ACUMEN: INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY RESEARCH
ISSN: 3060-4745 IF(Impact Factor)10.71 / 2025 Volume 3, Issue 11

AMINOKISLOTALAR RASEMIZATSIYASI VA LAKTOZASIZ SUT OLISH: FERMENTATIV BIOTEXNOLOGIYANING BIOKIMYOVIY ASOSLARI VA AMALIY ISTIQBOLLARI

Muallif: Qambarova Buvisora Azamat qizi
JizPI Sanoat texnalogiyalari fakulteti 2- kurs talabasi
E-mail: bibisoraqambarova1@gmail.com
Tel:+998872131743
Ilmiy rahbar: Shamsidinova Oyqiz
Jizzax Politexnika instituti QXOOTT kafedrasi assistenti
Email: oyqiz.02004@icloud.com
Tel :+998910271811

Annotatsiya: Ushbu maqolada aminokislotalar rasemizatsiyasi hamda laktozasiz sut ishlab chiqarish jarayonlarining biokimyoviy va biotexnologik asoslari ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilinadi. Aminokislotalar rasemizatsiyasining mohiyati, L- va D-izomerlarning biologik xususiyatlari, rasemaza fermentlarining katalitik mexanizmlari hamda ularning mikroorganizmlar metabolizmidagi ahamiyati yoritiladi. Shuningdek, sut tarkibidagi laktozani β-galaktozidaza (laktaza) fermenti yordamida glyukoza va galaktozaga parchalash jarayoni, ferment manbalari, fermentativ gidrolizning texnologik bosqichlari va sanoatda qo‘llaniladigan usullari ko‘rib chiqiladi. Fermentlarni immobilizatsiyalash, uzluksiz oqimli bioreaktorlar va fermentativ jarayonlarni optimallashtirishning istiqbollari tahlil etiladi. Maqolada mazkur ikki jarayonning o‘ziga xos farqlari va umumiy fermentativ biotexnologik tamoyillari taqqoslanadi.

Kalit so‘zlar: aminokislotalar, rasemizatsiya, L-izomer, D-izomer, rasemaza, piridoksal-5-fosfat, laktoza, laktaza, β-galaktozidaza, fermentativ gidroliz, immobilizatsiya, biotexnologiya.

Abstract

This article analyzes the biochemical and biotechnological foundations of amino acid racemization and lactose-free milk production based on scientific literature. The mechanisms of amino acid racemization, the biological significance of L- and D-isomers, and the catalytic properties of racemase enzymes are discussed. The article also examines the enzymatic hydrolysis of lactose into glucose and galactose by β-galactosidase, including enzyme sources, technological stages, and industrial

applications. Particular attention is given to enzyme immobilization, continuous-flow bioreactors, and the optimization of enzymatic processes. The similarities and differences between these two processes are considered from the perspective of enzyme-based biotechnology.

Keywords: amino acids, racemization, L-isomer, D-isomer, racemase, lactose, lactase, β-galactosidase, enzymatic hydrolysis, immobilization, biotechnology.

1. KIRISH

Zamonaviy biokimyo va biotexnologiya tirik organizmlarda kechadigan molekulyar jarayonlarni o‘rganish, ularni boshqarish hamda sanoat va tibbiyot ehtiyojlari uchun samarali qo‘llash imkoniyatlarini kengaytirmoqda. Ayniqsa, fermentlar ishtirokida amalga oshadigan reaksiyalar yuqori selektivligi, nisbatan yumshoq sharoitlarda kechishi va biologik tizimlarga mosligi bilan muhim ahamiyat kasb etadi. Aminokislotalar oqsillarning asosiy tarkibiy qismlari bo‘lib, ularning fazoviy tuzilishi oqsil molekulalarining biologik faolligini belgilashda muhim o‘rin tutadi. Ko‘pchilik aminokislotalar L- va D-konfiguratsiyali shakllarda mavjud bo‘lishi mumkin. Ushbu shakllarning bir-biriga aylanishi rasemizatsiya deb ataladi. Mazkur jarayon mikroorganizmlarning hujayra devori sintezi, metabolik faoliyati va ayrim biologik faol molekulalarning hosil bo‘lishida ishtirok etadi.

Oziq-ovqat biotexnologiyasining muhim yo‘nalishlaridan yana biri laktozasiz sut ishlab chiqarish hisoblanadi. Sut tarkibidagi asosiy uglevodlardan biri bo‘lgan laktoza ayrim insonlarda ingichka ichakda yetarli miqdorda laktaza fermenti ishlab chiqarilmagani sababli to‘liq parchalanmasligi mumkin. Natijada qorin dam bo‘lishi, ichak faoliyatidagi o‘zgarishlar va boshqa noqulay belgilar kuzatiladi. Laktozani fermentativ usulda parchalash orqali bunday insonlar uchun sut mahsulotlarini iste’mol qilish imkoniyatini kengaytirish mumkin. Aminokislotalar rasemizatsiyasi va laktozasiz sut olish biologik vazifasi jihatidan turlicha jarayonlardir. Biroq ularning ikkalasi ham fermentlar faoliyati, substratning molekulyar o‘zgarishi va reaksiyalarni boshqarish tamoyillariga asoslanadi. Shu sababli ularni fermentativ biotexnologiyaning turli yo‘nalishlari sifatida birgalikda o‘rganish ilmiy va amaliy jihatdan ahamiyatlidir.

Tadqiqotning maqsadi — aminokislotalar rasemizatsiyasi va laktozasiz sut olish jarayonlarining biokimyoviy mexanizmlarini, fermentlarning katalitik xususiyatlarini hamda ularning amaliy biotexnologiyadagi ahamiyatini tahlil qilish.

Tadqiqot vazifalari:

- aminokislotalarning L- va D-konfiguratsiyalarini tavsiflash;
- rasemizatsiya jarayonining kimyoviy va fermentativ mexanizmlarini o‘rganish;
- rasemaza fermentlarining turlari va biologik vazifalarini tahlil qilish;
- laktozaning kimyoviy tuzilishi va parchalanish reaksiyasini yoritish;
- β-galaktozidaza fermentining manbalari va texnologik qo‘llanilishini ko‘rib chiqish;
- laktozasiz sut ishlab chiqarish usullarining afzalliklari va cheklovlarini baholash.

2. TADQIQOT MATERIALLARI VA USULLARI

Mazkur maqola ilmiy-tahliliy sharh shaklida tayyorlandi. Tadqiqot materiali sifatida aminokislotalar rasemizatsiyasi, rasemaza fermentlarining katalitik mexanizmlari, β-galaktozidaza fermenti va laktozasiz sut ishlab chiqarishga bag‘ishlangan ilmiy maqolalar hamda sharh tadqiqotlari o‘rganildi.Adabiyotlarni tahlil qilishda taqqoslash, umumlashtirish, ilmiy ma’lumotlarni tizimlashtirish va biokimyoviy reaksiyalarni tavsiflash usullaridan foydalanildi. Fermentlarning tuzilishi, katalitik faolligi va texnologik qo‘llanilishi o‘zaro taqqoslandi. Ushbu ishda yangi laboratoriya tajribasi yoki klinik tadqiqot o‘tkazilmagan. Keltirilgan xulosalar ilmiy adabiyotlarda e’lon qilingan ma’lumotlarning tahliliga asoslanadi.

3. AMINOKISLOTALAR RASEMIZATSIYASINING BIOKIMYOVIY ASOSLARI

3.1. Aminokislotalarning fazoviy tuzilishi

Aminokislotalar tarkibida aminoguruh, karboksil guruh, vodorod atomi va o‘zgaruvchan yon zanjir bilan bog‘langan markaziy α-uglerod atomiga ega bo‘ladi. Aksariyat aminokislotalarda α-uglerod atomi to‘rtta turli guruh bilan bog‘langanligi sababli ular optik faol va ikki xil fazoviy konfiguratsiyada mavjud bo‘lishi mumkin.

Ushbu konfiguratsiyalar L- va D-shakllar deb nomlanadi. Ular bir-birining ko‘zgudagi aksiga o‘xshash bo‘lib, ustma-ust tushmaydi. Bunday molekulalar enantiomerlar deb ataladi. Tirik organizmlarda oqsil sintezi uchun asosan L-aminokislotalardan foydalaniladi. Biroq D-aminokislotalar ham biologik jihatdan muhim bo‘lib, ayniqsa bakteriyalarning hujayra devori tarkibida uchraydi. Masalan, D-alanin va D-glutamat peptidoglikan tuzilishining muhim tarkibiy qismlaridan hisoblanadi [1]. Glysin bundan mustasno: uning yon zanjiri vodorod atomidan iborat bo‘lgani sababli α-uglerod atomi ikkita bir xil vodorod bilan bog‘langan. Shuning uchun glysin xiral markazga ega emas va L- hamda D-enantiomer shakllariga ajratilmaydi.

3.2. Rasemizatsiya tushunchasi

Rasemizatsiya — optik faol birikmaning bir enantiomer shaklidan ikkinchi enantiomer shakliga aylanish jarayonidir. Aminokislotalarda bu jarayon L-shaklning D-shaklga yoki aksincha, D-shaklning L-shaklga o‘tishi orqali sodir bo‘ladi.Rasemizatsiya natijasida ikkala enantiomerning miqdori tenglashgan holat rasemik aralashma deb ataladi. Biroq biologik tizimlarda fermentlar ishtirokida kechadigan rasemizatsiya ko‘pincha muayyan metabolik ehtiyojlar bilan boshqariladi va barcha hollarda rasemik aralashma hosil bo‘lishi shart emas.

Rasemizatsiya ikki asosiy yo‘l bilan amalga oshishi mumkin:

1. **Fermentativ rasemizatsiya** — rasemaza fermentlari ishtirokida, biologik sharoitlarda kechadi.
2. **Fermentativ bo‘lmagan rasemizatsiya** — ayrim fizik-kimyoviy sharoitlarda, masalan, yuqori harorat, muhitning pH qiymati yoki uzoq vaqt davom etadigan kimyoviy ta’sirlar natijasida yuz berishi mumkin.

Fermentativ rasemizatsiya yuqori spetsifikligi va reaksiyani boshqarish imkoniyati bilan ajralib turadi.

3.3. Rasemaza fermentlarining ta’sir mexanizmi

Rasemazalar aminokislotalarning stereokimyoviy konfiguratsiyasini o‘zgartiruvchi fermentlar hisoblanadi. Ular substrat molekulasining α-uglerod atomiga bog‘langan vodorodning ajralishi va qayta birikishi orqali konfiguratsiya

almashinuvini ta’minlaydi. Rasemazalar katalitik mexanizmiga ko‘ra, asosan, ikki guruhga ajratiladi:

1. Piridoksal-5-fosfatga bog‘liq rasemazalar. Ushbu fermentlar PLP (piridoksal-5-fosfat) kofermentidan foydalanadi. PLP aminokislota bilan vaqtinchalik oraliq kompleks hosil qilib, α-uglerod atomidagi protonning ajralishini osonlashtiradi. Keyinchalik proton qarama-qarshi tomondan qayta birikadi va aminokislotaning fazoviy konfiguratsiyasi o‘zgaradi. Alanin rasemaza ushbu guruhning muhim vakillaridan biri hisoblanadi. U bakteriyalarda L-alaninni D-alaninga va aksincha aylantiradi. Hosil bo‘lgan D-alanin bakterial peptidoglikan sintezi uchun zarurdir.

2. PLPga bog‘liq bo‘lmagan rasemazalar. Bu fermentlar piridoksal-5-fosfat kofermentisiz faoliyat yuritadi. Ularning ayrimlari faol markazidagi sistein qoldiqlarining tiol/tiolat jufti yordamida proton almashinuvini amalga oshiradi. Glutamat rasemaza PLPga bog‘liq bo‘lmagan fermentlarga misol bo‘la oladi. U L-glutamat va D-glutamat o‘rtasidagi konversiyani ta’minlaydi. Bunday fermentlarning mexanizmi PLPga bog‘liq rasemazalarnikidan farq qiladi [2].

1-jadval. Rasemaza fermentlarining asosiy guruhlari

Xususiyati	PLPga bog‘liq rasemazalar	PLPga bog‘liq bo‘lmagan rasemazalar
Koferment	PLP talab qiladi	PLP talab qilmaydi
Faol markaz	PLP bilan bog‘liq katalitik markaz	Ko‘pincha sistein qoldiqlari
Mexanizm	Vaqtinchalik PLP-substrat kompleksi	Protonni ajratish va qayta biriktirish
Misol	Alanin rasemaza	Glutamat rasemaza
Biologik ahamiyati	D-alanin hosil bo‘lishi	D-glutamat hosil bo‘lishi

3.4. D-aminokislotalarning biologik ahamiyati

D-aminokislotalar ilgari faqat ayrim mikroorganizmlarga xos moddalar sifatida qaralgan. Hozirgi ilmiy ma'lumotlar ularning turli biologik tizimlarda ham uchrashini ko'rsatadi. Bakteriyalarda D-alanin va D-glutamat peptidoglikan sintezida qatnashadi. Peptidoglikan bakteriya hujayra devorining mustahkamligini ta'minlaydi va tashqi muhit ta'sirlaridan himoyalashda muhim rol o'ynaydi. Ayrim D-aminokislotalar hayvonlar organizmida ham uchraydi. Masalan, D-serin markaziy asab tizimida neyrotransmissiya jarayonlarini boshqarishda ishtirok etadi. D-aspartat esa ayrim endokrin va nerv tizimi jarayonlari bilan bog'liq.Shunday qilib, aminokislotalarning stereokimyoviy shakli nafaqat oqsil tuzilishiga, balki hujayraning metabolik va fiziologik faoliyatiga ham ta'sir ko'rsatadi.

4. LAKTOZASIZ SUT OLISHNING BIOKIMYOVIY ASOSLARI

4.1. Laktozaning kimyoviy tuzilishi

Laktoza sut tarkibida tabiiy ravishda uchraydigan disaxarid bo'lib, u ikki monosaxarid - glyukoza va galaktozadan tashkil topgan.

Laktozaning molekulyar formulasi:

$$C_{12}H_{22}O_{11}$$

Laktoza molekulasida glyukoza va galaktoza qoldiqlari β-1,4-glikozid bog'i orqali birikkan. Ushbu bog'ning uzilishi natijasida laktoza ikki alohida monosaxaridga parchalanadi. Laktozaning hazm bo'lishida ingichka ichakning cho'tkasimon qavati hujayralarida joylashgan laktaza-fermenti muhim ahamiyatga ega. Agar laktaza faolligi yetarli bo'lmasa, laktoza to'liq parchalanmasligi mumkin. Laktoza hazm bo'lishining buzilishi laktoza malabsorbsiyasi deb ataladi. Agar bu holat qorin dam bo'lishi, og'riq yoki ich ketishi kabi belgilar bilan namoyon bo'lsa, laktoza intolerantligi deyiladi. Bu holatni sut oqsillariga allergiya bilan aralashtirmaslik kerak: ularning mexanizmlari turlicha.

4.2. Laktaza (β-galaktozidaza) fermentining vazifasi

Laktozasiz sut ishlab chiqarishning asosiy biokimyoviy mexanizmi β-galaktozidaza fermentining laktozaga ta'siriga asoslanadi. β-galaktozidaza laktoza tarkibidagi β-1,4-glikozid bog'ini gidrolizlaydi. Natijada glyukoza va galaktoza hosil bo'ladi.

Fermentativ reaksiya:

$$\text{Laktoza} + H_2O \rightarrow \text{Glyukoza} + \text{Galaktoza}$$

Ushbu reaksiya natijasida sut tarkibidagi laktoza miqdori kamayadi. Jarayonning samaradorligi ferment turi, harorat, pH, ferment konsentratsiyasi, reaksiyaning davomiyligi va sut tarkibiga bog‘liq. β-galaktozidaza fermenti turli mikroorganizmlardan olinishi mumkin. Sanoatda, xususan, Kluyveromyces lactis kabi achitqilardan olingan neytral laktazalar sut mahsulotlarini qayta ishlashda qo‘llaniladi. Ayrim bakteriyalar va zamburug‘lar ham β-galaktozidaza ishlab chiqarish xususiyatiga ega [3].

2-jadval. β-galaktozidaza fermentining ayrim biologik manbalari

Ferment manbasi	Umumiy xususiyati	Biotexnologik ahamiyati
Kluyveromyces lactis	Neytral muhitga mos ferment manbasi	Sut sanoatida laktoza gidrolizi
Kluyveromyces marxianus	Achitqi mikroorganizmi	Sut va zardob mahsulotlarini qayta ishlash
Aspergillus oryzae	Zamburug‘ manbasi	Oziq-ovqat biotexnologiyasida ferment olish
Escherichia coli	Bakterial β-galaktozidaza manbasi	Ferment xususiyatlarini ilmiy o‘rganish
Lactobacillus turlari	Sut kislotasi bakteriyalari	Fermentativ va probiotik texnologiyalar

Ferment manbasini tanlashda uning optimal pH va harorat ko‘rsatkichlari, faolligi, barqarorligi, ishlab chiqarish tannarxi va oziq-ovqat xavfsizligiga mosligi hisobga olinadi [3].

4.3. Laktozasiz sut ishlab chiqarish texnologiyasi

Laktozasiz sut ishlab chiqarish jarayoni bir necha texnologik bosqichlardan tashkil topadi.

1-bosqich. Xom sutni qabul qilish va sifat nazorati. Dastlab sutning fizik-kimyoviy va mikrobiologik ko‘rsatkichlari tekshiriladi. Sut tarkibi, kislotaliligi, mikrobiologik tozaligi va qayta ishlashga yaroqliligi baholanadi.

2-bosqich. Sutni dastlabki qayta ishlash. Sut filtrlash, sovitish va zarur hollarda gomogenizatsiya kabi jarayonlardan o‘tkaziladi. Bu bosqich mahsulotning bir xil tarkibda bo‘lishi va keyingi texnologik ishlovga tayyorlanishini ta’minlaydi.

3-bosqich. Laktaza fermentini qo‘shish. Belgilangan texnologik sharoitda sutga β-galaktozidaza fermenti qo‘shiladi. Ferment laktoza molekulalarini glyukoza va galaktozaga parchalay boshlaydi.

4-bosqich. Fermentativ gidroliz. Bu bosqichda ferment va laktoza o‘rtasidagi ta’sir davom etadi. Gidroliz tezligi fermentning faolligi, harorat, pH va substrat konsentratsiyasiga bog‘liq.

5-bosqich. Fermentni inaktivatsiyalash va issiqlik bilan ishlov berish. Texnologik sxemaga muvofiq sut pasterizatsiya yoki sterilizatsiya qilinadi. Issiqlik bilan ishlov berish mikroorganizmlarni kamaytirish va ferment faolligini nazorat qilish uchun qo‘llaniladi.

6-bosqich. Qadoqlash va saqlash. Tayyor mahsulot sanitariya talablariga muvofiq qadoqlanadi. Saqlash sharoitlari mahsulotning mikrobiologik xavfsizligi va sifatini ta’minlashi kerak.

4.4. Laktoza gidrolizining texnologik usullari

Sanoatda laktozani parchalashning bir necha fermentativ usullari mavjud.

Partiyali usul (pre-gidroliz). Bunda ferment sutga oldindan qo‘shiladi va laktoza gidrolizi ma’lum vaqt davomida amalga oshiriladi. Jarayon odatda sovitilgan sharoitda olib borilishi mumkin. Keyinchalik sut issiqlik bilan ishlov beriladi.

Aseptik usul (post-gidroliz). Bunda sut avval tegishli issiqlik ishlovidan o‘tkaziladi, so‘ng aseptik sharoitda ferment qo‘shiladi. Gidroliz qadoqlashdan oldin yoki tegishli aseptik texnologik tizimda amalga oshiriladi.

Har ikkala usulning tanlanishi ishlab chiqarish quvvati, mikrobiologik xavfsizlik, ferment turi va mahsulotning saqlash xususiyatlariga bog‘liq [4].

3-jadval. Laktozani gidrolizlash usullarining taqqoslanishi

Ko‘rsatkich	Partiyali usul	Aseptik usul
Ferment qo‘shish	Issiqlik ishlovidan oldin	Sterilizatsiyadan keyin, aseptik sharoitda
Asosiy jarayon	Alohida idishda gidroliz	Aseptik texnologik tizimda gidroliz
Mikrobiologik talab	Sovitish va keyingi issiqlik ishlovi muhim	Aseptik sharoit qat’iy nazorat qilinadi
Texnologik xususiyat	Nisbatan sodda boshqariladi	Murakkabroq aseptik tizim talab qiladi
Qo‘llanilishi	Turli sut mahsulotlari	Ayrim UHT va sanoat mahsulotlari

4.5. Laktozasiz sutning oziqaviy xususiyatlari

Laktozasiz sut oddiy sutdagi laktozaning fermentativ parchalanishi natijasida olinadi. Bunda sutning oqsil, yog‘, mineral moddalar va vitaminlar kabi asosiy tarkibiy qismlari saqlanishi mumkin. Laktoza gidrolizlanganda glyukoza va galaktoza hosil bo‘ladi. Ushbu monosaxaridlar ta’m sezilishiga ta’sir qiladi. Shu sababli laktozasiz sut odatiy sutga nisbatan biroz shirinroq tuyulishi mumkin. Laktozasiz sut laktozani hazm qilish bilan bog‘liq muammosi bo‘lgan insonlar uchun muqobil mahsulot hisoblanadi. Biroq u sut oqsillariga allergiyasi bo‘lgan insonlar uchun avtomatik ravishda xavfsiz mahsulot degani emas, chunki fermentativ gidroliz sut oqsillarini yo‘q qilmaydi [4].

5. FERMENTLARNI IMMOBILIZATSIYALASH VA ZAMONAVIY BIOTEXNOLOGIK YONDASHUVLAR

Fermentativ texnologiyalarda muhim yo‘nalishlardan biri fermentlarni immobilizatsiyalash hisoblanadi. Immobilizatsiya — ferment molekulalarini ma’lum

tashuvchi materialga biriktirish yoki ularni maxsus matritsa ichida ushlab turish usulidir. Mazkur yondashuv fermentlarni texnologik jarayondan ajratib olish, ayrim sharoitlarda qayta ishlatish va uzluksiz ishlab chiqarish tizimlarini tashkil etish imkonini beradi. β-galaktozidazani immobilizatsiyalashda turli polimer materiallar, gellar, membranalar va boshqa tashuvchilar qo‘llanilishi mumkin. Bunda tashuvchining oziq-ovqat bilan ishlashga yaroqliligi, ferment faolligini saqlashi, mexanik va kimyoviy barqarorligi muhim hisoblanadi. 2024-yilda chop etilgan tadqiqotlardan birida β-galaktozidazani 3D-bosma tashuvchilarga biriktirish va uzluksiz oqimli reaktorda qo‘llash imkoniyatlari o‘rganilgan. Tadqiqotda ishlab chiqilgan tizimda yuqori darajadagi laktoza gidroliziga erishish mumkinligi ko‘rsatilgan. Bu fermentativ jarayonlarni avtomatlashtirish va fermentdan qayta foydalanish bo‘yicha istiqbolli yondashuv hisoblanadi [5]. Biroq immobilizatsiya har doim ham ferment faolligini oshirmaydi. Ba’zi hollarda tashuvchi material fermentning faol markaziga substrat yetib borishini cheklashi yoki fermentning boshlang‘ich faolligini pasaytirishi mumkin. Shu sababli har bir tizim alohida optimallashtirilishi lozim.

6. MUHOKAMA

Aminokislotalar rasemizatsiyasi va laktozasiz sut olish jarayonlari fermentativ biotexnologiyaning turli yo‘nalishlarini ifodalaydi. Birinchi jarayonda aminokislotalarning fazoviy konfiguratsiyasi o‘zgaradi, ikkinchi jarayonda esa murakkab uglevod fermentativ gidroliz orqali oddiy monosaxaridlarga parchalanadi. Aminokislotalar rasemizatsiyasida asosiy vazifani rasemaza fermentlari bajaradi. Ular biologik tizimlarda L- va D-aminokislotalar o‘rtasidagi o‘zaro aylanishni ta’minlaydi. Bu jarayon mikroorganizmlarning hujayra devori sintezi va ayrim metabolik reaksiyalari uchun zarurdir.

Laktozasiz sut ishlab chiqarishda esa β-galaktozidaza fermenti muhim ahamiyatga ega. U laktozani glyukoza va galaktozaga parchalab, mahsulotdagi laktoza miqdorini kamaytiradi. Natijada laktozani hazm qilishda qiyinchilikka duch keladigan iste’molchilar uchun sut mahsulotlarining muqobil turi yaratiladi. Ushbu ikki jarayonni taqqoslash quyidagi ilmiy xulosalarni chiqarish imkonini beradi:

Birinchidan, fermentlarning spetsifikligi biotexnologik jarayonning samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Rasemazalar aminokislotalarning

stereokimyoviy konfiguratsiyasiga ta’sir ko‘rsatsa, β-galaktozidaza muayyan glikozid bog‘ini gidrolizlaydi.

Ikkinchidan, fermentlarning faolligi tashqi muhit sharoitlariga bog‘liq. Harorat, pH, substrat miqdori va ferment konsentratsiyasini to‘g‘ri tanlash reaksiyaning samaradorligiga bevosita ta’sir qiladi.

Uchinchidan, fermentlarni immobilizatsiyalash va bioreaktor texnologiyalarini rivojlantirish oziq-ovqat sanoatida ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirish, fermentlardan samarali foydalanish va jarayonlarni avtomatlashtirishga xizmat qilishi mumkin.

To‘rtinchidan, laktozasiz sut ishlab chiqarishda mahsulotning faqat laktoza miqdorini kamaytirish yetarli emas. Uning mikrobiologik xavfsizligi, ta’mi, saqlanish muddati, oziqaviy tarkibi va sifat ko‘rsatkichlari ham nazorat qilinishi lozim.

Umuman olganda, fermentativ biotexnologiya molekulyar darajadagi reaksiyalarni boshqarish orqali tibbiyot, farmatsevtika, oziq-ovqat sanoati va mikrobiologiyada keng imkoniyatlar yaratadi.

8. XULOSA

Aminokislotalar rasemizatsiyasi va laktozasiz sut ishlab chiqarish fermentativ biotexnologiyaning ilmiy va amaliy jihatdan muhim yo‘nalishlari hisoblanadi. Aminokislotalar rasemizatsiyasi L- va D-konfiguratsiyali shakllar o‘rtasidagi stereokimyoviy o‘zgarish bo‘lib, rasemaza fermentlari yordamida amalga oshadi. Ushbu jarayon bakteriyalarning hujayra devori sintezi va boshqa biologik jarayonlarda muhim ahamiyatga ega. Laktozasiz sut ishlab chiqarish esa β-galaktozidaza fermentining laktozaga ta’siri natijasida glyukoza va galaktoza hosil bo‘lishiga asoslanadi. Mazkur texnologiya laktozani hazm qilishda qiyinchilikka duch keladigan insonlar uchun sut mahsulotlaridan foydalanish imkoniyatini kengaytiradi.

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, fermentativ jarayonlarning samaradorligi fermentning tabiati, substrat xususiyatlari va texnologik sharoitlarga bog‘liq. Fermentlarni immobilizatsiyalash, bioreaktorlarni takomillashtirish va fermentlar muhandisligi zamonaviy biotexnologiyaning istiqbolli yo‘nalishlari hisoblanadi. Shunday qilib, aminokislotalar rasemizatsiyasi fundamental biokimyoviy jarayon sifatida, laktozasiz sut ishlab chiqarish esa amaliy oziq-ovqat biotexnologiyasi

namunasi sifatida katta ilmiy ahamiyatga ega. Ularni o‘rganish fermentlarning biologik vazifalarini chuqurroq tushunish va yangi texnologik yechimlarni ishlab chiqishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Yoshimura T., Esaki N. Amino acid racemases: functions and mechanisms. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2003;96(2):103–109. https://doi.org/10.1016/S1389-1723(03)90111-3
2. Fischer C., Ahn Y.C., Vederas J.C. Catalytic mechanism and properties of pyridoxal 5′-phosphate independent racemases: how enzymes alter mismatched acidity and basicity. *Natural Product Reports*. 2019;36(12):1687–1705. https://doi.org/10.1039/C9NP00017H
3. Kalathinathan P., Sain A., Pulicherla K., Muthukaliannan G.K. A review on the various sources of β-galactosidase and its lactose hydrolysis property. *Current Microbiology*. 2023;80:122. https://doi.org/10.1007/s00284-023-03220-4
4. Dekker P.J.T., Koenders D., Bruins M.J. Lactose-free dairy products: Market developments, production, nutrition and health benefits. *Nutrients*. 2019;11(3):551. https://doi.org/10.3390/nu11030551
5. Shao Y., Gan N., Gao B., He B. Sustainable 3D-printed β-galactosidase immobilization coupled with continuous-flow reactor for efficient lactose-free milk production. *Chemical Engineering Journal*. 2024;481:148557. https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.148557
6. Miyamoto T., Homma H. D-Amino acid metabolism in bacteria. *The Journal of Biochemistry*. 2021;170(1):5–13. https://doi.org/10.1093/jb/mvab043
7. Sharp E., D’Cunha N.M., Ranadheera C.S., Vasiljevic T., Panagiotakos D.B., Naumovski N. Effects of lactose-free and low-lactose dairy on symptoms of gastrointestinal health: A systematic review. *International Dairy Journal*. 2021;114:104936. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104936
8. Ruiz-Ramírez S., Jiménez-Flores R. Invited review: Properties of β-galactosidases derived from Lactobacillaceae species and their capacity for galacto-oligosaccharide production. *Journal of Dairy Science*. 2023;106(12):8193–8206. https://doi.org/10.3168/jds.2023-23392
9. Costa J.B., Nascimento L.G.L., Martins E., De Carvalho A.F. Immobilization of the β-galactosidase enzyme by encapsulation in polymeric matrices for

application in the dairy industry. *Journal of Dairy Science*. 2024;107(11):9100–9109. https://doi.org/10.3168/jds.2024-24892

10. Liu P., Chen Y., Ma C., Ouyang J., Zheng Z. β-Galactosidase: A traditional enzyme given multiple roles through protein engineering. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2025;65(7):1306–1325. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2292282