

4-дәріс. Интерполимерлі комплекстердің кластары және полиэлектrolиттік комплекстер

1. Дәрістің мақсаты

- Интерполимерлік комплекстердің (ИПК) түзілу механизмдерін және олардың құрылымдық ерекшеліктерін түсіндіру;
- ИПК-дің жіктелуін (кластары бойынша) талдау және олардың түзілу табиғатын сипаттау;
- Полиэлектrolиттік комплекстердің физика-химиялық қасиеттерін және түзілу шарттарын зерттеу;
- Интерполимерлік комплекстердің практикалық маңыздылығын нақты мысалдар арқылы көрсету.

2. Күтілетін оқу нәтижелері

Дәріс

соңында

студенттер:

- ☒ Интерполимерлік комплекстердің негізгі түрлерін жіктей алады;
- ☒ Полимерлер арасындағы физика-химиялық әрекеттесу түрлерін түсіндіреді;
- ☒ Полиэлектrolиттік комплекстердің түзілу принциптерін және қасиеттерін сипаттай алады;
- ☒ Интерполимерлік комплекстердің фармацевтика, биотехнология, экология және материалтанудағы рөлін біледі.

3. Негізгі бөлім

3.1. Интерполимерлік комплекстер туралы жалпы түсінік

Интерполимерлік комплекстер (ИПК) — бұл екі немесе одан да көп түрлі полимерлердің өзара физикалық әрекеттесуі нәтижесінде түзілетін макромолекулалық жүйелер. Бұл әрекеттесулер химиялық коваленттік байланыстар емес, әлсіз, бірақ бағытталған **физикалық байланыстар** арқылы жүреді.

Мұндай әрекеттесулердің негізгі түрлері:

- сутектік байланыс;
- электростатикалық (иондық) тартылыстар;
- Ван-дер-Ваальс күштері;
- гидрофобтық әсерлесулер.

Интерполимерлік комплекс түзілу процесі макромолекулалардың кеңістіктегі орналасуын өзгертеді, нәтижесінде жаңа физика-химиялық қасиеттерге ие жүйе түзіледі: тұтқырлығы өзгереді, ерігіштігі төмендейді, механикалық беріктік артады, ал кей жағдайларда биосәйкестілік пен функционалдық қасиеттері жақсарады.

3.2. Интерполимерлік комплекстердің түзілу механизмі

ИПК түзілуі көбіне **ерітіндіде** жүреді. Бір полимер (мысалы, донор) сутектік байланыс түзуге қабілетті топтарға ($-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{COOH}$) ие болса,

екіншісі (мысалы, акцептор) электрон жұбы бар топтарға ($-C=O$, $-O-$, $-N=$) ие болады. Осы екі полимер араласқанда сутектік байланыстар түзіледі, нәтижесінде **макромолекулалық тор** қалыптасады.

Егер жүйеде иондық топтар болса (мысалы, COO^- және NH_3^+), онда **электростатикалық тартылыстар** пайда болып, **полиэлектролиттік комплекс** түзіледі.

3.3. Интерполимерлік комплекстердің кластары

Интерполимерлік комплекстерді олардың түзілу табиғатына қарай бірнеше класқа бөлуге болады.

I класс — Сутектік байланыс негізіндегі комплекстер

Түзілу принципі: донор және акцептор топтар арасындағы сутектік байланыстар.

Мысалдар:

- Полиакрил қышқылы (PAA) + Полиэтиленгликоль (PEG);
- Поливинилпирролидон (PVP) + Поливинилспирт (PVA);
- Полиакрил қышқылы + Полиметилметакрилат (PMMA).

Қасиеттері:

- рН пен температураға сезімтал;
- Органикалық еріткіштерде оңай түзіледі;
- Ерігіштігі төмен комплекстер түзеді;
- Сутектік байланыс энергиясы 5–30 кДж/моль.

Қолданылуы:

- Фармацевтикалық гидрогельдер;
- Пленкалық қаптамалар;
- Интеллектуалды дәрілік жүйелер.

II класс — Иондық немесе полиэлектролиттік комплекстер

Түзілу принципі: қарама-қарсы зарядталған полимерлердің электростатикалық тартылысы.

Мысалдар:

- Поли(диаллилдиметиламмоний хлориді) (PDADMAC) + Полиакрил қышқылы (PAA);
- Хитозан (оң заряд) + Альгинат (теріс заряд);
- Поливиниламин + ДНҚ.

Қасиеттері:

- Түзілетін комплекс көбіне ерімейді немесе гель күйінде болады;
- рН және тұз концентрациясына өте сезімтал;
- Электр өткізгіштігі жоғары;
- Механикалық беріктігі жақсы.

Энергиясы: 20–100 кДж/моль.

Қолданылуы:

- Ион өткізгіш мембраналар;
- Биомедициналық гидрогельдер;

- Сенсорлар мен электрод жабындары.

III класс — Гидрофобтық әрекеттесулер негізіндегі комплекстер

Түзілу принципі: гидрофобты топтар арасындағы су ортасында бірігу (мицелла түзу).

Мысалдар:

- Поли(винилпирролидон) + Поли(N-винилкапролактама);
- Полиакрил қышқылы + Полистирол.

Қасиеттері:

- Температура мен полярлыққа сезімтал;
- Наноөлшемді агрегаттар түзе алады;
- Жарық немесе температура әсерінен қайтымды өзгерістерге ұшырайды.

Қолданылуы:

- Нанокапсулалар;
- Жарыққа сезімтал материалдар;
- Эмульсия тұрақтандырғыштар.

IV класс — Комплексті (гибридтік) типтер

Бұл комплекстерде бірнеше әрекеттесу түрі қатар жүреді: сутектік, электростатикалық және гидрофобтық.

Мысалы: хитозан/полиакрил қышқылы — сутектік және иондық байланыстар қатар жүреді.

Қолданылуы:

- Интеллектуалды (stimuli-responsive) материалдар;
- Биосенсорлар және жасуша тасымалдағыштар;
- Өзін-өзі қалпына келтіретін композиттер.

3.4. Полиэлектролиттік комплекстердің физика-химиялық негіздері

Полиэлектролиттік комплекс (ПЭК) — екі қарама-қарсы зарядталған полимер тізбегінің электростатикалық тартылысы нәтижесінде түзілетін макромолекулалық құрылым.

ПЭК түзілу сатылары:

1. Поликатион және полинегативті полимер ерітіндіде иондық күйде болады.
2. Олар өзара кездескенде зарядталған топтар бейтараптанады.
3. Полимер тізбектері иондық жұптар түзіп, агрегаттарға бірігеді.
4. Нәтижесінде **коацерват** немесе **гель** түріндегі жүйе түзіледі.

Маңызды факторлар:

- **pH:** полимердің иондану дәрежесін анықтайды;
 - **Иондық күш:** жоғары тұз концентрациясы электростатикалық тартылысты әлсіретеді;
 - **Температура:** тізбектің икемділігі мен комплекс тұрақтылығына әсер етеді.
-

3.5. Полиэлектrolиттік комплекстердің құрылымы мен қасиеттері

- Аморфты немесе жартылай кристалды болуы мүмкін;
- Қалың қабатты пленкалар мен наноқабықтар түзеді;
- Бейімделгіш (adaptive) және қайтымды (reversible) жүйелер болып табылады;

- Тұрақтылығы рН мен иондық күшке байланысты реттеледі.

Механикалық

қасиеттер:

ПЭК гелдері әдеттегі гидрогельдерге қарағанда тығыз әрі берік, себебі иондық байланыстар сутектік байланыстарға қарағанда берік болады.

3.6. Қолданылу бағыттары



1. Фармацевтика

- Дәрілік тасымалдағыш жүйелер (мысалы, хитозан/альгинат ПЭК);
- Контакт линзалар мен трансдермальды патчтар;
- Дәрілік молекулалардың бағытты және баяу босау жүйелері.



2. Материалтану

- рН және температураға жауап беретін интеллектуалды материалдар;

- Сенсорлар мен микроактуаторлар;
- Жарық немесе электр өрісіне сезімтал жабындар.



3. Биотехнология

- Ферменттерді иммобилизациялау;
- Жасанды тіндер мен биоматрицалар;
- Биосыдырайтын полимерлер негізінде экологиялық материалдар.



4. Экология және су тазарту

- Ауыр металл иондарын, радионуклидтерді және органикалық бояғыштарды сіңіру;
- Қалдық суларды тазартуға арналған сорбциялық жүйелер.

4. Қорытынды

Интерполимерлік комплекстер — макромолекулалар арасындағы бейхимиялық өзара әрекеттесулер нәтижесінде түзілетін функционалды жүйелер.

Олардың ішінде **полиэлектrolиттік комплекстер** ерекше орын алады, себебі олар жоғары механикалық беріктікке, ортаның әсеріне бейімделгіштікке және биосәйкестілікке ие.

Қазіргі заманғы зерттеулер көрсеткендей, мұндай комплекстер **дәрі жеткізу, сенсорика, интеллектуалды материалдар және жасыл технологиялар** бағыттарында үлкен әлеуетке ие.

5. Өзін-өзі қайталау сұрақтары

1. Интерполимерлік комплекстердің түзілу табиғаты қандай?
2. Интерполимерлік комплекстердің негізгі кластары мен олардың мысалдарын атаңыз.

3. Сутектік және электростатикалық комплекстердің айырмашылығы неде?
4. Полиэлектролиттік комплекс дегеніміз не және ол қалай түзіледі?
5. рН пен иондық күштің ПЭК түзілуіне әсері қандай?
6. Қандай табиғи полимерлер полиэлектролиттік комплекс түзе алады?
7. ПЭК гельдерінің құрылымдық ерекшеліктері қандай?
8. Полиэлектролиттік комплекстердің биотехнологиядағы қолданылуын сипаттаңыз.
9. Интерполимерлік комплекстердің экологиялық артықшылықтарын атаңыз.
10. Қазіргі ғылыми зерттеулерде ПЭК қандай жаңа бағыттарда дамып жатыр?

6. Қолданылған әдебиеттер (жаңа дереккөздермен)

1. Nekrasova, N. et al. *Interpolymer Complexes in Aqueous Solutions: Structure, Formation, and Applications*. **Polymers**, 2022, 14(7), 1456. DOI: [10.3390/polym14071456](https://doi.org/10.3390/polym14071456)
2. Kopishev, A. et al. *Stimuli-Responsive Polymer Complexes Based on Polyacrylic Acid and Cellulose Derivatives*. **Polymers**, 2025, 17(3), 687.
3. Zhang, H. et al. *Polyelectrolyte Complexes: Fundamentals and Advanced Applications*. **Advanced Materials**, 2024, 36(5), 2308742.
4. Radeva, T. (Ed.) *Polymer Complexes and Interpolymer Interactions*. CRC Press, 2023.
5. Zhou, Q., & Huang, J. *Hydrogen-Bonded and Electrostatic Polymer Complexes for Smart Materials*. **Progress in Polymer Science**, 2023, 143, 101693.
6. Bhattacharya, S., & Mukherjee, A. *Hydrophobic and Electrostatic Interactions in Polymer Blends: A Review*. **Macromolecular Chemistry and Physics**, 2024, 225(9), 2401156.