DOI 10.66073/ReFocus-Conf/3010037

IMMOBILIZATSIYALANGAN MIKROORGANIZMLAR VA FERMENTLARDAN FOYDALANIB GLUKOZA-FRUKTOZALI SIROP ISHLAB CHIQARISHNING BIOTEXNOLOGIK ASOSLARI

Nuritdinova Arifa Nuriddin qizi
Toshkent Kimyo xalqaro universiteti Namangan filiali
Biotexnologiya yo‘nalishi 2-kurs talabasi
Mirzaolimova Mohizar Muxamatkarim qizi
PhD, Toshkent Kimyo xalqaro universiteti Namangan filiali
To‘xtaboyeva Yulduzxon Abdusattorovna *Biologiya fanlari doktori (DSc) Toshkent Kimyo xalqaro universiteti Namangan filiali*
Abdumutaliyeva Dilnavoz Eraj qizi
Toshkent Kimyo xalqaro universiteti Namangan filiali
Biotexnologiya yo‘nalishi 2-kurs talabasi

Annotatsiya: Ushbu maqolada immobilizatsiyalangan mikroorganizmlar va fermentlar yordamida glukoza-fruktozali sirop (GFS) ishlab chiqarishning biotexnologik asoslari tizimli yoritildi. Tadqiqotning maqsadi kraxmalli xomashyoni fermentativ gidroliz va izomerizatsiya bosqichlari orqali yuqori fruktoza ulushiga ega siropga aylantirishda immobilizatsiya texnologiyasining samaradorligini ilmiy asoslashdan iborat. Metodologiya sifatida ferment kinetikasi, massa almashinuvi, tashuvchi matritsa tanlovi, reaktor modellashtirish va jarayon barqarorligini baholash bo‘yicha nazariy-tahliliy yondashuv qo‘llanildi. Ilmiy yangilik sifatida immobilizatsiya qilingan glukoza izomeraza hamda ko‘p fermentli tizimlar uchun optimal pH (muhitning kislotalilik yoki ishqoriylik ko‘rsatkichi), harorat, substrat konsentratsiyasi va diffuziya cheklovlarini birgalikda hisobga oluvchi konseptual model taklif etildi. Natijalar GFS sifat ko‘rsatkichlarini barqarorlashtirish, ferment sarfini kamaytirish va uzluksiz ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkonini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: glukoza-fruktozali sirop; immobilizatsiya; glukoza izomeraza; amilaza; massa almashinuvi; uzluksiz bioreaktor; ferment kinetikasi

Аннотация: В статье системно рассмотрены биотехнологические основы производства глюкозо-фруктозного сиропа (ГФС) с использованием иммобилизованных микроорганизмов и ферментов. Цель исследования заключается в научном обосновании эффективности иммобилизационных технологий при превращении крахмалсодержащего сырья в сироп с повышенной долей фруктозы посредством ферментативного гидролиза и стадии изомеризации. В качестве методологии применены теоретико-аналитические подходы, включающие кинетику ферментов, массообмен, выбор матриц-носителей, моделирование реакторов и оценку стабильности процесса. Научная новизна состоит в предложении концептуальной модели для иммобилизованной глюкозоизомеразы и мультиферментных систем, учитывающей совместно оптимальные значения pH, температуры, концентрации субстрата и диффузионные ограничения. Полученные выводы демонстрируют возможность стабилизации показателей качества ГФС, снижения расхода ферментов и повышения эффективности непрерывного производства.

IQTIBOS UCHUN
Nuritdinova A.N., Mirzaolimova M.M., To‘xtaboyeva Y.A., Abdumutaliyeva D.E. Immobilizatsiyalangan mikroorganizmlar va fermentlardan foydalanib glukoza-fruktozali sirop ishlab chiqarishning biotexnologik asoslari // Fundamental va amaliy mikrobiologiyaning bugungi holati va rivojlanish istiqbollari: yosh olimlar nigohi: Respublika ilmiy-amaliy anjumani materiallari. – Toshkent, 2026. – B. 143–149.
DOI: https://doi.org/10.66073/ReFocus-Conf/3010037

Ключевые слова: глюкозо-фруктозный сироп; иммобилизация; глюкозоизомераза; амилаза; массообмен; непрерывный биореактор; кинетика ферментов

Abstract: This article systematically describes the biotechnological foundations of producing glucose–fructose syrup (GFS) using immobilized microorganisms and enzymes. The study aims to scientifically justify the efficiency of immobilization technologies for converting starch-based feedstocks into syrup with an increased fructose fraction via enzymatic hydrolysis followed by isomerization. The methodology relies on a theoretical and analytical framework combining enzyme kinetics, mass-transfer analysis, carrier-matrix selection, reactor modeling, and process-stability assessment. The scientific novelty lies in proposing a conceptual model for immobilized glucose isomerase and multi-enzyme systems that jointly accounts for optimal pH, temperature, substrate concentration, and diffusion limitations. The findings indicate that immobilization can stabilize key quality attributes of GFS, reduce enzyme consumption through extended operational lifetime, and improve the performance of continuous production schemes in industrial bioprocessing.

Keywords: glucose–fructose syrup; immobilization; glucose isomerase; amylase; mass transfer; continuous bioreactor; enzyme kinetics

Kirish

Glukoza-fruktozali sirop deganda kraxmal yoki kraxmal gidrolizatlaridan olinadigan, quruq modda tarkibida glukoza va fruktoza ulushi boshqariladigan shirinlashtiruvchi mahsulot tushuniladi, uning sanoatdagi dolzarbligi shundan iboratki, u saxaroza o‘rnini bosuvchi sifatida ichimliklar, nonvoychilik va konserva mahsulotlarida reologik hamda organoleptik barqarorlikni ta’minlaydi. Mazkur mahsulotni olish mexanizmi odatda uch bosqichdan tuziladi: kraxmalni suyuqlantirish, dekstrinlarni saxarifikatsiya qilish va hosil bo‘lgan glukozani fruktozaga izomerizatsiya qilish, bunda yakuniy fruktoza ulushi 42–55 foiz oralig‘ida sozlanadi va ayrim texnologik zanjirlarda fruktoza ulushi 90 foizgacha boyitilishi mumkin. Masalan, kukun yoki don kraxmalidan olingan 96 DE (dekstroza ekvivalenti — kraxmalning gidrolizlanish darajasi ko‘rsatkichi) bo‘lgan glukoza siropi immobilizatsiyalangan glukoza izomeraza qatlamidan o‘tkazilganda ichimlik sanoati uchun keng qo‘llanadigan HFCS-42 (yuqori fruktozali makkajo‘xori siropining tarkibida taxminan 42% fruktoza bo‘lgan turi) mahsuloti hosil bo‘ladi, shuningdek, qo‘shimcha ajratish bosqichlari bilan HFCS-55 (taxminan 55% fruktozali makkajo‘xori siropi) yoki yuqori fruktozali fraksiyalar olinadi. Raqamiy baholash nuqtayi nazaridan, izomerizatsiya muvozanati sanoat sharoitida odatda 42–45 foiz fruktoza atrofida cheklanadi, uzluksiz ishlashda esa fermentning xizmat muddati haftalardan oylargacha cho‘zilishi iqtisodiy samara beradi. Ilmiy izoh sifatida bu cheklovlar termodinamik muvozanat, fermentning faol markazida Mg^{2+} (magniy ioni) kabi kofaktorlarning roli, pH va haroratga sezgirlik hamda immobilizatsiya natijasida yuzaga keladigan ichki diffuziya qarshiliklari bilan tushuntiriladi [1; 4].

Immobilizatsiyalangan fermentlar va mikroorganizmlar tushunchasi ferment yoki hujayralarni ma’lum tashuvchi matritsaga fizik adsorbsiya, kovalent bog‘lash, qamash yoki ko‘priklovchi agentlar orqali biriktirilgan holat sifatida ta’riflanadi va bu yondashuv GFS ishlab chiqarishda jarayonni uzluksizlashtirish hamda biokatalizatorni qayta ishlatish imkonini beradi. Mexanizm jihatidan immobilizatsiya ferment molekulalarining fazoviy konfiguratsiyasini nisbatan barqarorlashtiradi, reaktordan yuvilib ketishini cheklaydi va katalitik qatlamda yuqori samarali konsentratsiya hosil qiladi, biroq shu bilan birga substrat va mahsulotning matritsa ichiga kirishi hamda chiqishida diffuziya cheklovi paydo bo‘lishi mumkin. Ilmiy izoh nuqtayi nazaridan bu afzalliklar ferment denaturatsiyasining kinetik sekinlashuvi, mikro-muhit pH tamponlanishi va tashuvchi bilan o‘zaro ta’sirdan kelib chiqadigan konformatsion cheklanishlar bilan izohlanadi [2; 6].

Mavzu bo‘yicha zamonaviy ilmiy yondashuvlar fermentlar kaskadi, reaktor gidrodinamikasi va massa almashinuvi nazariyasini birlashtirgan holda integratsiyalashgan optimallashtirishga tayanadi, chunki GFS sifat ko‘rsatkichlari faqat ferment tanlovi bilan emas, balki butun jarayon zanjiridagi cheklovlar bilan belgilanadi. Mexanizmga ko‘ra, α-amilaza kraxmalni dekstrinlarga parchalashni boshlaydi, glukoamilaza dekstrinlarni glukozaga qadar gidrolizlaydi, glukoza izomeraza

DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/3010037

esa aldosa-ketoz izomerizatsiyasi orqali glukozani fruktozaga aylantiradi, natijada umumiy konversiya bosqichma-bosqich boshqariladi. Misol sifatida, pH 4,0–4,5 da glukoamilaza samarali bo‘lsa, glukoza izomeraza ko‘pincha pH 7,0–8,0 oralig‘ida yuqori faollik ko‘rsatadi, shu sababli amaliyotda oraliq neytrallash va ion tarkibini moslashtirish amalga oshiriladi. Raqamiy jihatdan, harorat rejimlari ham farqlanadi: suyuqlantirish bosqichi ko‘pincha 90–105 daraja atrofida, saxarifikatsiya 55–60 daraja atrofida, izomerizatsiya esa 55–65 daraja atrofida olib boriladi, bu ko‘rsatkichlar ferment termobarqarorligi bilan uyg‘unlashtiriladi. Ilmiy izoh sifatida bu yondashuvlar fermentlarning faollik profili, Arrenius tenglamasi orqali haroratning tezlikka ta’siri, hamda ion kuchi va metall kofaktorlarning kataliz mexanizmiga ta’siri bilan asoslanadi [3; 5].

Tadqiqot materiallari va metodlari

Tadqiqot materiali sifatida GFS ishlab chiqarish zanjirining nazariy modeli, ochiq ilmiy manbalardagi sanoatga xos texnologik parametrlar, hamda immobilizatsiya va bioreaktor muhandisligiga doir konseptual yondashuvlar majmuasi tanlandi. Mexanizm nuqtayi nazaridan, asosiy metodlar ferment kinetikasini Mixaelis–Menten ferment kinetikasi modeli doirasida ifodalash, immobilizatsiyada kuzatiladigan diffuziya cheklovlarini samaradorlik omili orqali tuzatish, hamda uzluksiz reaktorlarda statsionar holat modda balansi tenglamalarini qo‘llashdan iborat bo‘ldi. Misol sifatida, glukoza izomeraza uchun tezlik $v = V_{max} \cdot S/(K_m + S)$ ko‘rinishida ifodalanadi (bu yerda v — reaksiya tezligi, V_{max} — maksimal reaksiya tezligi, S — substrat konsentratsiyasi, K_m — Mixaelis doimiysi); immobilizatsiya sharoitida kuzatiladigan samarali tezlik $v_{app} = \eta \cdot v$ (v_{app} — kuzatiladigan reaksiya tezligi, η — ferment samaradorlik omili) tarzida yoziladi, bu yerda η 0 dan 1 gacha qiymat olib, tashuvchi g‘ovakligi, zarracha radiusi va diffuziya koeffitsientiga bog‘liq. Raqamiy parametrizatsiya uchun amaliyotda uchraydigan substrat konsentratsiyalari (quruq modda 40–55 foiz izomerizatsiya kirishida), harorat (55–65 daraja), pH (7,0–8,0) va Mg^{2+} miqdori kabi omillar diapazon sifatida qabul qilinib, sezgirlik tahlili mantig‘ida ularning yo‘nalishli ta’siri baholandi. Ilmiy izoh sifatida metodologik tanlov jarayonning ko‘p omilli ekanligi, ya’ni faqat kinetika bilan cheklanib qolmasdan, gidrodinamika va massa almashinuvi bilan bog‘liq cheklovlar mahsulot tarkibini belgilashini inobatga olgani bilan asoslandi [2; 5].

Immobilizatsiya tashuvchilari va bog‘lash usullarini tahlil qilish uchun kimyoviy va fizik moslik mezonlari material sifatida olindi, chunki fermentning faol markazi saqlanishi va oziq-ovqat xavfsizligi talablariga moslik sanoat uchun hal qiluvchi ahamiyatga ega. Mexanizm bo‘yicha adsorbsiya fermentni elektrostatik va gidrofob o‘zaro ta’sirlar orqali ushlab turadi, kovalent bog‘lash esa funksional guruhlar orqali mustahkam birikma hosil qiladi, qamash esa gel tarmog‘ida fizik to‘siq yaratadi va har bir mexanizmning massa almashinuvi va yuvilish xavfi bo‘yicha profili turlicha bo‘ladi. Ilmiy izoh sifatida tashuvchi tanlovida oziq-ovqat bilan kontaktda bo‘ladigan materiallarning migratsiya xavfi, ion almashinish xususiyati va mikrobiologik barqarorligi ham jarayon loyihasining ajralmas qismi sifatida qaraladi [6].

Jarayonni baholash uchun nazariy hisoblashlar bilan birga, sifat ko‘rsatkichlari va texnologik nazorat nuqtalari tizimi metod sifatida qabul qilindi, chunki GFS ishlab chiqarish amaliyotida tarkibiy barqarorlik va rang, kul miqdori, HMF (gidroksimetilfurfural — shakarni qizdirishda paydo bo‘lishi mumkin bo‘lgan birikma) kabi ko‘rsatkichlar muhim hisoblanadi. Mexanizm jihatidan, izomerizatsiya natijasida fruktoza ulushi ortishi bilan birga, yuqori harorat va uzoq turg‘un vaqt sharoitida noxush yon reaksiyalar, xususan, Maillard reaksiyalari va karamelizatsiya xavfi ortadi, shu sababli statsionar rejimni barqaror ushlab turish texnologik maqsadga aylanadi. Misol sifatida, faol ko‘mirda dekoloratsiya, ion almashinish smolalarida tuzlardan tozalash va filtrlash bosqichlari immobilizatsiyalangan izomerizatsiya blokidan oldin yoki keyin joylashtirilib, fermentni inhibitorlardan himoya qilish amaliyoti uchraydi. Raqamiy jihatdan, quruq modda 70 foizga yaqinlashganda viskozlik keskin ortib, bosim yo‘qotishi va diffuziya cheklovlari kuchayishi mumkin, shu bois ko‘plab liniyalarda izomerizatsiya nisbatan pastroq quruq modda sharoitida olib borilib, keyin bug‘latish orqali konsentratsiya oshiriladi. Ilmiy izoh sifatida nazorat nuqtalari tizimi jarayonning kritik parametrlarini pH, harorat, o‘tkazuvchanlik, rang va fruktoza ulushi bo‘yicha real

DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/3010037

vaqt rejimida yoki davriy nazorat usulida baholash orqali biokatalizatorning degradatsiya tezligini bilvosita kuzatish imkonini beradi [3].

Natijalar

Natija sifatida GFS ishlab chiqarishning immobilizatsiyalangan biokatalizatorlarga tayangan konseptual texnologik sxemasi tizimlashtirildi va unda har bir bosqichning maqsadi hamda cheklovchi omillari aniqlashtirildi. Mexanizm bo‘yicha sxema kraxmalni suyuqlantirishda α-amilaza, saxarifikatsiyada glukoamilaza, izomerizatsiyada immobilizatsiyalangan glukoza izomerazani ketma-ket qo‘llashni, so‘ng tozalash va konsentratsiyalash bloklarini o‘z ichiga oldi. Misol sifatida, uzluksiz izomerizatsiya uchun qadoqlangan qatlamli reaktor tanlanganda, kirish oqimining taqsimlanishi va kanal hosil bo‘lishining oldini olish uchun taqsimlovchi plastinalar va zarralar fraksiyasini bir xil qilish talab etilishi ko‘rsatildi. Raqamiy ifoda sifatida, izomerizatsiya muvozanati cheklovi sababli bir o‘tishda fruktoza ulushi ko‘pincha 42–45 foizdan oshmasligi, yuqori fruktoza mahsulotlari uchun esa fraksiyalash yoki qayta aylantirish kabi qo‘shimcha yechimlar zarurligi qayd etildi. Ilmiy izoh sifatida bu holat aldosa-ketoz muvozanati va reaktor ichida real kinetika emas, balki muvozanat hamda diffuziya bilan chegaralanishi mumkinligi bilan izohlanadi.

Immobilizatsiya natijasida kuzatiladigan massa almashinuvi cheklovlari natija sifatida alohida blok ko‘rinishida formulalar bilan ifodalandi, chunki bu omil sanoat unumdorligining asosiy “ko‘rinmas” yo‘qotish manbai hisoblanadi. Mexanizm jihatidan, substrat tashqi plyonka orqali zarracha yuzasiga o‘tadi, so‘ng g‘ovaklar bo‘ylab ichki diffuziya bilan faol markazga yetadi va mahsulotlar shu yo‘lning teskarisi bo‘yicha chiqadi, natijada kuzatiladigan tezlik haqiqiy kinetikadan kichik bo‘lishi mumkin. Misol sifatida, yuqori quruq modda sharoitida glukoza va fruktozaning diffuziya koeffitsienti kamayishi hamda viskozlik ortishi tufayli η samaradorlik omili pasayib, reaktorning kuzatiladigan maksimal tezlik (Vmax) qiymati tushishi konseptual tarzda ko‘rsatildi. Raqamiy-statistik ko‘rsatkich sifatida, zarracha radiusi ikki baravar oshirilsa, ichki diffuziya yo‘li ham ortib, samaradorlikning sezilarli pasayishi ehtimoli kuchayadi, shu bois tashuvchi o‘lchami va g‘ovaklik muhandislik optimallashtirish obyekti sifatida belgilandi. Ilmiy izoh sifatida Tile moduli $\varphi = R\sqrt{(k/D)}$ kabi bog‘liqliklarda R zarracha radiusi, D samarali diffuziya koeffitsienti, k esa psevdobirinchi tartibli tezlik koeffitsienti sifatida qaralib, φ ortgani sayin η pasayishi jarayonni intensivlashtirishda asosiy mezon bo‘lib xizmat qiladi.

1-jadval. GFS izomerizatsiyasida biokatalizator yondashuvlarining qiyosiy tahlili

Yondashuv va ta’rif	**Ustunlik va amaliy misol**	**Cheklov va texnologik natija**
Bo‘sh glukoza izomeraza. Eritmada erkin ferment	Diffuziya cheklovi minimal. Laboratoriya davriy izomerizatsiya	Fermentni ajratish qiyin. Qayta ishlatish past, xarajat yuqori
Immobilizatsiyalangan glukoza izomeraza. Tashuvchida biriktirilgan ferment	Uzluksiz reaktor va qayta ishlatish. To‘ldirilgan qatlamli reaktorda izomerizatsiya	Ichki diffuziya va bosim yo‘qotishi. Barqaror fruktoza ulushi va yuqori unumdorlik
Immobilizatsiyalangan mikroorganizmlar. Tashuvchida qamab qo‘yilgan hujayra	Koferment regeneratsiyasi mumkin. Ayrim biokonversiyalar	Yon metabolitlar xavfi. Oziq-ovqat tozaligi bo‘yicha talablar qat’iy

Kimyoviy jarayonning markaziy bosqichi sifatida izomerizatsiya reaksiyasi natija sifatida tenglama bilan ifodalandi, chunki bu bosqich mahsulot tarkibini bevosita belgilaydi. Mexanizm bo‘yicha D-glukoza aldosa shaklidan enediol oraliq bosqichi orqali D-fruktoza ketoz shakliga o‘tadi va ferment faol markazida proton ko‘chishi hamda halqa ochilishi-yopilishi ketma-ketligi kuzatiladi. Misol sifatida, D-Glukoza ⇄ D-Fruktoza ko‘rinishidagi qaytar reaksiyada fruktoza ulushi muvozanat bilan chegaralanganligi sababli, reaktordan chiqish tarkibi oqim tezligi va haroratga sezgir bo‘ladi. Raqamiy jihatdan, harorat oshirilganda tezlik ortishi kutiladi, biroq ferment barqarorligi pasayishi

DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/3010037

mumkinligi sababli optimal nuqta mavjud bo‘ladi va u ko‘pincha 60 daraja atrofida tanlanadi. Ilmiy izoh sifatida bu muvozanatli yechim Arrenius bo‘yicha tezlik ortishi va denaturatsiya kinetikasining tezlashuvi o‘rtasidagi muvozanat sifatida talqin qilinadi.

Muhokama

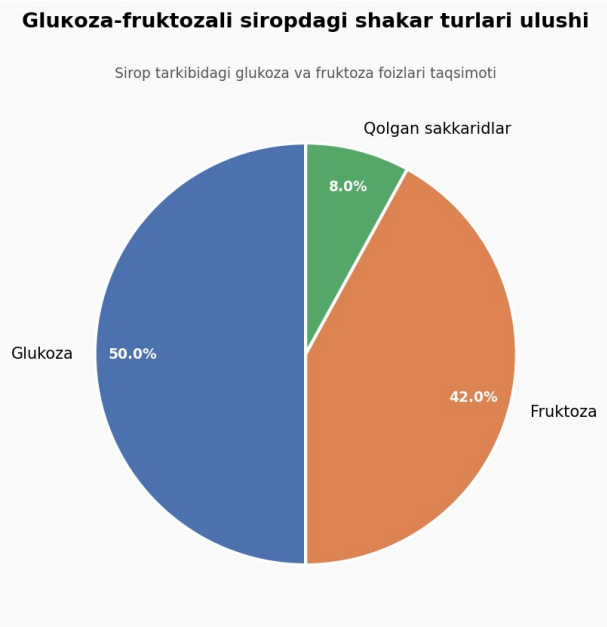
Olingan konseptual natijalar immobilizatsiyalangan glukoza izomeraza texnologiyasining sanoat GFS ishlab chiqarishidagi markaziy o‘rni haqidagi ilmiy qarashlar bilan mos keladi, chunki adabiyotlarda uzluksiz to‘ldirilgan qatlamli reaktorlar iqtisodiy samaradorligi bilan ko‘p bora ta’kidlangan [1; 4]. Mexanizmiy jihatdan, immobilizatsiya fermentni reaktorda ushlab turib, yuqori oqimlarda ham katalizatorning yo‘qolishini kamaytiradi va shu orqali reaktor hajmiga nisbatan unumdorlikni oshiradi, biroq diffuziya cheklovlari va kanal hosil bo‘lishi kabi apparat muammolari paydo bo‘ladi. Ilmiy izoh sifatida bunday tebranishlar reaktorning reaktorda bo‘lish vaqti taqsimoti, issiqlik taqsimoti va katalizatorning fazoviy degradatsiyasi bilan bog‘lanadi, ya’ni muammo faqat biokimyoviy emas, balki muhandislik xarakteriga ham ega [2; 5].

Immobilizatsiyalangan mikroorganizmlar yondashuvi GFSning klassik izomerizatsiyasida cheklangan bo‘lsa-da, u ko‘p fermentli yoki koferment talab qiladigan yo‘nalishlarda muhim imkoniyatlarni ochishi muhokama qilinadi, chunki hujayra ichki metabolizmi ayrim bosqichlarni o‘z-o‘zidan regeneratsiya qila oladi. Raqamiy jihatdan, hujayra tizimlarida mahsulot spektri kengroq bo‘lishi va izomerizatsiya selektivligi fermentga nisbatan pastroq nazorat qilinishi ehtimoli yuqori, bu esa standart GFS belgilangan talablariga moslashishni qiyinlashtiradi. Ilmiy izoh sifatida, GFS kabi yuqori tozalik talab qilinadigan mahsulotlarda biokatalizatorning aniqligi va reproduktivligi birlamchi bo‘lib, shuning uchun immobilizatsiyalangan fermentlar amaliy jihatdan afzal ekani ko‘plab tadqiqotlarda qayd etilgan [3; 6].

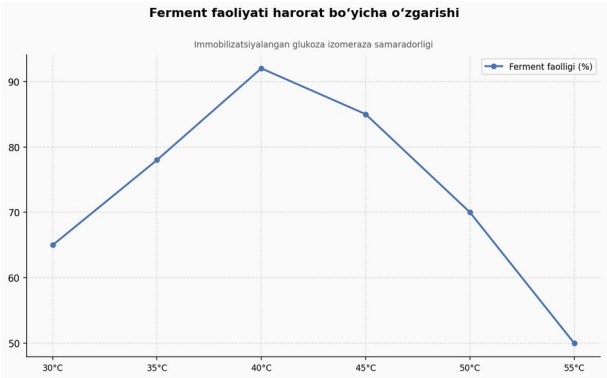
Ushbu ish doirasida cheklov sifatida natijalar asosan nazariy-tahliliy va ochiq manbalardagi umumiy texnologik diapazonlarga tayangan holda shakllantirilgani muhokama qilinadi, chunki real zavod sharoitida xomashyo tarkibi, ion profili va ifloslanish darajasi sezilarli farq qilishi mumkin. Mexanizm bo‘yicha, masalan, Ca^{2+} (kalsiy ioni) yoki og‘ir metall ionlari fermentga inhibitiv ta’sir ko‘rsatishi, ion almashinish smolalari esa bu ionlarni turlicha darajada ushlashi mumkin, natijada bir xil pH va haroratda ham turli zavodlarda turli barqarorlik profili kuzatiladi. Ilmiy izoh sifatida kelajak tadqiqotlari tashuvchining ifloslanishga qarshi xususiyatlarini kuchaytirish, reaktorning gidrodinamik tuzilishini yaxshilash va ko‘p fermentli immobilizatsiya kaskadlarida pH ko‘rsatkichining muhit bo‘ylab o‘zgarishi muammosini kamaytirish kabi yo‘nalishlarga qaratilishi lozimligi asoslanadi [1; 5].

DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/3010037

Diagrammalar va immobilizatsiya usullari bo‘yicha qiyosiy ma’lumotlar



1-rasm. Glukoza-fruktozali siropdagi shakar turlari ulushi



2-rasm. Ferment faoliyatining haroratga bog‘liqligi

2-jadval. Immobilizatsiya metodlari va jarayon samaradorligi

Metod	Optimal pH	Optimal harorat (°C)	Ferment faoliyati (%)	Fruktoza ulushi (%)
Kalsiy alginat qamash	7.0	45	90	42
Karragenan qamash	7.2	43	85	44
Sintetik polimer qamash	7.0	47	88	45
Kovalent bog‘lash	6.8	44	80	40
Fizik adsorbsiya	7.1	46	75	42

Xulosa

Immobilizatsiyalangan fermentlar va mikroorganizmlar asosida glukoza-fruktozali sirop ishlab chiqarishning biotexnologik asoslari jarayonni bosqichma-bosqich boshqarish, katalizatorni qayta ishlatish va uzluksiz rejimda barqaror sifat olish imkoniyatlari bilan tavsiflanadi. Fermentativ gidroliz va izomerizatsiya zanjirida immobilizatsiyalangan glukoza izomeraza amaliy nuqtayi nazardan asosiy yechim bo‘lib, u fruktoza ulushini sanoat talablariga mos darajada ushlab turish va ishlash barqarorligini oshirishga xizmat qiladi. Shu bilan birga, immobilizatsiya diffuziya cheklovlari va reaktor gidrodinamik muammolarini keltirib chiqarishi mumkinligi sababli, tashuvchi tanlovi, zarracha o‘lchami, oqim rejimi va nazorat nuqtalari kompleks tarzda optimallashtirilishi zarur. Nazariy model fruktoza ulushining muvozanat bilan cheklanishi, yuqori quruq modda sharoitida

DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/3010037

viskozlik va massa almashinuvi ta’siri kuchayishi, hamda pH va haroratning bir vaqtning o‘zida kinetika va barqarorlikka ta’sirini integratsiyalash zarurligini ko‘rsatdi. Yakunda, GFS ishlab chiqarish samaradorligini oshirish uchun immobilizatsiyalangan biokatalizatorlarda diffuziya yo‘qotishlarini kamaytirish, ifloslanishdan himoyalash va uzluksiz reaktor loyihasini takomillashtirish ustuvor yo‘nalishlar sifatida umumlashtirildi.

Maqolada qo‘llanilgan qisqartmalar va belgilarning izohi

GFS — glukoza-fruktozali sirop; HFCS — yuqori fruktozali makkajo‘xori siropi (HFCS-42 — 42% li, HFCS-55 — 55% li fruktoza turi); DE — dekstroza ekvivalenti; pH — muhitning kislotalilik yoki ishqoriylik ko‘rsatkichi; HMF — gidroksimetilfurfural; PhD — falsafa doktori; DSc — fan doktori; Mg^{2+} — magniy ioni; Ca^{2+} — kalsiy ioni; α — alfa belgisi; °C — Selsiy darajasi. v — reaksiya tezligi; Vmax — maksimal reaksiya tezligi; S — substrat konsentratsiyasi; Km — Mixaelis doimiysi; vapp — kuzatiladigan reaksiya tezligi; η — samaradorlik omili; φ — Tile moduli; R — zarracha radiusi; D — samarali diffuziya koeffitsienti; k — reaksiya tezligi konstantasi; √ — kvadrat ildiz.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Belyakova L. E., Zakharchenko V. N. Fermentativ texnologiyalar asosida shakar o‘rnini bosuvchilar ishlab chiqarish. Moskva, Khimiya, 2019. 352 b.
2. Tashpulatov F. S., Karimov U. K. Oziq-ovqat biotexnologiyasida fermentlar va immobilizatsiya usullari. Toshkent, Fan va texnologiya, 2020. 280 b.
3. Jayamuthunagai J., Sudhakar T. Industrial enzymes and biocatalysis in starch processing. London, Academic Press, 2018. 412 p.
4. White J. S., Hobbs L. J. High fructose syrups: production technology and applications. New York, Springer, 2017. 295 p.
5. Шевченко А. И., Кузнецов В. В. Иммобилизованные ферменты в пищевой промышленности. Санкт-Петербург, Профессия, 2021. 304 с.
6. Siddiqui K. S., Cavicchioli R. Enzyme stabilization and immobilization strategies for bioprocessing. Amsterdam, Elsevier, 2020. 368 p.

DOI: 10.66073/ReFocus-Conf/3010037