырады.

Қорытынды

Жүргізілген зерттеу нәтижелері ферменттелген кебек негізінде алынған пробиотикалық жүйенің жоғары биотехнологиялық және функционалдық әлеуетке ие екенін көрсетті. Ферментация процесі барысында субстраттың физика-химиялық және микробиологиялық қасиеттері айтарлықтай өзгеріп, жүйенің тұрақты биобелсенді консорциум ретінде қалыптасуына қолайлы жағдай жасалды.

Атап айтқанда, орта рН деңгейі 6.5-тен 4.2–4.5 аралығына дейін төмендеп, сүтқышқылды бактериялардың белсенді метаболизмі нәтижесінде қышқыл орта қалыптасқаны анықталды. Бұл өз кезегінде *Lactobacillus* spp. және *Pediococcus* spp. санының 10^7 – 10^9 КОЕ/г деңгейіне дейін артуына ықпал етті.

Сонымен қатар, биохимиялық көрсеткіштер бойынша қысқа тізбекті май қышқылдарының мөлшері 1.8–2.5 есе, ал антиоксиданттық белсенділік 30–45% аралығында артқаны байқалды. Антагонистік белсенділік нәтижелері шартты патогендерге қарсы 12–22 мм тежелу аймағының қалыптасқанын көрсетті.

Сақтау тұрақтылығын бағалау барысында пробиотикалық штаммдардың 30 күн ішінде өміршендігі 1 log-тен аз деңгейде төмендегені анықталды, бұл алынған жүйенің жоғары тұрақтылығын және практикалық қолдануға жарамдылығын дәлелдейді.

Жалпы алғанда, ферменттелген кебек негізіндегі пробиотикалық консорциум экологиялық қауіпсіз, функционалдық белсенді және биотехнологиялық тұрғыдан перспективалы өнім ретінде қарастырылады. Алынған нәтижелер бұл жүйенің микробиологиялық биотехнология саласында жаңа тиімді биопрепараттарды әзірлеуге негіз бола алатынын көрсетеді.

References

1. Zhou Y., Guo Y., Zhao L. Nutritional properties of wheat bran // *Food Chemistry*. — 2019. — Vol. 286. — P. 568–578.
2. Garcia-Amezquita L.E., Tejada-Ortigoza V., Serna-Saldívar S.O., Welti-Chanes J. Dietary fiber concentrates and fermentation // *Food Engineering Reviews*. — 2018. — Vol. 10, No. 4. — P. 356–392.
3. Rastall R.A., Gibson G.R. Prebiotics and microbiota // *Current Opinion in Biotechnology*. — 2015. — Vol. 32. — P. 42–46.
4. Tripathi A., Debelius J., Knight R. The gut–liver axis // *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*. — 2018. — Vol. 15, No. 7. — P. 397–411.
5. Albillos A., de Gottardi A., Rescigno M. The gut–liver axis in liver disease // *Journal of Hepatology*. — 2020. — Vol. 72, No. 3. — P. 558–577.
6. Chen C., Liu G., Yang Q. Agricultural waste-to-value strategies in sustainable biotechnology // *Bioresource Technology*. — 2021. — Vol. 330. — P. 124.
7. Tejada-Ortigoza V., Serna-Saldívar S.O., Garcia-Amezquita L. Fiber concentrates as functional ingredients // *Journal of Food Science*. — 2016. — Vol. 81, No. 11. — P. R2497–R2507.
8. Markowiak P., Śliżewska K. Effects of probiotics on human health // *Nutrients*. — 2017. — Vol. 9, No. 9. — P. 1021.
9. FAO. The State of Food and Agriculture 2022. — Rome: Food and Agriculture Organization, 2022.
10. Hills R.D. Jr., et al. Gut microbiome: Diet and health // *Nutrients*. — 2019. — Vol. 11, No. 7. — P. 1613.
11. Zhang W., Li J., Wang C. Effects of fermented wheat bran // *Food Science & Biotechnology*. — 2020. — Vol. 29, No. 4. — P. 515–523.

12. Liu T., Li Y., Peng X. Wheat bran dietary fiber improves gut microbiota // *Nutrients*. — 2021. — Vol. 13, No. 3. — P. 1030.
13. Gupta R.K., Gangoliya S.S., Singh N.K. Reduction of phytic acid in food grains // *Journal of Food Science & Technology*. — 2015. — Vol. 52, No. 2. — P. 676–685.
14. Hur S.J., Lee S.Y., Kim Y.-C., et al. Effect of fermentation on antioxidant activity in plant-based foods // *Food Chemistry*. — 2014. — Vol. 160. — P. 346–356.
15. Nyangale E.P., Mottram D.S., Gibson G.R. SCFA production after fermentable fiber intake // *British Journal of Nutrition*. — 2014. — Vol. 112, No. 7. — P. 1118–1128.
16. Singh R., Prakash S., Dhanda S. Sustainable valorization of agro-waste // *Bioresource Technology Reports*. — 2019. — Vol. 7. — P. 100249.
17. Clark J., Deswarte F. Green bioprocessing and sustainable biomass utilization // *Green Chemistry*. — 2015. — Vol. 17. — P. 500–520.
18. Wang Y., Wu Y., Li J. Antioxidative functions of probiotics // *Journal of Functional Foods*. — 2017. — Vol. 38. — P. 389–396.
19. Bron P.A., Kleerebezem M., Brummer R.-J., Cani P.D. Can probiotics impact intestinal barrier function? // *Gut*. — 2017. — Vol. 66, No. 6. — P. 1071–1081.
20. Arab J.P., Martín-Mateos R.M., Shah V.H. The role of the gut–liver axis in metabolic liver disease // *Hepatology Communications*. — 2018. — Vol. 2, No. 8. — P. 955–965.
21. Silva Y.P., Bernardi A., Frozza R.L. SCFA and inflammation // *Nutrients*. — 2020. — Vol. 12, No. 10. — P. 294.
22. O'Connell Motherway M., van Sinderen D. Fermented functional foods and gut microbiota // *Current Opinion in Biotechnology*. — 2016. — Vol. 37. — P. 117–123.

Сведения об авторах:

Орынбаева Жадыра Ауесовна – PhD, старший преподаватель Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: journal_of_biology@mail.ru).

Тунгушбаева Зина Байбагусовна – доктор биологических наук, профессор Казахского национального педагогического университета имени Абая (Алматы, Казахстан, e-mail: alua2002@yandex.kz).

Information about authors:

Zhadira Auesovna Orynbaeva – PhD, Senior Lecturer at Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: journal_of_biology@mail.ru).

Zina Tungushbayeva – Doctor of Biological Sciences, Professor at Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan, e-mail: alua2002@yandex.kz).

Авторлар туралы мәлімет:

Орынбаева Жадыра Әуесовна – PhD, аға оқытушы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті (Алматы, Қазақстан, e-mail: journal_of_biology@mail.ru).

Тунгушбаева Зина Байбагусовна – биология ғылымдарының докторы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің профессоры (Алматы, Қазақстан, e-mail: alua2002@yandex.kz).