7-ДӘРІС

Жасанды жүйелер және биоконверсия

Пән: CHE6281 – Инженерлік биотехнология | Дәріс түрі: теориялық | Ұзақтығы: 2 академиялық сағат

Дәрістің мақсаты

Жасанды биологиялық және биоинженерлік жүйелердің негізгі түрлерін, биоконверсияның биохимиялық механизмдерін, ферменттік және жасушалық биокатализді, шикізатты мақсатты өнімге түрлендіруді, сондай-ақ өндірістік процестердің тиімділігі мен тұрақтылығын бағалау принциптерін түсіндіру.

Күтілетін оқу нәтижелері

- Биоконверсия мен биокатализ ұғымдарын ажыратады.
- Табиғи және жасанды биологиялық жүйелердің ерекшеліктерін сипаттайды.
- Жасушалық, ферменттік және иммобилизацияланған биокатализаторларды салыстырады.
- Материалдық баланс пен өнім шығымын есептейді.
- Биоконверсияны өнеркәсіптік және экологиялық міндеттерге қолдану мүмкіндіктерін талдайды.

Дәріс жоспары

- Жасанды жүйелердің түсінігі және жіктелуі
- Биоконверсияның ғылыми негіздері
- Ферменттік және жасушалық биокатализ
- Иммобилизацияланған жүйелер
- Синтетикалық биология және жасушасыз жүйелер
- Биоконверсия реакторлары және технологиялық кезеңдер
- Шикізатты биологиялық түрлендіру мысалдары
- Кинетика, материалдық баланс және өндірістік көрсеткіштер
- Экологиялық аспектілер, кейс және бақылау сұрақтары

Кіріспе

Қазіргі инженерлік биотехнологияда табиғи биологиялық процестерді тек бақылау жеткіліксіз: оларды нақты өндірістік мақсатқа бейімдеу, жасанды ортада ұйымдастыру және технологиялық параметрлерін басқару қажет. Жасанды жүйелер деп биологиялық компоненттер мен инженерлік құрылғыларды арнайы құрастырып, белгілі бір функцияны атқаруға бағытталған жүйелерді айтады. Оларға иммобилизацияланған ферменттік реакторлар, жасушасыз биосинтез платформалары, жасанды мембраналық құрылымдар және синтетикалық биология әдістерімен жобаланған жасушалық жүйелер мысал бола алады.

1. Жасанды биологиялық жүйелер: ұғымы және жіктелуі

1.1. Жасанды жүйе ұғымы

Жасанды биологиялық жүйе – табиғи биологиялық компоненттерді таңдау, біріктіру немесе қайта ұйымдастыру арқылы белгілі функция атқаратын құрылым. Мұндай жүйе тірі жасушаны толық қамтуы да, тек жеке ферменттерден, мембраналардан немесе метаболикалық модульдерден тұруы да мүмкін. «Жасанды» деген сөз міндетті түрде толығымен синтетикалық молекулалардан жасалғанын білдірмейді.

1.2. Жүйелердің негізгі топтары

Жүйе түрі	Құрамдас бөліктері	Негізгі міндеті
Жасушалық жүйе	Микроорганизм немесе эукариот жасушалары	Метаболиттер және биомасса өндіру
Ферменттік жүйе	Бір немесе бірнеше оқшауланған фермент	Нақты химиялық түрлендіру
Иммобилизацияланған жүйе	Тасымалдағышқа бекітілген фермент/жасуша	Қайта пайдалану және тұрақтылық
Жасушасыз жүйе	Ферменттер, кофакторлар, қажет реакциялық компоненттер	Жасушадан тыс биосинтез
Биомиметикалық жүйе	Мембрана, капсула немесе модельдік	Табиғи функцияны модельдеу

	құрылым	

1.3. Табиғи жүйелерден айырмашылығы

Табиғи жасуша тіршілікке қажетті көптеген процестерді қатар жүргізеді. Инженерлік жүйеде олардың бір бөлігі ғана таңдалып, мақсатты реакцияға бағытталады. Мұндай тәсіл жанама өнімдерді азайтуы немесе басқаруды жеңілдетуі мүмкін. Дегенмен биологиялық компоненттердің тұрақтылығы, кофакторлардың қалпына келуі және реакция ортасының сәйкестігі маңызды шектеулер болып қалады.

2. Биоконверсияның биохимиялық негіздері

2.1. Биоконверсия анықтамасы

Биоконверсия – ферменттер, жасушалар немесе микробтық қауымдастықтар қатысуымен бастапқы заттарды басқа химиялық қосылыстарға айналдыру процесі. Биоконверсияда субстраттың құрылымы өзгереді; процесс гидролиз, тотығу, тотықсыздану, изомерлену, топтарды тасымалдау және басқа ферменттік реакциялар арқылы жүруі мүмкін.

2.2. Биоконверсия мен ферментация

Биоконверсия ферментациядан кең ұғым: ол тірі жасушаның өсуін міндетті түрде қажет етпейді. Мысалы, тазартылған ферментпен лактозаны гидролиздеу – биоконверсия, бірақ жасушалық ферментация емес. Ал микроорганизмнің глюкозаны органикалық қышқылға айналдыруы екі ұғымға да жатуы мүмкін.

2.3. Биоконверсияның артықшылықтары мен шектеулері

- Кейбір реакцияларда жоғары химиялық және кеңістіктік талғамдылық қамтамасыз етіледі.
- Салыстырмалы жұмсақ физикалық жағдайларда жүруі мүмкін.
- Күрделі шикізатты мақсатты өнімге түрлендіруге мүмкіндік береді.
- Ферменттер температураға, pH-қа және орта құрамына сезімтал болуы мүмкін.
- Субстрат пен өнімнің тасымалдануы немесе жанама реакциялар өнімділікті шектеуі мүмкін.

3. Ферменттік биокатализ

3.1. Ферменттердің негізгі қызметі

Ферменттер реакцияның активтену энергиясын төмендететін биологиялық катализаторлар. Олардың белсенді орталығы субстратпен байланысып, белгілі химиялық түрлендіруді катализдейді. Фермент реакцияның тепе-теңдік орнын өзгертпейді, тек тепе-теңдікке жету жылдамдығына әсер етеді.

3.2. Негізгі өнеркәсіптік ферменттер

Фермент	Катализдейтін реакция	Қолданылу мысалы
Амилаза	Крахмал гидролизі	Крахмалды шикізатты өңдеу
Целлюлаза	Целлюлоза гидролизі	Өсімдік биомассасын өңдеу
Лактаза (β-галактозидаза)	Лактоза гидролизі	Лактозасы төмен сүт өнімдері
Липаза	Липидтердің гидролизі және кейбір түрленулері	Тағам және химиялық биокатализ
Протеаза	Пептидтік байланыстар гидролизі	Тағам және технологиялық өңдеу
Глюкоза изомеразасы	Глюкоза мен фруктоза арасындағы изомерлену	Көмірсулы сироп өндірісі

3.3. Бірнеше фермент қатысатын каскадтар

Ферменттік каскадта бір реакцияның өнімі келесі ферменттің субстраты болады. Мұндай жүйелер бірнеше химиялық кезеңді бір технологиялық ортада біріктіруге мүмкіндік береді. Бірақ ферменттердің оңтайлы жағдайлары әртүрлі болса, ортақ реакциялық режимді таңдау қиындық туғызады. NADH немесе ATP сияқты кофакторлар қатысқанда оларды қайта қалпына келтіру мәселесі де ескеріледі.

4. Жасушалық биоконверсия

4.1. Тұтас жасушаны пайдалану

Тұтас жасушалық биокатализде микроорганизм немесе басқа жасуша белгілі субстратты мақсатты өнімге түрлендіреді. Жасушаның артықшылығы –

ферменттік жүйелердің, мембраналық тасымалдаудың және кофакторларды қалпына келтіру механизмдерінің бір жүйеде болуы. Сонымен қатар жасуша энергия мен қоректік заттардың бір бөлігін өзінің тіршілігіне жұмсайды.

4.2. Жасуша өсуі және өнім түзілуі

Кейбір биоконверсия процестерінде өнім түзілуі жасушаның өсуімен байланысты; басқаларында өнімнің негізгі бөлігі өсу баяулағанда түзіледі. Сондықтан биомасса концентрациясы мен мақсатты өнім концентрациясы әрдайым бір бағытта өзгермейді. Процесті бағалау үшін субстрат, биомасса, өнім және жанама метаболиттердің уақыттық динамикасын бірге қарастыру қажет.

4.3. Микробтық консорциумдар

Микробтық консорциум – бірнеше микроорганизм түрінен тұратын қауымдастық. Бір түр түзген аралық метаболитті екінші түр пайдалана алады. Мұндай өзара байланыстар органикалық қалдықтарды өңдеуде және күрделі биомассаны түрлендіруде маңызды. Алайда қауымдастық құрамы мен қызметінің тұрақтылығын басқару күрделі болуы мүмкін.

5. Иммобилизацияланған биокатализаторлар

5.1. Иммобилизация ұғымы

Иммобилизация – ферменттерді немесе жасушаларды белгілі тасымалдағышқа бекіту, матрица ішінде ұстау немесе басқа әдіспен кеңістікте шектеу тәсілі. Оның мақсаты – биокатализаторды реакциялық ортадан бөлуге, қайта пайдалануға және кейбір жағдайда тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік жасау.

5.2. Негізгі әдістер

- Адсорбция: биокатализатордың тасымалдағыш бетіне байланысуы.
- Коваленттік бекіту: фермент пен тасымалдағыш арасында химиялық байланыс түзілуі.
- Гель ішінде ұстау: биокатализаторды полимерлік матрицада орналастыру.
- Капсулалау: биологиялық компонентті жартылай өткізгіш құрылым ішінде ұстау.

5.3. Массаберу шектеулері

Иммобилизацияланған жүйеде субстрат алдымен тасымалдағыш ішіне немесе бетіне жетуі тиіс. Диффузия баяу болса, ферменттің нақты каталитикалық әлеуеті толық пайдаланылмайды. Өнімнің матрицадан шығуы да маңызды. Сондықтан реакция жылдамдығын бағалауда ферменттің кинетикасымен қатар массаберу процестері ескеріледі.

6. Синтетикалық биология және жасушасыз жүйелер

6.1. Синтетикалық биология

Синтетикалық биология – биологиялық жүйелерді инженерлік жобалау қағидаларымен талдауға және құрастыруға бағытталған сала. Онда генетикалық реттелу модульдері, метаболикалық жолдар және жасушалық функциялар жүйелі түрде зерттеледі. Бұл тәсілдер өнім түзетін биологиялық платформалардың қасиеттерін түсіндіруге және жаңа технологиялық шешімдерді бағалауға көмектеседі.

6.2. Жасушасыз биосинтез

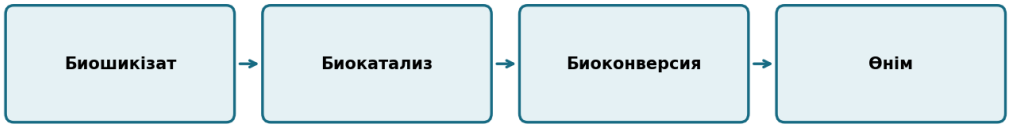
Жасушасыз жүйелерде қажетті ферменттер мен биохимиялық компоненттер жасушадан тыс реакциялық ортада жұмыс істейді. Мұндай тәсіл белгілі реакцияларды жасуша өсуінен тәуелсіз зерттеуге мүмкіндік береді. Негізгі шектеулерге ферменттердің тұрақтылығы, энергия мен кофакторлардың жеткізілуі, жүйе құны және өндірістік масштабтау жатады.

6.3. Биомиметикалық мембраналар

Жасанды липидтік көпіршіктер мен мембраналық модельдер жасуша мембранасының кейбір қасиеттерін зерттеуде пайдаланылады. Олар зат тасымалдауды, мембраналық ақуыздардың қызметін және жасуша тәрізді шектелген орталарды модельдеуге көмектеседі. Бұл құрылымдар толыққанды тірі жасушамен тең емес.

7. Биоконверсияның технологиялық кезеңдері және реакторлар

Биоконверсияның жалпы технологиялық тізбегі: шикізатты сипаттау → биокатализаторды таңдау → реакциялық ортаны жобалау → процесті бақылау → өнімді бөлу → сапаны бағалау. Нақты өндірісте бұл кезеңдердің реті мен құрамы өнімге байланысты өзгереді.



1-сурет. Биоконверсияның жалпыланған технологиялық схемасы.

7.1. Реакторлардың түрлері

Араластырғышы бар резервуарлық реакторлар сұйық биоконверсия үшін кең таралған. Қозғалмайтын қабатты реакторларда биокатализатор тасымалдағышта ұсталып, сұйық фаза оның бойымен өтеді. Мембраналық жүйелерде биокатализаторды ұстап қалу және өнімді бөлу мүмкіндіктері қарастырылады. Реакторды таңдау субстрат қасиетіне, реакция кинетикасына, массаберуге және өнімнің тұрақтылығына тәуелді.

7.2. Басқарылатын параметрлер

Температура мен pH фермент белсенділігіне әсер етеді; субстрат концентрациясы реакция жылдамдығын және кейде ингибирлеуді анықтайды. Араластыру мен сұйықтық қозғалысы массаберуге ықпал етеді. Оттегі қажет болатын жүйелерде оның берілуі де бақыланады. Өндірістік режим параметрлері биокатализатордың нақты қасиеттері негізінде таңдалады.

7.3. Өнімді бөлу

Өнімді бөліп алу үшін сүзу, центрифугалау, мембраналық бөлу, экстракция немесе хроматография қолданылуы мүмкін. Таңдау өнімнің молекулалық массасына, ерігіштігіне, тұрақтылығына және соңғы қолданылу саласына байланысты. Өнімді тазарту кезеңі жалпы технологиялық шығынның маңызды бөлігін құрауы мүмкін.

8. Биоконверсияның өнеркәсіптік мысалдары

8.1. Лактозаның ферменттік гидролизі

Лактаза ферменті лактозаны глюкоза мен галактозаға ыдыратады. Бұл реакция лактозасы төмен өнімдер өндірісінде қолданылады. Ферменттің белсенділігі мен өнім сапасы реакциялық орта жағдайларына және шикізат құрамына тәуелді.

8.2. Өсімдік биомассасын түрлендіру

Лигноцеллюлозалық шикізат целлюлоза, гемицеллюлоза және лигниннен тұрады. Ферменттік гидролиз күрделі көмірсуларды қарапайым қанттарға айналдыруға көмектеседі. Бірақ шикізат құрылымы мен құрамының күрделілігі реакция тиімділігін шектейді. Сондықтан биомассаның қасиеттерін талдау маңызды.

8.3. Органикалық қышқылдар мен аминқышқылдар

Микроорганизмдердің метаболизмі негізінде лимон қышқылы, сүт қышқылы және кейбір аминқышқылдары өндіріледі. Мұнда биоконверсия жасушаның ішкі метаболикалық желісімен байланысты. Көміртек пен азот көздері, оттегі және жанама өнімдер процестің нәтижесіне әсер етеді.

8.4. Экологиялық биоконверсия

Ағын суларды биологиялық тазартуда микроорганизмдер органикалық қосылыстарды түрлендіреді. Анаэробты ыдырауда күрделі органикалық заттар бірнеше микробтық кезең арқылы қарапайым қосылыстарға және биогазға айналуы мүмкін. Экологиялық жүйелерде өнім алу ғана емес, ластаушы заттардың азаюы мен қалдық ағындардың қауіпсіздігі де бағаланады.

9. Биоконверсия кинетикасы және инженерлік көрсеткіштер

9.1. Субстрат конверсиясы

Субстраттың конверсия дәрежесі $X = (S0 - S)/S0 \times 100\%$ түрінде есептеледі, мұндағы $S0$ – бастапқы, S – соңғы субстрат мөлшері немесе концентрациясы (бірдей негізде). Бұл көрсеткіш субстраттың қанша бөлігі түрленгенін көрсетеді, бірақ оның қанша бөлігі мақсатты өнімге айналғанын жеке сипаттамайды.

9.2. Өнім шығымы

Өнімнің субстратқа шаққандағы шығымы $Y_{P/S} = \Delta P/\Delta S$. Мұнда ΔP – түзілген мақсатты өнім массасы, ΔS – жұмсалған субстрат массасы. Мысалы, 80 г субстрат жұмсалып, 28 г мақсатты өнім түзілсе, шығым 0,35 г/г болады. Қалған субстрат жасуша өсуіне, жанама өнімдерге немесе басқа процестерге жұмсалуы мүмкін.

9.3. Ферменттік кинетика

Қарапайым бірсубстратты реакция үшін Михаэлис–Ментен теңдеуі: v = Vmax[S]/(Km + [S]). Мұнда v – бастапқы реакция жылдамдығы, Vmax – шекті жылдамдық, Km – v = Vmax/2 болатын субстрат концентрациясы. Бұл модель субстраттық немесе өнімдік ингибирлеу байқалатын барлық жүйелерді толық сипаттамайды.

9.4. Көлемдік өнімділік

Жұмыс көлемі тұрақты болса, орташа көлемдік өнімділік QP = ΔP/(VΔt) түрінде есептеледі. Өнім шығымы мен өнімділікті бірге бағалау қажет: жоғары конверсия әрдайым жоғары өндірістік өнімділікті білдірмейді.

Көрсеткіш	Формула	Нені сипаттайды
Конверсия	X = (S0 − S)/S0 × 100%	Субстраттың түрленген үлесі
Өнім шығымы	YP/S = ΔP/ΔS	Мақсатты өнімге айналу тиімділігі
Көлемдік өнімділік	QP = ΔP/(VΔt)	Уақыт пен көлемге шаққандағы өнім
Бастапқы ферменттік жылдамдық	v = Vmax[S]/(Km+[S])	Субстрат концентрациясының әсері

10. Есептер және өндірістік кейс

10.1. Конверсияны есептеу

Мысал: реакторға 120 г субстрат енгізілді, процесс соңында 30 г қалды. Конверсия X = (120 − 30)/120 × 100% = 75%. Бұл мән субстраттың 75%-ы түрленгенін білдіреді; мақсатты өнім шығымын анықтау үшін өнім массасы да қажет.

10.2. Өнім шығымын есептеу

Мысал: 90 г субстрат жұмсалып, 36 г мақсатты өнім түзілді. YP/S = 36/90 = 0,40 г/г. Егер осы өнім 40 л көлемде 12 сағатта түзілсе, орташа көлемдік өнімділік QP = 36/(40 × 12) = 0,075 г/(л·сағ).

10.3. Өндірістік жағдай

Кәсіпорын өсімдік шикізатынан ферменттік биоконверсия арқылы қантты өнім алуды жоспарлайды. Зертханалық сынақта субстрат конверсиясы жоғары болғанымен, мақсатты өнімнің шығымы төмен. Ықтимал себептер: шикізат құрамының әркелкілігі, жанама реакциялар, өнімнің тұрақсыздығы немесе бөлу кезеңіндегі шығындар. Мәселені талдау үшін шикізат, аралық өнімдер, соңғы өнім және қалдықтар бойынша материалдық баланс құрастыру қажет.

- Неліктен конверсия мен шығым бірдей көрсеткіш емес?
- Иммобилизацияланған ферменттің қайта пайдаланылуы қандай экономикалық артықшылық беруі мүмкін?
- Массаберу шектеулері қандай жағдайда маңызды?
- Қандай өлшемдер өнімнің бөлу кезеңінде жоғалғанын көрсетуі мүмкін?

11. Экологиялық және экономикалық бағалау

Биоконверсия биологиялық шикізатты құнды өнімге айналдыру арқылы айналмалы экономикаға үлес қоса алады. Алайда биокатализаторды өндіруге, шикізатты дайындауға, энергия мен су пайдалануға кететін ресурстар да ескерілуі тиіс. Өмірлік циклді бағалау (LCA) технологияның шикізаттан соңғы өнімге дейінгі ықтимал экологиялық әсерін салыстыруға мүмкіндік береді.

Экономикалық бағалауда субстрат құны, биокатализатордың бағасы мен қызмет мерзімі, реактор өнімділігі, тазарту шығындары және қалдықтарды өңдеу есепке алынады. Тек зертханалық реакцияның жоғары шығымы өндірістік тиімділіктің жеткілікті дәлелі бола алмайды.

Қорытынды

Жасанды биологиялық жүйелер мен биоконверсия инженерлік биотехнологияда табиғи биохимиялық механизмдерді мақсатты өндірістік міндеттерге бейімдеуге мүмкіндік береді. Жасушалық және ферменттік биокатализаторлардың әрқайсысының артықшылықтары мен шектеулері бар. Өнімнің тиімді түзілуі фермент кинетикасына, массаберуге, субстрат құрамына, реактор конструкциясына және тазарту кезеңдеріне байланысты. Технологияны бағалауда конверсия, өнім шығымы, көлемдік өнімділік, сапа, экономикалық және экологиялық көрсеткіштер кешенді қарастырылуы тиіс.

Бақылау сұрақтары

1. Жасанды биологиялық жүйе дегеніміз не?
2. Биоконверсия мен ферментацияның айырмашылығы қандай?
3. Ферменттік және тұтас жасушалық биокатализдің артықшылықтарын салыстырыңыз.
4. Ферменттік каскад дегеніміз не?
5. Иммобилизацияның негізгі әдістерін атаңыз.
6. Иммобилизацияланған жүйеде массаберу неге маңызды?
7. Жасушасыз биосинтездің ерекшеліктері қандай?
8. Синтетикалық биологияның инженерлік биотехнологиядағы орны қандай?
9. Биоконверсия реакторларының қандай түрлері қолданылады?
10. Лактозаның ферменттік гидролизі қай салада маңызды?
11. Лигноцеллюлозалық шикізатты түрлендіру неге күрделі?
12. Конверсия дәрежесі қалай есептеледі?
13. Өнім шығымы мен көлемдік өнімділіктің айырмашылығы қандай?
14. Биоконверсияның экологиялық әсері қалай бағаланады?
15. Өндірістік масштабтаудың қандай шектеулері болуы мүмкін?