

FERMENTLAR MUHANDISLIGINING NAZARIY-BIOKIMYOVIY VA TEKNOLOGIK ASOSLARI

Sattarov Abdumurod Sattarovich

Biologiya fanlari nomzodi, dotsent

Samijononova Umida Olimjon qizi

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada fermentlar muhandisligining nazariy-biokimyoviy mazmuni, fermentlarning molekulyar tuzilishi, katalitik faolligi, substratga xosligi, kinetik xususiyatlari, immobilizatsiyasi, modifikatsiyasi hamda sanoat texnologiyalaridagi amaliy qo'llanish imkoniyatlari yoritiladi. Fermentlar muhandisligi zamonaviy biotexnologiyaning strategik yo'nalishlaridan biri bo'lib, tabiiy fermentlarning funksional salohiyatini chuqur o'rganish, ularni ishlab chiqarish sharoitiga moslashtirish va maqsadli biokatalitik tizimlar yaratishga xizmat qiladi. Maqolada ferment-substrat kompleksining shakllanishi, faol markazning katalizdagi roli, muhit omillarining ferment faolligiga ta'siri, ferment produsentlarini tanlash, fermentatsiya, fermentlarni ajratib olish, tozalash, immobilizatsiya qilish va texnologik jarayonlarga joriy etish masalalari tizimli tahlil qilingan. Shuningdek, oziq-ovqat, farmatsevtika, qishloq xo'jaligi, ekologik biotexnologiya va sanoat biokatalizida fermentlar muhandisligining ahamiyati ko'rsatib berilgan.

Kalit so'zlar: ferment, biokataliz, fermentlar muhandisligi, faol markaz, substrat, fermentatsiya, immobilizatsiya, produsent, biotexnologiya, sanoat biokatalizi.

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются теоретико-биохимические и технологические основы инженерии ферментов, включая молекулярную структуру ферментов, каталитическую активность, субстратную специфичность, кинетические свойства, иммобилизацию, модификацию и промышленное применение. Инженерия ферментов анализируется как важное направление современной биотехнологии, направленное на создание эффективных, устойчивых и экологически безопасных биокаталитических систем. Особое внимание уделено выбору продуцентов, ферментационным процессам, очистке, стабилизации и

применению ферментов в пищевой, фармацевтической, аграрной и экологической сферах.

Ключевые слова: фермент, биокатализ, инженерия ферментов, активный центр, субстрат, иммобилизация, ферментация, продуцент, биотехнология.

ABSTRACT

This article examines the theoretical, biochemical and technological foundations of enzyme engineering, including enzyme structure, catalytic activity, substrate specificity, kinetic properties, immobilization, modification and industrial application. Enzyme engineering is considered as one of the key branches of modern biotechnology aimed at creating efficient, stable and environmentally safe biocatalytic systems. Particular attention is paid to producer selection, fermentation, purification, stabilization and application of enzymes in food, pharmaceutical, agricultural and environmental biotechnology.

Keywords: enzyme, biocatalysis, enzyme engineering, active center, substrate, immobilization, fermentation, producer, biotechnology.

KIRISH

Zamonaviy biotexnologiya tirik tizimlar, hujayralar, mikroorganizmlar, biologik faol moddalar va fermentlardan foydalanish orqali iqtisodiyotning turli tarmoqlari uchun zarur mahsulotlar ishlab chiqarishga asoslanadi. Ushbu tizimda fermentlar alohida o'rin egallaydi, chunki ular tirik organizmlarda kechadigan modda almashinuvi, energiya almashinuvi, biosintez, parchalanish, signal uzatish va regulyatsiya jarayonlarining bevosita katalizatorlari hisoblanadi. Fermentlarning yuqori selektivligi, yumshoq sharoitda ishlashi, biologik mosligi va ekologik xavfsizligi ularni sanoat texnologiyalari uchun nihoyatda muhim biokatalizatorga aylantiradi.

Fermentlar muhandisligi fermentlarning tabiiy xossalarini o'rganish bilan cheklanmaydigan, balki ularni amaliy ehtiyojga mos ravishda o'zgartirish, barqarorlashtirish, ishlab chiqarish jarayonlariga integratsiya qilish va yangi avlod biokatalitik tizimlar yaratishga yo'naltirilgan ilmiy-texnologik sohadir. Bu soha biokimyo, mikrobiologiya, molekulyar biologiya, gen muhandisligi, fizik-kimyo, bioinformatika va texnologik jarayonlar muhandisligi kesishgan nuqtada shakllangan. Shuning uchun fermentlar muhandisligi oddiy laboratoriya tajribasi emas, balki nazariy bilim, molekulyar dizayn, texnologik hisob, iqtisodiy baholash va sifat nazoratini birlashtiruvchi kompleks yo'nalishdir.

Tabiiy fermentlar odatda tirik hujayra ichida yoki organizmning fiziologik muhitida optimal ishlaydi. Sanoat sharoitida esa fermentlar yuqori harorat, keskin pH, organik erituvchilar, metall ionlari, mexanik aralashtirish, bosim, oksidlovchi moddalar yoki inhibitorlar ta'siriga duch keladi. Bunday sharoit fermentning fazoviy tuzilishini buzishi, faol markazini deformatsiyalashi va katalitik faollikni kamaytirishi mumkin. Shu sababli fermentni oddiy ajratib olish va qo'llash ko'p hollarda yetarli bo'lmaydi; uni muayyan texnologik sharoitga moslashtirish talab etiladi.

O'zbekiston sharoitida fermentlar muhandisligi oziq-ovqat sanoati, farmatsevtika, qishloq xo'jaligi, chorvachilik, ekologik tozalash, mahalliy xomashyoni qayta ishlash va import o'rnini bosuvchi biotexnologik mahsulotlar ishlab chiqarish uchun katta istiqbolga ega. Biroq ushbu sohaning rivoji uchun faqat umumiy nazariy tushuncha emas, balki fermentlarning molekulyar xususiyatlarini chuqur bilish, mahalliy produsent shtammlarni tanlash, fermentatsiya sharoitlarini optimallashtirish, immobilizatsiya texnologiyalarini joriy etish va sifatni standartlashtirish zarur. Maqolaning dolzarbligi ham aynan shu ilmiy-amaliy ehtiyoj bilan belgilanadi.

Maqolaning maqsadi fermentlar muhandisligining nazariy-biokimyoviy va texnologik asoslarini tizimli tahlil qilish, fermentlarning amaliy qo'llanish sohalarini yoritish hamda mazkur yo'nalishning mahalliy biotexnologiya uchun istiqbollarni asoslashdan iborat. Ushbu maqsadga erishishda fermentlarning tuzilishi, katalitik mexanizmi, faollik omillari, produsent mikroorganizmlar, fermentatsiya, ajratish, tozalash, immobilizatsiya, genetik modifikatsiya va sanoat qo'llanishi o'zaro bog'liq jarayon sifatida ko'rib chiqiladi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Maqola nazariy-tahliliy xarakterga ega bo'lib, unda mahalliy biokimyo, mikrobiologiya, biotexnologiya, oziq-ovqat mikrobiologiyasi va biologik faol moddalar texnologiyasiga oid o'zbek adabiyotlari asosida ilmiy umumlashtirish, qiyosiy tahlil, tizimli yondashuv va sabab-oqibat bog'liqligini aniqlash metodlaridan foydalanildi. Fermentlar muhandisligi alohida molekulyar hodisa sifatida emas, balki fermentning tuzilishi, produsent organizm, fermentatsion muhit, texnologik apparat, mahsulot sifati va iqtisodiy samaradorlikni birlashtiruvchi yaxlit tizim sifatida baholandi.

Tahlilda fermentlarning biokimyoviy tabiati, katalitik faolligi, substratga xosligi, ferment-substrat kompleksining shakllanishi, faol markazning strukturaviy-funksional roli, pH va harorat ta'siri, inhibitorlar va aktivatorlar ishtiroki, fermentlarni sanoat sharoitida barqarorlashtirish, immobilizatsiyalash va modifikatsiyalash usullari asosiy

mezon sifatida olindi. Shuningdek, fermentlar ishlab chiqarishning bosqichlari — produsent tanlash, seleksiya, oziqa muhitini tayyorlash, fermentatsiya, ajratish, tozalash, quritish, formulalash va sifat nazorati o‘zaro mantiqiy ketma-ketlikda ko‘rib chiqildi.

Tadqiqotning manba bazasi faqat mahalliy va o‘zbek tilidagi adabiyotlar bilan cheklangan. Bunday yondashuv maqolaning xalqaro ilmiy maydondagi qamrovini ma’lum darajada toraytirishi mumkin, ammo mahalliy jurnal talablari va O‘zbekiston ilmiy maktabi doirasida mavzuni izchil yoritish imkonini beradi. Xalqaro jurnal talablarida odatda so‘nggi yillardagi xorijiy ilmiy maqolalar bilan taqqosiy tahlil talab qilinadi. Shunga qaramay, ushbu ishda manbalar tanlovi berilgan talabga mos ravishda faqat o‘zbek adabiyotlari asosida shakllantirildi.

FERMENTLARNING BIOKIMYOVIY TABIATI

Fermentlar oqsil tabiatli biologik katalizatorlar bo‘lib, ular kimyoviy reaksiyalarning aktivlanish energiyasini pasaytirish orqali reaksiyani tezlashtiradi. Fermentning eng muhim xususiyati shundaki, u reaksiya davomida sarflanib ketmaydi va mahsulot hosil bo‘lgandan so‘ng qayta katalitik siklga kirishi mumkin. Fermentlar oddiy kimyoviy katalizatorlardan yuqori substrat xosligi, stereoselektivligi, yumshoq muhitda ishlashi va biologik mosligi bilan ajralib turadi. Shu jihatlar ularni sanoat biotexnologiyasida ekologik xavfsiz texnologiyalar yaratish uchun qulay vositaga aylantiradi.

Ferment molekulasining katalitik xususiyati uning uchlamchi va ayrim hollarda to‘rtlamchi tuzilishiga bog‘liq. Oqsil zanjiridagi aminokislotalar ma’lum fazoviy konfiguratsiyada joylashganda faol markaz hosil bo‘ladi. Faol markaz substratni tanib olish, bog‘lash va kimyoviy o‘zgarishga uchratish vazifasini bajaradi. Agar fermentning fazoviy tuzilishi buzilsa, uning birlamchi aminokislota ketma-ketligi saqlanib qolgan bo‘lsa ham, katalitik faollik yo‘qolishi mumkin. Bu holat fermentlar muhandisligida strukturaviy barqarorlik masalasini birinchi darajali muammoga aylantiradi.

Ko‘plab fermentlar murakkab tuzilishga ega bo‘lib, ularning faolligi uchun oqsil qismdan tashqari kofaktorlar, kofermentlar yoki metall ionlari talab etiladi. Apoferment oqsil qismni, koferment esa katalitik jarayonda ishtirok etuvchi oqsil bo‘lmagan komponentni anglatadi. Ayrim fermentlarda metall ionlari faol markazning muhim elementi sifatida substratni bog‘lash yoki elektron almashinuvida qatnashadi. Demak, ferment faolligini oshirish uchun faqat oqsil molekulasini emas, balki uning kofaktorlari, muhit ion tarkibi va yordamchi komponentlarini ham hisobga olish kerak.

Ferment-substrat kompleksi fermentativ katalizning markaziy bosqichi hisoblanadi. Substrat fermentning faol markaziga geometrik va kimyoviy moslik asosida bogʻlanadi. Bu bogʻlanish vodorod bogʻlari, elektrostatik tortishuv, gidrofob oʻzaro taʼsirlar, Van-der-Vaals kuchlari yoki vaqtinchalik kovalent komplekslar orqali amalga oshishi mumkin. Substrat bogʻlangach, uning reaktiv guruhlari optimal holatga keltiriladi va mahsulot hosil boʻlishi osonlashadi. Fermentlar muhandisligi aynan shu jarayonni boshqarishga, yaʼni substrat bogʻlanish kuchi, katalitik tezlik va mahsulot selektivligini oʻzgartirishga intiladi.

Fermentlarning substratga xosligi ularning asosiy ustunligi boʻlsa-da, baʼzi texnologik vaziyatlarda cheklov ham boʻlishi mumkin. Juda tor xoslik fermentni faqat bitta substrat uchun yaroqli qiladi, keng xoslik esa ayrim hollarda yon mahsulotlar hosil boʻlishiga olib keladi. Shuning uchun fermentlar muhandisligi uchun optimal vazifa mutlaq xoslikni emas, balki texnologik maqsadga mos boshqariladigan xoslikni taʼminlashdan iborat.

FERMENT KINETIKASI VA FAOLLIK OMILLARI

Fermentativ reaksiyalar kinetikasi fermentlar muhandisligining nazariy asoslaridan biridir. Reaksiya tezligi ferment konsentratsiyasi, substrat miqdori, harorat, pH, ion kuchi, inhibitorlar, aktivatorlar va mahsulot konsentratsiyasiga bogʻliq. Substrat konsentratsiyasi ortishi bilan reaksiya tezligi dastlab oshadi, chunki faol markazlar substrat bilan tobora koʻproq band boʻladi. Biroq barcha faol markazlar toʻyingach, reaksiya maksimal tezlikka yaqinlashadi. Bu holat ishlab chiqarishda substrat sarfini hisoblash, ferment miqdorini belgilash va reaktor samaradorligini baholash uchun muhimdir.

Harorat ferment faolligiga ikki tomonlama taʼsir qiladi. Maʼlum diapazonda harorat ortishi molekulalarning kinetik energiyasini oshirib, reaksiya tezligini kuchaytiradi. Ammo optimal nuqtadan keyin fermentning fazoviy tuzilishi buziladi va denaturatsiya boshlanadi. Sanoatda qoʻllaniladigan fermentlar uchun termobarqarorlik juda muhim, chunki yuqori haroratda ishlash mikrobial ifloslanish xavfini kamaytiradi, substrat eruvchanligini oshiradi va jarayon tezligini kuchaytiradi. Shu bilan birga, haddan tashqari yuqori harorat ferment preparatini tez yaroqsiz holga keltirishi mumkin.

pH koʻrsatkichi fermentning faol markazidagi aminokislota qoldiqlarining ionlanish holatini belgilaydi. Har bir ferment uchun optimal pH oraligʻi mavjud. Muhit kislotali yoki ishqoriy tomonga keskin oʻzgarsa, substrat bogʻlanishi, katalitik guruhlarning protonlanish darajasi va ferment konformatsiyasi buziladi. Masalan, oziq-ovqat texnologiyasida ishlatiladigan fermentlar koʻpincha kislotali muhitga chidamli boʻlishi

kerak, yuvish vositalari sanoatida esa ishqoriy muhitda barqaror proteaza va lipazalar talab etiladi.

Inhibitorlar ferment faolligini pasaytiruvchi moddalardir. Raqobatli inhibitor substrat bilan faol markaz uchun raqobatlashadi, raqobatsiz inhibitor esa fermentning boshqa qismiga bog'lanib, uning konformatsiyasini o'zgartiradi. Aktivatorlar esa ferment faolligini oshiradi yoki faol konformatsiyani barqarorlashtiradi. Ushbu hodisalar fermentativ jarayonlarni boshqarish uchun muhim: ayrim reaksiyalarda inhibitorlarni yo'qotish zarur bo'lsa, boshqa holatlarda ferment faolligini ortiqcha kuchaytirmaslik uchun regulyatsiya kerak bo'ladi.

Ferment kinetikasini noto'g'ri baholash ishlab chiqarishda jiddiy xatolarga olib keladi. Ferment miqdorini ortiqcha qo'llash tannarxni oshiradi, yetarli qo'llamaslik esa substratning to'liq parchalanmasligi va mahsulot sifatining pasayishiga sabab bo'ladi. Shuning uchun fermentlar muhandisligida kinetik parametrlarni aniqlash faqat nazariy ahamiyatga ega emas, balki texnologik reglament tuzishning majburiy bosqichidir.

FERMENTLAR MUHANDISLIGINING ASOSIY YO'NALISHLARI

Fermentlar muhandisligi bir nechta asosiy yo'nalishlardan iborat. Birinchi yo'nalish tabiiy fermentlarni izlash, ajratish va baholashdir. Tabiiy muhitlardan, ayniqsa mikroorganizmlardan, turli substratlarga ta'sir qiluvchi fermentlarni topish ferment muhandisligining boshlang'ich bosqichi hisoblanadi. Mikroorganizmlar tez ko'payishi, arzon oziqa muhitlarida o'sishi, genetik jihatdan oson o'zgartirilishi va ko'p miqdorda ferment sintez qilishi tufayli asosiy produsent sifatida qadrlanadi.

Ikkinchi yo'nalish fermentlarni kimyoviy yoki fizik modifikatsiyalashdir. Bunda ferment molekulasiga himoya guruhleri biriktirilishi, uning yuzasidagi funksional guruhlar o'zgartirilishi yoki stabilizatorlar bilan kompleks hosil qilinishi mumkin. Maqsad fermentning barqarorligini oshirish, denaturatsiyaga chidamliligini kuchaytirish yoki ma'lum muhitda uzoq muddat ishlashini ta'minlashdir.

Uchinchi yo'nalish immobilizatsiyalangan fermentlar yaratishdir. Immobilizatsiya fermentni tashuvchi materialga bog'lash, gel ichiga joylashtirish, kapsulalash yoki membrana tizimida ushlab turish orqali amalga oshiriladi. Bunday fermentlar qayta ishlatiladi, reaksiya muhitidan oson ajratiladi va uzluksiz jarayonlarda qo'llashga mos bo'ladi. Immobilizatsiya ishlab chiqarish tannarxini pasaytirish va mahsulotni tozalashni soddalashtirish imkonini beradi.

To'rtinchi yo'nalish genetik va molekulyar modifikatsiyadir. Fermentni kodlovchi genni o'zgartirish orqali aminokislota ketma-ketligi, faol markaz geometriyasi yoki

strukturaviy barqarorlik boshqarilishi mumkin. Rekombinant DNK texnologiyalari yordamida kerakli ferment geni qulay produsent organizmga kiritiladi va ferment sintezi kuchaytiriladi. Bu yoʻnalish yuqori mahsuldorlikka ega shtammlar yaratish uchun juda muhim.

Beshinchi yoʻnalish fermentativ jarayonlarni texnologik loyihalashdir. Bu bosqichda ferment xossalari, substrat tarkibi, reaktor turi, harorat, pH, aeratsiya, aralashtirish, mahsulotni ajratish va sifat nazorati yagona tizim sifatida hisobga olinadi. Bitta kuchli fermentning mavjudligi texnologiyaning muvaffaqiyatini kafolatlamaydi; fermentning real ishlab chiqarish sharoitida barqaror va iqtisodiy samarali ishlashi hal qiluvchi omildir.

1-jadval. Fermentlar muhandisligining asosiy yoʻnalishlari

Yoʻnalish	Mazmuni	Asosiy maqsad	Amaliy natija
Tabiiy fermentlarni tanlash	Mikroorganizmlar, oʻsimlik va hayvon toʻqimalaridan ferment manbalarini aniqlash	Yuqori faollikka ega biokatalizator topish	Mahalliy produsentlar bazasi shakllanadi
Ferment modifikatsiyasi	Kimyoviy, fizik yoki molekulyar oʻzgartirishlar kiritish	Barqarorlik va selektivlikni oshirish	Ishlab chiqarishga mos preparat olinadi
Immobilizatsiya	Fermentni tashuvchi materialga bogʻlash yoki fazoviy cheklash	Qayta ishlatish va uzluksiz jarayon yaratish	Tannarx kamayadi, mahsulot ajratish osonlashadi
Rekombinant texnologiya	Ferment genini qulay produsentga kiritish	Ferment biosintezini kuchaytirish	Yuqori mahsuldor shtamm yaratiladi
Texnologik optimallashtirish	Fermentatsiya, pH, harorat, oziqa muhiti va reaktor rejimini tanlash	Jarayon samaradorligini oshirish	Sifatli va standart mahsulot olinadi

PRODUSENT MIKROORGANIZMLAR VA FERMENTATSIYA TEKNOLOGIYASI

Sanoat fermentlari ishlab chiqarishning markaziy elementi produsent organizmdir. Produsent — kerakli fermentni yetarli miqdorda sintez qiluvchi biologik obyekt bo‘lib, u bakteriya, achitqi, mikroskopik zamburug‘ yoki boshqa mikroorganizm bo‘lishi mumkin. Produsent tanlashda uning ferment hosil qilish quvvati, o‘shish tezligi, oziqa muhitiga talabchanligi, genetik barqarorligi, patogen emasligi, toksin ajratmasligi va sanoat miqyosida boshqarilishi hisobga olinadi.

Mikroorganizmlar ferment ishlab chiqarish uchun eng qulay manba sanaladi. Ular qisqa vaqt ichida ko‘payadi, arzon substratlarda o‘sadi, turli fermentlarni sintez qiladi va seleksiya yoki genetik modifikatsiyaga mos keladi. Biroq har qanday mikroorganizmni sanoat produsenti sifatida ishlatib bo‘lmaydi. Agar shtamm beqaror bo‘lsa, ferment sintezi har partiyada turlicha bo‘ladi. Agar mikroorganizm patogen xususiyatga ega bo‘lsa, oziq-ovqat yoki farmatsevtika sohasida qo‘llash xavf tug‘diradi.

Fermentatsiya ferment ishlab chiqarishning eng muhim texnologik bosqichidir. Bu jarayonda produsent mikroorganizm maxsus oziqa muhitida o‘stiriladi va kerakli fermentni hujayra ichida yoki tashqarisida sintez qiladi. Oziqa muhiti tarkibiga uglerod manbai, azot manbai, mineral tuzlar, vitaminlar, mikroelementlar va zarur hollarda induktor moddalar kiritiladi. Oziqa muhitining tarkibi noto‘g‘ri tanlansa, mikroorganizm yaxshi o‘shishi mumkin, ammo ferment sintezi past bo‘ladi. Demak, biomassa ko‘payishi va ferment biosintezi har doim bir xil ma’no anglatmaydi.

Fermentatsiya suyuq muhitda yoki qattiq substratda olib borilishi mumkin. Suyuq muhitda fermentatsiya boshqarish, sterilizatsiya, aralashtirish va mahsulotni ajratish nuqtai nazaridan qulay. Qattiq substrat fermentatsiyasi esa zamburug‘lar uchun mos bo‘lib, qishloq xo‘jaligi chiqindilari, kepek, poya, po‘stloq va boshqa mahalliy xomashyolarni qayta ishlash imkonini beradi. O‘zbekiston sharoitida qishloq xo‘jaligi chiqindilarining mavjudligi qattiq substrat fermentatsiyasini istiqbolli yo‘nalishga aylantiradi.

Fermentatsiya jarayonida harorat, pH, aeratsiya, aralashtirish tezligi, bosim va steril holat doimiy nazorat qilinishi kerak. Aerob mikroorganizmlar kislorodga muhtoj bo‘ladi, shuning uchun bioreaktorda havo berish va aralashtirish rejimi ferment sinteziga ta’sir qiladi. Anaerob jarayonlarda esa kislorodning kirishi zararli bo‘lishi mumkin. Texnologik monitoring sust bo‘lsa, ferment faolligi pasayadi, begona mikroorganizmlar ko‘payadi yoki mahsulot partiyasi yaroqsiz holga keladi.

Ferment ishlab chiqarishda iqtisodiy mezon ham muhim. Yuqori faol ferment beradigan, lekin qimmat oziqa muhiti talab qiladigan shtamm amaliy ishlab chiqarish uchun har doim ham maqbul emas. Eng yaxshi produsent — faqat eng ko‘p ferment ishlab chiqaradigan emas, balki arzon muhitda barqaror o‘sadigan, xavfsiz, texnologik boshqariladigan va mahsulotni oson ajratishga imkon beradigan shtammdir.

FERMENTLARNI AJRATIB OLISH, TOZALASH VA STANDARTLASHTIRISH

Fermentatsiya yakunlangach, ferment preparatini olish uchun biomassani ajratish, fermentni konsentrlash, tozalash va standartlashtirish talab etiladi. Agar ferment hujayradan tashqariga ajraladigan ekzoferment bo‘lsa, u fermentatsion suyuqlikdan filtratsiya yoki sentrifugalash orqali ajratiladi. Agar ferment hujayra ichida joylashgan endoferment bo‘lsa, avval hujayra devorini parchalash, keyin fermentni ekstraksiya qilish zarur bo‘ladi. Bu bosqichlarda ferment faolligini saqlash asosiy muammo hisoblanadi.

Tozalash darajasi fermentning qo‘llanish sohasiga bog‘liq. Texnik fermentlar uchun to‘liq tozalash shart bo‘lmasligi mumkin, chunki ular sanoat xomashyosini qayta ishlashda ishlatiladi. Oziq-ovqat sanoatida ishlatiladigan ferment preparatlari mikrobiologik xavfsiz, toksik aralashmalardan xoli va belgilangan me‘yorlarga mos bo‘lishi kerak. Farmatsevtik fermentlar esa yuqori darajada tozalangan, sterilligi va biologik xavfsizligi tasdiqlangan bo‘lishi shart.

Fermentlarni ajratib olishda cho‘ktirish, ultrafiltratsiya, dializ, xromatografiya, liofil quritish va boshqa usullar qo‘llaniladi. Har bir usulning samaradorligi fermentning molekulyar massasi, zaryadi, eruvchanligi, barqarorligi va muhit komponentlariga bog‘liq. Masalan, ammoniy sulfat bilan cho‘ktirish nisbatan oddiy va arzon bo‘lsa-da, keyingi bosqichda tuzlarni yo‘qotish talab etiladi. Xromatografik usullar yuqori tozalik beradi, ammo sanoat miqyosida qimmat bo‘lishi mumkin.

Standartlashtirish ferment preparatining real faolligini, namligini, tozalik darajasini, saqlanish muddatini, mikrobiologik ko‘rsatkichlarini va texnologik mosligini belgilashni anglatadi. Ferment preparati faqat nomi bilan emas, balki faollik birligi bilan baholanishi kerak. Chunki bir xil massa turli partiyalarda turli faollikka ega bo‘lishi mumkin. Ishlab chiqarishda bu farq retseptura, mahsulot sifati va iqtisodiy samaradorlikka bevosita ta’sir qiladi.

Ferment preparatini noto‘g‘ri saqlash ham uning faolligini kamaytiradi. Namlik, yuqori harorat, yorug‘lik, oksidlovchi moddalar va mikroorganizmlar fermentni inaktivatsiyaga uchratishi mumkin. Shu sababli ferment preparatlari ko‘pincha quruq

kukun, granulalangan shakl, stabilizatorli eritma yoki immobilizatsiyalangan holatda ishlab chiqariladi.

IMMOBILIZATSIYALANGAN FERMENTLARNING TEKNOLOGIK AHAMIYATI

Immobilizatsiya fermentlar muhandisligining eng amaliy yoʻnalishlaridan biridir. Immobilizatsiyalangan fermentlar erkin fermentlardan farqli ravishda maʼlum tashuvchi materialga biriktirilgan, gel ichida ushlangan, kapsula bilan qoplangan yoki membrana tizimida joylashtirilgan boʻladi. Bunday yondashuv fermentni qayta-qayta ishlatish, reaksiya muhitidan oson ajratish va uzluksiz ishlab chiqarish jarayonlarini tashkil etish imkonini beradi.

Immobilizatsiyaning asosiy usullari adsorbsiya, kovalent bogʻlash, gel ichiga qamash, kapsulalash va membrana bilan cheklashdan iborat. Adsorbsiya oddiy va arzon usul boʻlsa-da, ferment tashuvchidan ajralib ketishi mumkin. Kovalent bogʻlash mustahkamroq, lekin faol markazga yaqin guruhlar oʻzgarsa, faollik pasayishi mumkin. Gel ichiga qamash fermentni himoya qiladi, ammo substrat va mahsulot diffuziyasi sekinlashishi ehtimoli mavjud. Shuning uchun usul tanlash ferment turi, substrat oʻlchami, reaksiya sharoiti va mahsulot talabiga bogʻliq.

Immobilizatsiyalangan fermentlar reaktor texnologiyasida katta ustunlik beradi. Ferment reaktor ichida qoladi, substrat esa undan uzluksiz oʻtkaziladi. Mahsulot ferment bilan aralashib ketmaydi, tozalash osonlashadi va ferment sarfi kamayadi. Ayniqsa, qimmat fermentlar uchun immobilizatsiya iqtisodiy jihatdan muhim yechimdir. Biroq immobilizatsiya har doim ham faollikni oshirmaydi; notoʻgʻri tashuvchi yoki bogʻlash sharoiti fermentning faol markazini toʻsib qoʻyishi mumkin.

Immobilizatsiyalangan fermentlarning yana bir afzalligi barqarorlikning oshishidir. Tashuvchi material fermentning fazoviy tuzilishini qisman himoya qiladi, uni issiqlik, pH oʻzgarishi yoki proteolitik parchalanishdan saqlashi mumkin. Shu bilan birga, tashuvchi materialning narxi, mexanik mustahkamligi, biologik mosligi va qayta tiklanish imkoniyati alohida baholanishi kerak.

GEN MUHANDISLIGI VA MOLEKULYAR MODIFIKATSIYA

Zamonaviy fermentlar muhandisligi gen muhandisligi bilan bevosita bogʻliq. Fermentning aminokislota ketma-ketligi uning fazoviy tuzilishini, faol markazini va katalitik xususiyatlarini belgilaydi. Shuning uchun fermentni kodlovchi genni oʻzgartirish orqali uning faolligi, barqarorligi, substratga xosligi va muhitga

chidamliligini boshqarish mumkin. Bu yondashuv tabiiy fermentlarni oddiy tanlashdan farqli ravishda, maqsadli xossalarga ega biokatalizator yaratishga imkon beradi.

Rekombinant DNK texnologiyalari yordamida kerakli ferment geni qulay produsent organizmga kiritiladi. Masalan, tabiiy manbada kam miqdorda sintez qilinadigan ferment mikroorganizmlarda yuqori darajada ishlab chiqarilishi mumkin. Bunda gen ekspressiyasi, promotor kuchi, plazmid barqarorligi, sekretiya signallari va hujayra metabolizmi hisobga olinadi. Agar gen kiritilgan bo'lsa-yu, oqsil noto'g'ri buklansa yoki hujayra ichida erimaydigan agregatlar hosil qilsa, kutilgan natija olinmaydi.

Maqsadli mutagenez ferment molekulasidagi muayyan aminokislotalarni almashtirish orqali amalga oshiriladi. Faol markazga yaqin qoldiqlarni o'zgartirish substratga xoslik va katalitik tezlikka ta'sir qilishi mumkin. Strukturaviy barqarorlikni oshirish uchun sirt aminokislotalari, tuz ko'priklari, disulfid bog'lari yoki gidrofob yadroga ta'sir etuvchi mutatsiyalar tanlanadi. Biroq har qanday mutatsiya foydali bo'lavermaydi. Bir xususiyatning yaxshilanishi boshqa xususiyatning yomonlashishi hisobiga bo'lishi mumkin.

Genetik modifikatsiyalangan produsentlardan foydalanish bioxavfsizlik talablarini kuchaytiradi. Laboratoriya sharoiti, chiqindilarni zararsizlantirish, shtammning atrof-muhitga chiqib ketmasligi, mahsulotda tirik rekombinant hujayralar qolmasligi va normativ talablarga rioya qilish majburiydir. Demak, gen muhandisligi fermentlar muhandisligida katta imkoniyat yaratadi, lekin u qat'iy ilmiy nazorat va mas'uliyatni ham talab qiladi.

FERMENTLARNING OZIQ-OVQAT SANOATIDAGI QO'LLANILISHI

Oziq-ovqat sanoati fermentlar eng ko'p qo'llaniladigan sohalardan biridir. Non, sut, sharbat, pivo, vino, kraxmal, qand, go'sht va boshqa mahsulotlar ishlab chiqarishda fermentativ jarayonlar mahsulotning ta'mi, tuzilishi, hazm bo'lishi, saqlanish muddati va texnologik sifatini yaxshilaydi. Fermentlardan foydalanish kimyoviy reagentlar sarfini kamaytiradi va jarayonni ekologik xavfsiz qiladi.

Amilazalar kraxmalni dekstrin va shakarlarga parchalaydi. Ular non yopish, kraxmalni qayta ishlash, shakarli siroplar olish va pivo ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Proteazalar oqsillarni gidrolizlaydi, go'shtni yumshatish, pishloq ishlab chiqarish, oqsil gidrolizatlari olish va ayrim ichimliklarni tiniqlashtirishda ishlatiladi. Lipazalar yog'larni parchalaydi yoki modifikatsiya qiladi; ular sut mahsulotlari aromatini shakllantirishda, yog'-moy texnologiyalarida va maxsus oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarishda ahamiyatga ega.

Pektinazalar meva sharbatlarini tiniqlashtirish va chiqimini oshirishda ishlatiladi. Sellyulazalar o'simlik xomashyosini yumshatish, tolalarni parchalash va biologik qayta ishlash jarayonlarida qo'llaniladi. Laktaza sutdagi laktozani parchalab, laktozaga sezgir iste'molchilar uchun mos mahsulotlar tayyorlash imkonini beradi. Ushbu fermentlarning har biri uchun pH, harorat, substrat tarkibi va jarayon davomiyligi aniq tanlanishi kerak.

Oziq-ovqat sanoatida fermentlar xavfsizligi alohida masala hisoblanadi. Ferment preparatlari toksik moddalardan, patogen mikroorganizmlardan va zararli aralashmalardan xoli bo'lishi kerak. Produsent mikroorganizm xavfsiz bo'lmasa yoki tozalash yetarli bo'lmasa, mahsulot xavfsizligi xavf ostida qoladi. Shuning uchun fermentlar muhandisligi oziq-ovqat texnologiyasida faqat samaradorlik emas, balki gigiyenik va normativ xavfsizlik bilan ham chambarchas bog'liq.

FARMATSEVTIKA VA TIBBIYOTDA FERMENTLAR

Farmatsevtika va tibbiyotda fermentlar diagnostik, terapevtik va texnologik vosita sifatida qo'llaniladi. Diagnostik tizimlarda fermentlar biologik suyuqliklarda glyukoza, xolesterin, mochevina, laktat va boshqa moddalarning miqdorini aniqlashda ishlatiladi. Ferment asosidagi biosensorlar yuqori selektivlikka ega bo'lgani uchun tezkor va sezgir tahlil usullarini yaratish imkonini beradi.

Terapevtik fermentlar ovqat hazm qilishni yaxshilash, trombotik jarayonlarga ta'sir qilish, yallig'lanish mediatorlarini kamaytirish yoki ayrim metabolik buzilishlarda yetishmaydigan ferment faolligini to'ldirish uchun qo'llanilishi mumkin. Biroq tibbiy fermentlarga qo'yiladigan talab oddiy texnik fermentlardan ancha yuqori. Ular immunogenlik, allergenlik, toksiklik, dozalanish aniqligi, steril holat va organizmda barqarorlik bo'yicha tekshirilishi zarur.

Farmatsevtik ishlab chiqarishda fermentlar murakkab organik molekulalarni selektiv sintez qilishda foydalaniladi. Kimyoviy sintezda ko'p bosqich, yuqori harorat va ko'p chiqindi talab qilinadigan holatlarda fermentativ sintez yumshoq sharoitda yuqori stereoselektivlik bilan borishi mumkin. Bu dori moddalari sifatini oshirish va ekologik yuklamani kamaytirish uchun muhimdir.

Farmatsevtika sohasida fermentlarni joriy etishning eng katta qiyinchiligi sifat nazorati va standartlashtirishdir. Har bir partiyada ferment faolligi, tozaligi, begona oqsillar, endotoksinlar, mikrobiologik ko'rsatkichlar va saqlanish barqarorligi qat'iy baholanishi kerak. Bu talablar bajarilmasa, ferment preparati klinik yoki farmatsevtik amaliyotda ishlatilishi mumkin emas.

QISHLOQ XO'JALIGI VA EKOLOGIK BIOTEXNOLOGIYADA FERMENTLAR

Qishloq xo'jaligida fermentlar tuproq unumdorligini oshirish, ozuqa hazm bo'lishini yaxshilash, o'simlik qoldiqlarini qayta ishlash, yem-xashak sifatini ko'tarish va biologik preparatlar yaratishda qo'llaniladi. Sellyulaza, gemitsellyulaza, proteaza, fitaza va amilaza kabi fermentlar chorvachilik ozuqalarining o'zlashtirilishini yaxshilashi mumkin. Bu yem sarfini kamaytirish va mahsuldorlikni oshirishga xizmat qiladi.

Ekologik biotexnologiyada fermentlar organik chiqindilarni parchalash, oqova suvlarni tozalash, tuproq remediatsiyasi, pestitsid va bo'yoq qoldiqlarini kamaytirish, biosensorlar yaratish va biologik monitoringda qo'llaniladi. Fermentativ jarayonlar an'anaviy kimyoviy tozalash usullariga nisbatan selektiv, yumshoq va ekologik jihatdan xavfsiz bo'lishi mumkin. Ayniqsa, oksidoreduktazalar, peroksidazalar, lakkazalar va gidrolazalar organik ifloslantiruvchilarni parchalashda istiqbolli hisoblanadi.

O'zbekiston sharoitida fermentlar muhandisligini mahalliy qishloq xo'jaligi xomashyosi bilan bog'lash zarur. Paxta, g'alla, meva-sabzavot, uzumchilik va chorvachilik chiqindilari fermentatsion muhit yoki substrat sifatida ishlatilishi mumkin. Bu nafaqat chiqindilarni kamaytiradi, balki arzon xomashyo asosida biotexnologik mahsulot ishlab chiqarish imkonini beradi.

Ekologik yo'nalishda fermentlar muhandisligi alohida strategik ahamiyatga ega. Sanoat korxonalari va qishloq xo'jaligi faoliyati natijasida hosil bo'ladigan organik ifloslanishlarni biologik usulda kamaytirish barqaror rivojlanish talablariga mos keladi. Ammo bunday texnologiyalarni joriy etishda fermentning real muhitdagi barqarorligi, tuproq yoki suv tarkibidagi inhibitorlar, harorat o'zgarishi va iqtisodiy samaradorlik alohida sinovdan o'tkazilishi kerak.

FERMENTLAR MUHANDISLIGINING MUAMMOLARI VA CHEKLOVLARI

Fermentlar muhandisligining rivojlanishida bir qator jiddiy muammolar mavjud. Birinchi muammo fermentlarning beqarorligidir. Ko'plab tabiiy fermentlar sanoat sharoitida tez denaturatsiyalanadi, pH o'zgarishiga sezgir bo'ladi yoki uzoq muddatli saqlashda faolligini yo'qotadi. Bu muammo fermentni oddiy qo'llashdan ko'ra, uni barqarorlashtirish va texnologik moslashtirish zarurligini ko'rsatadi.

Ikkinchi muammo ishlab chiqarish tannarxidir. Produsentni oʻstirish, steril fermentatsiya, ajratish, tozalash, quritish, immobilizatsiya va sifat nazorati katta xarajat talab qilishi mumkin. Agar ferment bir martalik ishlatilsa yoki tez inaktivatsiyalansa, texnologiya iqtisodiy jihatdan raqobatbardosh boʻlmaydi. Shu sababli fermentlar muhandisligi har doim iqtisodiy hisob-kitob bilan birga olib borilishi kerak.

Uchinchi muammo laboratoriya natijalarini sanoat miqyosiga oʻtkazishdir. Kolbada muvaffaqiyatli chiqqan fermentativ jarayon bioreaktorda xuddi shunday natija bermasligi mumkin. Aralashtirish, aeratsiya, issiqlik almashinuvi, substrat taqsimlanishi va koʻpiklanish kabi omillar masshtab oshganda oʻzgaradi. Shuning uchun ferment texnologiyasida tajriba-sanoat bosqichi majburiy ahamiyatga ega.

Toʻrtinchi muammo mahalliy infratuzilmaning yetarli darajada shakllanmaganligidir. Fermentlar muhandisligi molekulyar biologiya laboratoriyalari, steril fermentatsiya uskunolari, xromatografik tizimlar, quritish texnologiyalari, sifat nazorati laboratoriyalari va malakali mutaxassislarni talab qiladi. Agar bu zanjirning bir boʻgʻini sust boʻlsa, ilmiy gʻoya sanoat mahsulotiga aylana olmaydi.

Beshinchi muammo normativ va bioxavfsizlik talablari bilan bogʻliq. Oziq-ovqat va farmatsevtika sohasida ferment preparatlari xavfsizligi qatʼiy baholanishi kerak. Genetik modifikatsiyalangan produsentlardan foydalanilganda esa ekologik va biologik xavfsizlik masalalari yanada murakkablashadi.

RIVOJLANISH ISTIQBOLLARI

Fermentlar muhandisligining Oʻzbekistondagi istiqbollari mahalliy xomashyo, mikroorganizmlar resursi, qishloq xoʻjaligi chiqindilari va sanoat ehtiyojlari bilan bevosita bogʻliq. Birinchi navbatda mahalliy mikroorganizmlar kolleksiyasini shakllantirish va ferment ishlab chiqaruvchi shtammlarni tanlash zarur. Tabiiy muhitlardan ajratilgan mikroorganizmlar termobarqaror, pH chidamli yoki noyob substratlarga mos fermentlar manbai boʻlishi mumkin.

Ikkinchi muhim yoʻnalish arzon oziqa muhitlarini ishlab chiqishdir. Ferment ishlab chiqarish tannarxida oziqa muhiti katta ulushga ega. Shuning uchun kepek, meva-sabzavot chiqindilari, melassa, kraxmalli qoldiqlar, sellyulozali biomassalar va boshqa mahalliy substratlardan foydalanish iqtisodiy samaradorlikni oshiradi. Bunday yondashuv chiqindisiz yoki kam chiqindili texnologiyalar konsepsiyasiga ham mos keladi.

Uchinchi istiqbolli yoʻnalish immobilizatsiyalangan fermentlar va ferment reaktorlarini yaratishdir. Bu fermentlarni qayta ishlatish, uzluksiz jarayonlarni tashkil

etish, mahsulotni oson ajratish va tannarxni kamaytirish imkonini beradi. Mahalliy tashuvchi materiallar, jumladan tabiiy polimerlar, mineral sorbentlar va bioasosli materiallardan foydalanish bu yoʻnalishni yanada amaliy qiladi.

Toʻrtinchi yoʻnalish gen muhandisligi va bioinformatika bilan integratsiyadir. Ferment strukturasini modellashtirish, faol markazni tahlil qilish, maqsadli mutatsiyalarni bashoratlash va yuqori mahsuldor rekombinant produsentlar yaratish mahalliy biotexnologiyani yangi bosqichga olib chiqishi mumkin. Ammo bu yoʻnalish kuchli laboratoriya bazasi, malakali kadrlar va bioxavfsizlik tizimini talab qiladi.

Beshinchi istiqbol ilmiy ishlanmalarni real sanoat buyurtmasi bilan bogʻlashdir. Fermentlar muhandisligi faqat maqola, dissertatsiya yoki laboratoriya natijasi bilan cheklanmasligi kerak. Uning yakuniy natijasi ferment preparati, texnologik reglament, tajriba-sanoat qurilmasi, iqtisodiy baholash va ishlab chiqarish joriyoti boʻlishi lozim. Aks holda soha nazariy darajada qolib ketadi.

2-jadval. Ferment ishlab chiqarish jarayonining asosiy bosqichlari

Bosqich	Texnologik vazifa	Nazorat qilinadigan omillar	Xavf yoki cheklov
Produsent tanlash	Ferment sintez qiluvchi shtammni aniqlash	Faollik, xavfsizlik, genetik barqarorlik	Past mahsuldorlik yoki patogenlik
Oziqa muhiti tayyorlash	Mikroorganizm oʻsishi va ferment sintezi uchun sharoit yaratish	Uglerod, azot, mineral tuzlar, pH	Tannarx oshishi yoki ferment sintezining pasayishi
Fermentatsiya	Ferment biosintezini amalga oshirish	Harorat, pH, aeratsiya, aralashtirish, steril holat	Kontaminatsiya, koʻpiklanish, inaktivatsiya
Ajratish	Biomassa va suyuq fazani ajratish	Filtratsiya, sentrifugalash, hujayra parchalanishi	Ferment yoʻqotilishi
Tozalash	Keraksiz aralashmalarni kamaytirish	Choʻktirish, ultrafiltratsiya, xromatografiya	Faollik pasayishi, xarajat ortishi

Bosqich	Texnologik vazifa	Nazorat qilinadigan omillar	Xavf yoki cheklov
Formulalash	Preparatni saqlashga mos shaklga keltirish	Namlik, stabilizator, quritish usuli	Saqlashda faollik yo'qolishi
Sifat nazorati	Faollik va xavfsizlikni tasdiqlash	Faollik birligi, tozalik, mikrobiologik ko'rsatkichlar	Standartga mos kelmaslik

MUHOKAMA

Fermentlar muhandisligi nazariy va amaliy jihatdan bir-biridan ajralmaydigan sohadir. Agar fermentning molekulyar tuzilishi va katalitik mexanizmi chuqur tushunilmasa, uni samarali modifikatsiya qilish qiyin. Agar texnologik sharoitlar hisobga olinmasa, laboratoriyada olingan yuqori faollik real ishlab chiqarishda foyda bermaydi. Shuning uchun fermentlar muhandisligi har doim molekulyar darajadan sanoat apparatigacha bo'lgan zanjirni qamrab olishi kerak.

Mahalliy sharoitda eng katta imkoniyatlardan biri import o'rnini bosuvchi ferment preparatlarini ishlab chiqarishdir. Oziq-ovqat, yem-xashak, pishloqchilik, kraxmalni qayta ishlash, ekologik tozalash va farmatsevtika sohalari fermentlarga ehtiyoj sezadi. Agar mahalliy produsentlar, arzon substratlar va barqaror texnologiyalar yaratilsa, fermentlar muhandisligi iqtisodiy jihatdan ham muhim natija beradi. Biroq bu yo'lda asosiy xavf — ilmiy ishning ishlab chiqarish bilan bog'lanmay qolishidir.

Fermentlar muhandisligida muvaffaqiyat mezoni faqat yangi shtamm yoki yangi ferment topish emas. Haqiqiy natija ferment preparatining barqarorligi, tannarxi, xavfsizligi, standartlashtirilgan faolligi va real texnologiyada ishlash qobiliyati bilan belgilanadi. Shu sababli ilmiy tadqiqotlarda tajriba dizayni, nazorat guruhlar, statistik tahlil, takroriylik va texnologik reglamentga alohida e'tibor qaratish zarur.

Maqolaning yana bir muhim xulosasi shundaki, fermentlar muhandisligini faqat biokimyo doirasida talqin qilish yetarli emas. Bu soha muhandislik hisoblari, iqtisodiy tahlil, ekologik baholash va normativ hujjatlar bilan bog'liq. Masalan, fermentning faolligi yuqori bo'lishi mumkin, ammo uni tozalash qimmat bo'lsa yoki saqlash muddati qisqa bo'lsa, u sanoat uchun mos kelmasligi mumkin. Demak, fermentlar muhandisligi kompleks baholashni talab qiladi.

XULOSA

Fermentlar muhandisligi zamonaviy biotexnologiyaning nazariy va amaliy jihatdan eng muhim yo'nalishlaridan biridir. Uning nazariy asosini fermentlarning oqsil tabiatli biokatalizator sifatidagi tuzilishi, faol markazi, substratga xosligi, kinetikasi, pH va haroratga sezgirligi, inhibitorlar va aktivatorlar bilan o'zaro ta'siri tashkil etadi. Texnologik asosini esa ferment produsentlarini tanlash, fermentatsion muhitni optimallashtirish, fermentlarni ajratib olish, tozalash, immobilizatsiya qilish, standartlashtirish va sanoatda qo'llash jarayonlari belgilaydi.

Fermentlar oziq-ovqat, farmatsevtika, tibbiyot, qishloq xo'jaligi, ekologik biotexnologiya va sanoat jarayonlarida yuqori samarali, ekologik xavfsiz va selektiv texnologiyalar yaratish imkonini beradi. Ayniqsa, immobilizatsiyalangan fermentlar, rekombinant produsentlar, mahalliy xomashyo asosidagi fermentatsion muhitlar va bioasosli texnologiyalar kelajakda katta amaliy ahamiyatga ega bo'ladi.

Shu bilan birga, fermentlar muhandisligida fermentlarning beqarorligi, ishlab chiqarish tannarxi, laboratoriya natijalarini sanoatga o'tkazish, sifat nazorati, bioxavfsizlik va mahalliy infratuzilma bilan bog'liq muammolar mavjud. Bu muammolarni hal qilish uchun mahalliy mikroorganizmlar resursini o'rganish, arzon substratlardan foydalanish, immobilizatsiya usullarini rivojlantirish, gen muhandisligi va bioinformatikani joriy etish hamda ilmiy ishlanmalarni ishlab chiqarish bilan bog'lash zarur.

Umuman, fermentlar muhandisligi O'zbekiston biotexnologiyasi uchun strategik ahamiyatga ega yo'nalishdir. Bu soha import o'rnini bosuvchi ferment preparatlari ishlab chiqarish, mahalliy xomashyodan samarali foydalanish, ekologik xavfsiz texnologiyalarni rivojlantirish va yuqori qo'shimcha qiymatga ega biologik mahsulotlar yaratishda mustahkam ilmiy-amaliy asos bo'lib xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Sobirova R.A., Abrorov O.A., Inoyatova F.X., Aripov A.N. Biologik kimyo. Darslik. Toshkent: Yangi asr avlodi, 2006.
2. Valixonov M.N., Dolimova S.N., Umarova G.B., Mirhamidova P. Biologik kimyo va molekulyar biologiya. 2-qism. Darslik. Toshkent: Navro'z, 2015.
3. Mirhamidova P., Vahobov A.H., Davranov Q.D., Tursunboyeva G.S. Mikrobiologiya va biotexnologiya asoslari. Darslik. Toshkent: Ilm Ziyo, 2014.
4. Tashmuxamedova Sh.S. Biotexnologiya. Darslik. Toshkent: Mehr-nuri, 2024.
5. Komilov X.M., Rahimov M.M., Odilbekova D.Yu. Biotexnologiya asoslari. Darslik. Toshkent, 2010.

6. Komilov X.M., Mahmudov A.A. Biologik faol moddalar texnologiyasi. Darslik. Toshkent: Sharq, 2010.
7. Xakimova Sh.I. Oziq-ovqat mikrobiologiyasi. O'quv qo'llanma. Toshkent: O'zbekiston, 2005.
8. Davronov Q.D., Xo'jamshukurov N.A. Umumiy va texnik mikrobiologiya. O'quv qo'llanma. Toshkent: TDAU, 2004.
9. Zakirova M.R., Egamova M.U. Oziq-ovqat mikrobiologiyasi. Laboratoriya va amaliy mashg'ulotlar uchun o'quv qo'llanma. Toshkent: IJOD-PRINT, 2019.
10. To'xtaboyeva F.M., Xamidullayeva N.R., Erkinova R.U., Shavkatbekova M.A. Fermentlarning biotexnologiya va gen muhandisligida qo'llanilishi. Universal xalqaro ilmiy jurnal, 2024.
11. Obidov O., Jo'rayeva A. Biologik kimyodan laboratoriya amaliyoti. O'quv qo'llanma. Toshkent.
12. To'rayev S.Y., Ergashev N.Q. Biotexnologiya asoslari fanidan laboratoriya mashg'ulotlari. O'quv-uslubiy qo'llanma. Toshkent.