7-Дәріс: Полимерлердің биодеградациясы және қоршаған ортаға әсері

Мақсаты: Магистранттарға полимерлердің биодеградация процесін, оның механизмдерін және оған әсер ететін факторларды түсіндіру. Полимер қалдықтарының қоршаған ортаға әсерін талдау және экологиялық тұрғыдан қауіпсіз биоыдырайтын полимерлерді қолданудың маңыздылығын көрсету.

Оқу нәтижелері:

- Полимерлердің биодеградация механизмін түсіндіреді.
- Биодеградацияға әсер ететін факторларды талдайды.
- Биоыдырайтын және биоыдырамайтын полимерлердің айырмашылығын түсінеді.
- Полимерлердің қоршаған ортаға тигізетін әсерін бағалайды.
- Экологиялық тұрғыдан тиімді материалдарды таңдауды үйренеді.
-

Дәрістің мазмұны: Кіріспе: Полимерлердің қоршаған ортада жиналуы және экологиялық мәселе. Биодеградация ұғымы және оның маңызы. Полимерлердің биодеградация механизмдері. Физикалық, химиялық және биологиялық ыдырау. Микроорганизмдер мен ферменттердің рөлі. Биодеградацияға әсер ететін факторлар. Биоыдырайтын және биоыдырамайтын полимерлердің салыстырмалы сипаттамасы.

Табиғи және синтетикалық биоыдырайтын полимерлер.

1. Полимерлердің қоршаған ортада жиналуы және экологиялық мәселелер

Полимерлік материалдар қаптама, медицина, ауыл шаруашылығы және өнеркәсіп салаларында кеңінен қолданылады. Алайда полиэтилен (PE), полипропилен (PP) және полистирол (PS) сияқты көптеген дәстүрлі полимерлер қоршаған ортада баяу өзгереді. Олардың қалдықтары топырақта, суда және тірі организмдерде жиналып, микропластиктердің түзілуіне ықпал етуі мүмкін.

Полимер қалдықтарының экологиялық әсерін азайту үшін қайта пайдалану, механикалық және химиялық қайта өңдеу, сондай-ақ биоыдырайтын материалдарды қолдану тәсілдері зерттеледі.

2. Биодеградация ұғымы және оның маңызы

Биодеградация — полимерлердің микроорганизмдер, ферменттер немесе олардың метаболизмдік процестері әсерінен химиялық құрылымының өзгеруі және ыдырауы.

Биодеградация кезінде полимердің молекулалық массасы төмендеп, тізбектері қысқа фрагменттерге бөлінуі мүмкін. Толық аэробтық

биодеградация жағдайында соңғы өнімдер ретінде көмірқышқыл газы, су және биомасса түзіледі. Анаэробтық жағдайда метан да түзілуі мүмкін.

Полимердің сыртқы түрінің өзгеруі немесе ұсақ бөлшектерге бөлінуі оның толық биодеградацияланғанын білдірмейді.

3. Полимерлердің ыдырау механизмдері

Полимерлер қоршаған ортада физикалық, химиялық және биологиялық процестер арқылы өзгереді. Бұл механизмдер көбіне бір уақытта жүреді.

3.1. Физикалық ыдырау

Ультракүлгін сәуле, температураның ауытқуы, механикалық үйкеліс және басқа факторлар материалдың жарылуына, морттануына немесе ұсақ бөлшектерге бөлінуіне әкелуі мүмкін. Физикалық ыдырау полимердің химиялық құрылымын міндетті түрде толық бұзбайды.

3.2. Химиялық ыдырау

Полимер тізбектеріндегі химиялық байланыстардың үзілуі нәтижесінде молекулалық масса төмендейді. Негізгі процестерге гидролиз, тотығу және фотохимиялық реакциялар жатады.

Мысалы, PLA және PLGA сияқты полиэфирлердің эфирлік байланыстары су әсерінен гидролизденуі мүмкін.

3.3. Биологиялық ыдырау

Микроорганизмдер немесе ферменттер полимер тізбектерін ыдыратып, төмен молекулалы қосылыстар түзеді. Бұл өнімдерді микроорганизмдер әрі қарай метаболизмге ұшыратуы мүмкін.

Биодеградацияның жалпы сызбасы:

Полимер → олигомерлер мен мономерлер → микроорганизмдер метаболизмі → CO_2, H_2O және биомасса (аэробтық жағдайда).

4. Микроорганизмдер мен ферменттердің рөлі

Бактериялар мен саңырауқұлақтар бөлетін ферменттер полимерлердің химиялық байланыстарын үзуге қатысады.

- Эстеразалар мен липазалар — кейбір полиэфирлердің эфирлік байланыстарын гидролиздейді.
- Протеазалар — ақуыздық полимерлердің пептидтік байланыстарына әсер етеді.
- Амилаза — крахмалдың гликозидтік байланыстарын ыдыратады.
- Целлюлаза — целлюлозаның β-1,4-гликозидтік байланыстарын үзуге қатысады.

Микроорганизмдердің белсенділігі полимердің химиялық құрылымына, ферменттердің қолжетімділігіне және қоршаған орта жағдайларына байланысты.

5. Биодеградацияға әсер ететін факторлар

Полимердің ыдырау жылдамдығына мына факторлар әсер етеді:

- Химиялық құрылым: гидролизге сезімтал байланыстардың болуы.
- Молекулалық масса: жоғары молекулалық масса ыдырау кинетикасына әсер етуі мүмкін.
- Кристалдылық: жоғары кристалдылық су мен ферменттердің енуін шектеп, ыдырауды баяулатуы ықтимал.
- Гидрофильділік: судың полимерге енуіне және гидролизге әсер етеді.
- Температура мен pH: гидролиз жылдамдығын және микроорганизмдердің белсенділігін өзгертеді.
- Оттегінің болуы: аэробтық және анаэробтық биодеградация процестерінің жүруіне ықпал етеді.
- Микроорганизмдердің құрамы: белгілі бір полимерді ыдырататын ферменттердің болуына байланысты.

6. Биоыдырайтын және биоыдырамайтын полимерлерді салыстыру

Көрсеткіш	**Биоыдырайтын полимерлер**	**Дәстүрлі биоыдырауы баяу полимерлер**
Мысалдар	PLA, PHA, кейбір полиэфирлер, крахмал	PE, PP, PS
Химиялық құрылым	Биологиялық немесе химиялық ыдырауға сезімтал байланыстар болуы мүмкін	Көміртек-көміртек негізгі тізбегі жиі тұрақты
Ыдырау жағдайлары	Нақты орта мен жағдайларға тәуелді	Қоршаған ортада өте баяу өзгеруі мүмкін
Артықшылығы	Қолайлы жағдайда қалдықтың жиналуын азайтуға мүмкіндік береді	Жоғары тұрақтылық, ұзақ пайдалану мерзімі
Шектеуі	Арнайы компосттау немесе өңдеу жағдайлары қажет болуы мүмкін	Ұзақ мерзімді қалдықтар мен микропластик түзілу қаупі

Маңызды: биоыдырайтын материалдардың барлығы табиғи ортада тез ыдырамайды. Мысалы, кейбір PLA бұйымдары өндірістік компосттау жағдайларын қажет етеді.

7. Табиғи биоыдырайтын полимерлер

Табиғи биоыдырайтын полимерлер тірі организмдерде синтезделеді немесе табиғи шикізаттан алынады.

- Крахмал — амилоза мен амилопектиннен тұрады; биоыдырайтын қаптама материалдарын жасауға қолданылады.

- Целлюлоза — өсімдік жасуша қабырғасының құрылымдық полимері; арнайы ферменттер әсерінен ыдырайды.
- Хитозан — хитиннен алынатын полисахарид; биомедициналық материалдарда және қаптамаларда қолданылады.
- Желатин — коллагеннен алынатын ақуыздық материал; гидрогельдер мен дәрілік жеткізу жүйелерінде пайдаланылады.
- Альгинат — биосәйкесті гидрогельдер мен микрокапсулалар дайындауға арналған полисахарид.

Табиғи полимерлердің маңызды артықшылықтары — жаңартылатын шикізаттан алынуы және көптеген түрлерінің биологиялық ыдырауға қабілетті болуы. Дегенмен олардың құрамы, механикалық қасиеттері мен тұрақтылығы шикізатқа және өңдеу әдісіне тәуелді.

8. Синтетикалық биоыдырайтын полимерлер

Синтетикалық биоыдырайтын полимерлердің құрылымын, молекулалық массасын және ыдырау жылдамдығын синтез кезінде басқаруға болады.

Полимер	**Негізгі ерекшелігі**	**Қолданылуы**
Полилактид (PLA)	Гидролизге ұшырайтын полиэфир	Қаптама, медициналық бұйымдар
Полилактид-ко-гликолид (PLGA)	Құрамы мен молекулалық массасына қарай ыдырауы реттеледі	Дәрілік заттарды жеткізу
Полигидроксиалканоаттар (PHA)	Микроорганизмдер синтездейтін полиэфирлер тобы	Қаптама және биомедициналық материалдар
Поликапролактон (PCL)	Баяу ыдырайтын алифатты полиэфир	Тіндік инженерия, дәрілік жүйелер
Полигликолид (PGA)	Гидролизге сезімтал полиэфир	Кейбір биоыдырайтын медициналық бұйымдар

Синтетикалық полимерлердің ыдырауы химиялық құрылымға, кристалдылыққа, молекулалық массаға және қоршаған ортаға байланысты. Биоыдырау өнімдерінің қауіпсіздігі де жеке бағалануы керек.

9. Қорытынды

Полимерлердің биодеградациясы — материалдардың химиялық құрылымы мен қоршаған орта жағдайларының өзара әсеріне тәуелді күрделі процесс. Табиғи және синтетикалық биоыдырайтын полимерлер экологиялық

жүктемені азайтуға, медициналық материалдар жасауға және қалдықтарды басқарудың жаңа тәсілдерін дамытуға мүмкіндік береді.

Магистратура деңгейінде полимердің биоыдырайтындығын оның шығу тегіне қарап қана бағалау жеткіліксіз. Ыдырау механизмін, нақты ортадағы кинетиканы, соңғы өнімдердің қауіпсіздігін және толық минералдану дәрежесін ескеру қажет.

Сынақ сұрақтары:

1. Полимерлердің биодеградация процесін анықтап, оның негізгі кезеңдерін түсіндіріңіз.
2. Физикалық, химиялық және биологиялық ыдыраудың айырмашылықтарын салыстырыңыз.
3. Биодеградацияға әсер ететін факторларды және олардың маңызын мысалдармен талдаңыз.
4. Биоыдырайтын және биоыдырамайтын полимерлердің артықшылықтары мен кемшіліктерін салыстырыңыз.
5. Қоршаған ортаға полимер қалдықтарының тигізетін негізгі зиянды әсерлерін сипаттаңыз.
6. Қалдықтарды басқару әдістерінің тиімділігін бағалаңыз.
7. "Жасыл химия" принциптерін биоыдырайтын полимерлер синтезінде қолдану жолдарын түсіндіріңіз.
8. Биоыдырайтын полимерлердің биомедициналық және өндірістік қолдану мүмкіндіктерін мысалдармен негіздеңіз.

Дәріс мазмұны бойынша әдебиеттер:

1. Ratner B. D. et al. *Biomaterials Science: An Introduction to Materials in Medicine.* [Third Edition], Academic Press, 2012, 1573 бет books.google.comshop.elsevier.com.
2. Langer R., Peppas N. A. “Advances in Biomaterials, Drug Delivery and Bionanotechnology” *AIChE Journal*, Vol. 49, No. 12, 2003, бет 2990–3006 scirp.org
3. «Полимеры в биологии и медицине» ред. Майк Дженкинс Перевод с англ. — О.И. Киселева, науч. ред. — Н.Л. Клячко. – М.:Научный мир, 2011. – 256 с.: ил.- (Фундаментальные основы нанотехнологий: исследования и разработки).
4. Dumitriu, S., & Popa, V. (Eds.). (2013). Polymeric Biomaterials: Structure and Function, Volume 1 (1st ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b13757.
5. Dumitriu, S., & Popa, V. (Eds.). (2013). Polymeric Biomaterials: Medicinal and Pharmaceutical Applications, Volume 2 (1st ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b13758.