FERMENTLAR: TUZILISHI, TA'SIR MEXANIZMI VA ORGANIZM HAYOTIY FAOLIYATIDAGI AHAMIYATI

Abdullayeva Xafiza Davronovna
Urganch Davlat tibbiyot instituti PhD, dotsent
Ro'zimova Feruza Shonazarovna
Urganch Davlat tibbiyot instituti assistenti
Ro'zimboyeva Jannatxon Muzaffar qizi
Davolash fakulteti talabasi

Annotatsiya. Ushbu maqolada biokimyoning markaziy mavzularidan biri – fermentlarning kimyoviy tabiati, tuzilishi, faol markazi, ta'sir mexanizmi, kinetikasi va boshqarilishi masalalari yoritilgan. Fermentlarning xalqaro tasnifi keltirilib, ularning tibbiyot, oziq-ovqat sanoati va biotexnologiyadagi amaliy ahamiyati tahlil qilingan. Fermentativ reaksiyalar tezligiga harorat, muhit pH qiymati, substrat konsentratsiyasi va ingibitorlarning ta'siri nazariy asosda ko'rib chiqilgan.

Kalit so'zlar: ferment, kataliz, faol markaz, substrat, kofaktor, Mixaelis–Menten tenglamasi, ingibitor, allosterik boshqaruv, izofermentlar.

Abstract. The article examines the chemical nature, structure, active site, mechanism of action, kinetics and regulation of enzymes. The international classification of enzymes is presented, and their practical significance in medicine, the food industry and biotechnology is analyzed.

Keywords: enzyme, catalysis, active site, substrate, cofactor, Michaelis–Menten equation, inhibitor, allosteric regulation.

KIRISH

Tirik organizmda sodir bo'ladigan minglab kimyoviy reaksiyalar – oziq moddalarning parchalanishi, energiyaning to'planishi, yangi hujayra tuzilmalarining sintezi – nihoyatda yuqori tezlikda va aniq tartibda kechadi. Bunday reaksiyalarning ko'pchiligi tana harorati (taxminan 37 °C) va neytral

muhitga yaqin sharoitda o‘z-o‘zidan sezilarli tezlikda bormaydi. Ularni amalga oshirishda hal qiluvchi rolni biologik katalizatorlar – fermentlar (enzimlar) bajaradi.

“Ferment” atamasi lotincha fermentum – “achitqi” so‘zidan kelib chiqqan, “enzim” esa yunoncha en zyme – “achitqi ichida” degan ma’noni anglatadi. Fermentlarni o‘rganish tarixi XIX asrga borib taqaladi: 1833-yilda A. Payen va J. Persoz arpa o‘simtasidan kraxmalni parchalovchi diastazani ajratib olgan, 1897-yilda E. Buxner esa hujayrasiz achitqi shirasi ham bijg‘ishni amalga oshira olishini isbotlagan. 1926-yilda J. Samner ureaza fermentini kristall holda olib, fermentlarning oqsil tabiatiga ega ekanini ko‘rsatdi. Bugungi kunda fermentologiya biokimyo, molekulyar biologiya, tibbiyot va biotexnologiyaning tayanch yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Mazkur maqolaning maqsadi – fermentlar haqidagi zamonaviy ilmiy tasavvurlarni tizimlashtirish, ularning ta’sir mexanizmi va boshqarilish qonuniyatlarini ochib berish hamda amaliy ahamiyatini tahlil qilishdan iborat.

ASOSIY QISM

1. **1. Fermentlarning kimyoviy tabiati va tuzilishi**

Fermentlarning mutlaq ko‘pchiligi oqsillardir. Ular birlamchi, ikkilamchi, uchlamchi, ayrimlari esa to‘rtlamchi tuzilish darajasiga ega bo‘lib, katalitik faollik aynan fazoviy (konformatsion) tuzilishning to‘g‘riligiga bog‘liq. Shu sababli oqsilni denaturatsiyaga uchratuvchi omillar – yuqori harorat, kuchli kislota va ishqorlar, og‘ir metall tuzlari – fermentni ham faolsizlantiradi. Keyingi o‘n yilliklarda katalitik xossaga ega RNK molekulalari – ribozimlar ham aniqlangan bo‘lib, ular fermentlarning faqat oqsildan iborat emasligini ko‘rsatadi.

Tuzilishiga ko‘ra fermentlar oddiy va murakkab bo‘ladi. Oddiy fermentlar (masalan, pepsin, tripsin, ureaza) faqat aminokislota qoldiqlaridan tashkil topgan. Murakkab fermentlar esa oqsil qism – apoferment va oqsil bo‘lmagan qism – kofaktordan iborat bo‘lib, ular birgalikda xoloferment deb ataladi. Kofaktor sifatida metall ionlari (Fe^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}) yoki organik moddalar –

koenzimlar ishtirok etadi. Koenzimlarning ko‘pchiligi vitaminlar hosilalaridir: NAD^+ va $NADF^+$ nikotinamid (B_3 vitamini)dan, FAD riboflavin (B_2)dan, tiaminpirofosfat tiamin (B_1)dan, koferment A pantoten kislota (B_5)dan hosil bo‘ladi. Shu bois vitaminlar yetishmovchiligi birinchi navbatda fermentlar faoliyatining buzilishi orqali namoyon bo‘ladi.

Ferment molekulasining substrat bilan bevosita bog‘lanadigan va kimyoviy o‘zgarishni amalga oshiradigan qismi faol markaz deb ataladi. Faol markaz molekulaning nisbatan kichik qismini tashkil etib, polipeptid zanjirining turli joylarida joylashgan, ammo fazoviy tuzilishda bir-biriga yaqinlashgan aminokislota qoldiqlaridan (serin, gistidin, sistein, aspartat, glutamat va boshqalar) hosil bo‘ladi. Unda substratni biriktiruvchi (bog‘lovchi) va katalitik uchastkalar farqlanadi. Ayrim fermentlarda faol markazdan tashqari allosterik markaz ham mavjud bo‘lib, unga maxsus effektor molekulalar birikishi ferment faolligini o‘zgartiradi.

2. Fermentlarning ta’sir mexanizmi

Har qanday kimyoviy reaksiya sodir bo‘lishi uchun molekulalar ma’lum energetik to‘siqni – faollanish energiyasini yengib o‘tishi lozim. Fermentlar, boshqa katalizatorlar kabi, reaksiyaning umumiy energetik balansini va muvozanat holatini o‘zgartirmaydi, balki faollanish energiyasini keskin kamaytiradi. Natijada reaksiya tezligi 10^6–10^{12} marta, ayrim hollarda undan ham ko‘proq ortadi.

Fermentativ reaksiya bir necha bosqichda kechadi. Avval ferment (E) substrat (S) bilan birikib, ferment-substrat kompleksini (ES) hosil qiladi; so‘ngra bu kompleks ichida substratning kimyoviy o‘zgarishi yuz beradi va ferment-mahsulot kompleksi (EP) vujudga keladi; oxirida mahsulot (P) ajralib chiqadi, ferment esa o‘zgarmagan holda yangi sikl uchun bo‘shaydi. Bu jarayonni sxematik tarzda $E + S \rightleftarrows ES \rightarrow EP \rightarrow E + P$ ko‘rinishida ifodalash mumkin.

Ferment va substratning o‘zaro moslashuvini tushuntiruvchi ikki asosiy model mavjud. 1894-yilda E. Fisher taklif etgan “qulf-kalit” modeliga ko‘ra, faol markaz substratga xuddi qulfga kalit mos kelganidek qat’iy mos keladi. 1958-yilda

D. Koshland tomonidan ilgari surilgan “induksiyalangan moslashuv” modeli esa faol markaz egiluvchan bo‘lib, substrat birikkanda uning konformatsiyasi o‘zgarib, substratga to‘liq moslashishini ta’kidlaydi. Zamonaviy tadqiqotlar ikkinchi modelni ko‘proq tasdiqlaydi.

Faollanish energiyasining pasayishiga bir nechta omil hissa qo‘shadi: substrat molekulalarining faol markazda yaqinlashtirilishi va to‘g‘ri yo‘naltirilishi, substratdagi kimyoviy bog‘larning “taranglashuvi”, kislota-asosli kataliz (protonlarning berilishi va qabul qilinishi), kovalent kataliz (ferment bilan substrat o‘rtasida vaqtinchalik kovalent bog‘ hosil bo‘lishi) hamda metall ionlari ishtirokidagi kataliz. Masalan, serin proteazalarida (tripsin, ximotripsin) serin, gistidin va aspartat qoldiqlaridan iborat “katalitik triada” peptid bog‘ini gidroliz qilishda muhim rol o‘ynaydi.

Fermentlarning muhim xususiyatlaridan biri – yuqori o‘ziga xoslik (spetsifiklik). Mutlaq spetsifiklikka ega fermentlar faqat bitta substratga ta’sir etadi (masalan, ureaza faqat mochevinani parchalaydi). Guruhli spetsifiklikka ega fermentlar ma’lum turdagi bog‘ yoki funksional guruhga ega bir qator substratlarga ta’sir qiladi (masalan, lipaza turli triglitseridlarni gidrolizlaydi). Stereospetsifik fermentlar esa faqat bitta stereoizomerga – masalan, L-aminokislotalar yoki D-uglevodlarga ta’sir etadi.

3. Fermentlar tasnifi va nomenklaturasi

Xalqaro biokimyo va molekulyar biologiya ittifoqi (IUBMB) tavsiyasiga ko‘ra fermentlar katalizlanadigan reaksiya turiga qarab yetti sinfga bo‘linadi. Har bir fermentga to‘rt raqamdan iborat shifr (EC raqami) beriladi: birinchi raqam sinfni, ikkinchisi kichik sinfni, uchinchisi kichik-kichik sinfni, to‘rtinchisi esa fermentning shu guruhdagi tartib raqamini bildiradi. Yettinchi sinf – translokazalar 2018-yilda qo‘shilgan. Fermentlar sinflari quyidagi jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Fermentlarning xalqaro tasnifi

№	Sinf	Katalizlanadigan	Misol

		reaksiya	
EC 1	Oksidoreduktazalar	Oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari	Laktatdegidrogenaza, katalaza
EC 2	Transferazalar	Funksional guruhlarni ko‘chirish	Aminotransferazalar, geksokinaza
EC 3	Gidrolazalar	Bog‘larni suv ishtirokida parchalash	Amilaza, lipaza, pepsin
EC 4	Liazalar	Bog‘larni gidrolizsiz uzish yoki qo‘shbog‘ hosil qilish	Aldolaza, karboangidraza
EC 5	Izomerazalar	Molekula ichidagi qayta guruhlanish	Triozofosfatizomeraza
EC 6	Ligazalar	ATF energiyasi hisobiga ikki molekulani birlashtirish	DNK-ligaza, piruvatkarboksilaza
EC 7	Translokazalar	Ionlar va molekulalarni membrana orqali ko‘chirish	Na^+/K^+-ATFaza

4. Fermentativ reaksiyalar kinetikasi

Fermentativ reaksiya tezligi bir qator omillarga bog‘liq. Substrat konsentratsiyasi ortishi bilan dastlab reaksiya tezligi deyarli to‘g‘ri proporsional ravishda oshadi, so‘ngra o‘sish sekinlashadi va nihoyat maksimal tezlikka (Vmax) yetadi. Bu holat barcha ferment molekulalarining faol markazlari substrat bilan to‘yinganini anglatadi. 1913-yilda L. Mixaelis va M. Menten bu bog‘liqlikni quyidagi tenglama bilan ifodalashgan:

$$v = V_{max} \cdot [S] / (K_m + [S])$$

Bu yerda v – reaksiyaning boshlang‘ich tezligi, [S] – substrat konsentratsiyasi, Km – Mixaelis konstantasi. Km son jihatdan reaksiya tezligi maksimal tezlikning yarmiga teng bo‘lgan substrat konsentratsiyasiga mos keladi va fermentning substratga moyilligini (afinitetini) tavsiflaydi: Km qanchalik kichik bo‘lsa, ferment substrat bilan shunchalik mustahkam bog‘lanadi. Amaliyotda Km va Vmax qiymatlarini aniqlash uchun ko‘pincha Laynuiver–Berk grafigidan (ikki marta teskari koordinatalar usuli) foydalaniladi.

Harorat ham fermentativ reaksiyalarga kuchli ta’sir ko‘rsatadi. Harorat ma’lum chegaragacha ko‘tarilganda molekulalar harakati tezlashib, reaksiya tezligi oshadi. Ammo odam fermentlarining ko‘pchiligi uchun optimal harorat 37–40 °C atrofida bo‘lib, 50–60 °C dan yuqorida oqsil denaturatsiyasi tufayli faollik keskin pasayadi. Termofil bakteriyalardan olingan fermentlar (masalan, polimeraza zanjir reaksiyasida qo‘llaniladigan Taq-polimeraza) esa 70–95 °C da ham faol saqlanadi.

Muhitning pH qiymati faol markazdagi aminokislota qoldiqlarining ionlanish darajasini o‘zgartiradi. Har bir ferment uchun optimal pH mavjud: me’da shirasidagi pepsin kuchli kislotali muhitda (pH 1,5–2,0), ichakdagi tripsin kuchsiz ishqoriy muhitda (pH 7,8–8,2), so‘lakdagi amilaza esa neytralga yaqin muhitda (pH 6,8–7,0) eng faol ishlaydi.

5. Fermentlar faolligining boshqarilishi va ingibitorlar

Hujayrada moddalar almashinuvi fermentlar faolligini doimiy nazorat qilish orqali boshqariladi. Buning asosiy usullari qatoriga allosterik boshqaruv, kovalent modifikatsiya (masalan, fosforlanish va defosforlanish), nofaol o‘tmishdoshlarning (zimogenlarning) cheklangan proteoliz yo‘li bilan faollashtirilishi hamda ferment sintezining genetik darajada induksiyasi va repressiyasi kiradi. Metabolik yo‘llarda ko‘pincha “teskari aloqa” bo‘yicha ingibirlanish kuzatiladi: jarayonning yakuniy mahsuloti to‘planib qolganda, u yo‘lning birinchi bosqichidagi allosterik fermentni sekinlashtiradi va shu tariqa ortiqcha sintezning oldi olinadi.

Ferment faolligini pasaytiruvchi moddalar ingibitorlar deb ataladi. Qaytmas ingibitorlar ferment bilan mustahkam kovalent bog‘ hosil qilib, uni butunlay

faolsizlantiradi; fosfororganik zaharlarning atsetilxolinesterazaga ta’siri bunga misoldir. Qaytar ingibitorlar esa kuchsiz bog‘lar orqali birikadi. Raqobatli ingibitor tuzilishi jihatidan substratga o‘xshash bo‘lib, faol markaz uchun substrat bilan raqobatlashadi; bunda Km ortadi, Vmax esa o‘zgarmaydi va substrat konsentratsiyasini oshirish orqali ingibirlanishni bartaraf etish mumkin. Raqobatsiz ingibitor esa faol markazdan boshqa joyga birikib, Vmax ni kamaytiradi. Ko‘plab dori vositalarining ta’siri aynan ferment ingibirlanishiga asoslangan: aspirin siklooksigenazani, statinlar GMG-KoA-reduktazani, AAF ingibitorlari esa angiotenzinga aylantiruvchi fermentni ingibirlaydi.

6. Fermentlarning amaliy ahamiyati

Fermentlar tibbiyotda keng qo‘llaniladi. Enzimodiagnostika qon zardobidagi ferment faolligini aniqlash orqali kasalliklarni tashxislashga asoslangan: alaninaminotransferaza (ALT) va aspartataminotransferaza (AST) faolligining oshishi jigar va yurak shikastlanishidan, amilaza faolligining ortishi me’da osti bezi yallig‘lanishidan dalolat beradi. Bir xil reaksiyani katalizlovchi, ammo tuzilishi va xossalari bilan farqlanuvchi fermentlar – izofermentlar (masalan, laktatdegidrogenazaning besh izoformasi) organ shikastlanishini aniqroq belgilash imkonini beradi. Enzimoterapiyada esa ovqat hazm qilish fermentlari preparatlari, tromblarni eritish uchun streptokinaza va to‘qima plazminogen aktivatori qo‘llaniladi.

Oziq-ovqat sanoatida fermentlar non yopish, pishloq tayyorlash (ximozin), meva sharbatlarini tiniqlashtirish (pektinazalar), kraxmaldan glyukoza va fruktoza siroplari olishda ishlatiladi. Kimyo va yengil sanoatda proteaza va lipazalar kir yuvish vositalariga qo‘shiladi, to‘qimachilik va charm ishlab chiqarishda ham fermentlardan foydalaniladi. Molekulyar biologiya va gen muhandisligida restriktazalar, DNK-ligaza, teskari transkriptaza va DNK-polimerazalar genlarni ajratish, ko‘paytirish va o‘zgartirishning asosiy vositalari hisoblanadi.

XULOSA

O‘tkazilgan tahlil shuni ko‘rsatadiki, fermentlar tirik organizmdagi barcha kimyoviy jarayonlarning markaziy ishtirokchilari bo‘lib, ularsiz hayotning o‘zi mumkin emas. Fermentlarning yuqori katalitik samaradorligi faollanish energiyasining pasayishi bilan, o‘ziga xosligi esa faol markazning noyob fazoviy tuzilishi bilan izohlanadi. Fermentativ reaksiyalar tezligi substrat konsentratsiyasi, harorat, pH va turli effektorlar ta’sirida o‘zgaradi, bu esa hujayrada moddalar almashinuvini nozik boshqarish imkonini yaratadi.

Fermentlar haqidagi bilimlar tibbiy tashxis va davolash, farmakologiya, oziq-ovqat sanoati va biotexnologiyaning rivojlanishida muhim ahamiyat kasb etmoqda. Kelgusida oqsil muhandisligi va sun’iy intellekt yordamida yangi xossalarga ega fermentlarni loyihalash, ekologik toza sanoat texnologiyalarini yaratish fermentologiyaning istiqbolli yo‘nalishlari bo‘lib qoladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Nelson D.L., Cox M.M. Lehninger Principles of Biochemistry. 8th ed. – New York: W.H. Freeman, 2021.

2. Абдуллаева Х. Д. и др. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПЕРВИЧНОГО ЗВЕНА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ //Научный Импульс. – 2026. – Т. 4. – №. 44. – С. 143-147.

3. Abdullayeva, X., Davletov, M., & Ahmedov, J. S. (2025). XIRURGIK AMALIYOTLARDA ISHLATILADIGAN ANTISEPTIK VA DEZINFEKSIYALOVCHI MODDALAR: KIMYOVIY TABIATI VA TA’SIR MEXANIZMI. South Aral Region Medical Journal, 1(4), 267-271.

4. X.D Abdullayeva -Development of contextual tasks in teaching chemistry to students of a medical university- International Conference on Advance Research in Humanities, Sciences and Education Hosted from Rome,Italy https://confrencea.one January 30th, 2025

5. X.D Abdullayeva The importance of modern lesson types in teaching chemistry at medical hicher education institutions" Internetional scientifik journal Science shine 4- son, 2.02.2025. b-276-282),