

Курта С.А. Хімія високомолекулярних сполук

Лекція №7

Тема 7. Біополімери природного та мікробіологічного походження.

Мета: представити сучасні теорії хімічної будови високомолекулярних органічних природного та мікробіологічного походження., їх реакційної здатності, промислових і лабораторних методів синтезу і властивостей основних класів природних високомолекулярних сполук, їх взаємних перетворень і використання, найважливіших представників в галузях науки і техніки, і в побуті;

План:

- Біополімери – структурна основа живих організмів
- Полісахариди – біологічні макромолекули
- Біологічна роль полісахаридів.
- Камеді та слизи – представники природних полімерів
- Ефіри целюлози є хімічно модифікованими природними полімерами.

Зміст лекції

РОЗДІЛ 7. Біополімери природного та мікробіологічного походження.

7.1 Біополімери – структурна основа живих організмів

Біополімери - полімери біологічного походження, загальна назва макромолекулярних сполук, що існують у живій природі. Це високомолекулярні природні сполуки, що є структурною основою всіх живих організмів і що грають визначальну роль в процесах життєдіяльності.

Прикладами біополімерів є полімери цукрів (полісахариди): целюлоза, крохмаль, інουλін, декстрин, ксилан тощо; білки та пептиди, ДНК та РНК. Більшість біополімерів є кополімерами (співполімерами), тобто складаються із мономерних ланок різного типу [27].

Біополімери складаються із однакових (або схожих) ланок – мономерів. Мономерами білків є амінокислоти, нуклеїнових кислот – нуклеотиди, а полісахаридів – моносахариди. Виділяють два типи біополімерів: регулярні (деякі полісахариди) та нерегулярні (білки, нуклеїнові кислоти, деякі полісахариди). Їхні структурні одиниці є біомолекулами – органічними речовинами, що синтезуються живими організмами. Окрім білків, полісахаридів та нуклеїнових кислот вони утворюють малі компоненти обміну речовин. До складу біомолекул входять атоми вуглецю, водню, азоту, кисню, а також фосфору та сірки. Атоми інших елементів входять до складу біологічно значимих речовин значно рідше [27, 28].

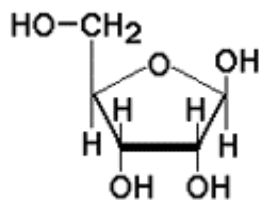
Серед біомолекул виділяють:

- малі молекули: ліпіди (жири), фосфоліпіди, гліколіпіди, стероли (стерини), гліцероліпіди); вітаміни; гормони та нейромедіатори; метаболіти;
- мономерні молекули: амінокислоти, моносахариди, нуклеотиди;
- олігомери: олігопептиди, олігосахариди, олігонуклеотиди;
- полімери (біополімери): поліпептиди і білки; полісахариди (крохмаль, целюлоза та ін.); полінуклеотиди (ДНК, РНК) [27, 28].

7.1. Полісахариди – біологічні макромолекули

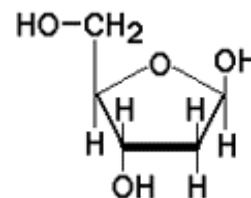
Молекули полімерних вуглеводів у вигляді моносахаридних залишків, що сполучені між собою глікозидним зв'язком, є структуроутворюючими одиницями полісахаридів (гліканів). Вони формують лінійну або розгалужену кінцеву біополімерну структуру.

Вуглеводи (цукри, сахариди) – органічні речовини, що містять карбонільну групу та кілька гідроксильних груп. Назва класу сполук походить від слів «вуглецеві гідрати», що вперше було запропоновано К. Шмідтом у 1844 році. Поява такої назви пов'язана з тим, що перші із відомих вуглеводів описувались брутто-формулою $C_x(H_2O)_y$, формально являючись сполуками карбону та води [29]. Моносахариди – прості вуглеводи, зазвичай містять альдегідну чи кетогрупу. Серед гексоз яскравими представниками є глюкоза, фруктоза, галактоза, серед пентоз - рибоза та дезоксирибоза [30]:



β -D-Рибоза

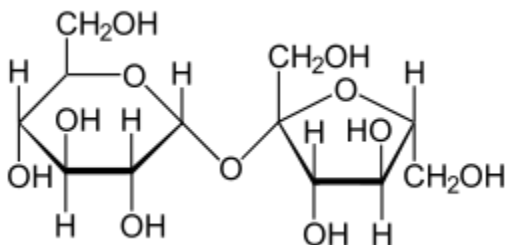
(2.1)



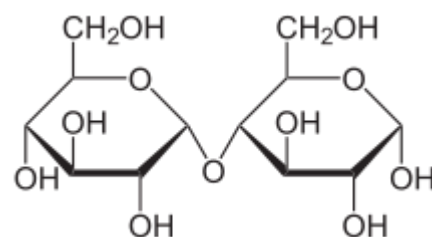
β -D-Дезоксирибоза

(2.2)

Представниками дисахаридів є сахароза, мальтоза та лактоза [30]:



2.3)



(2.4)

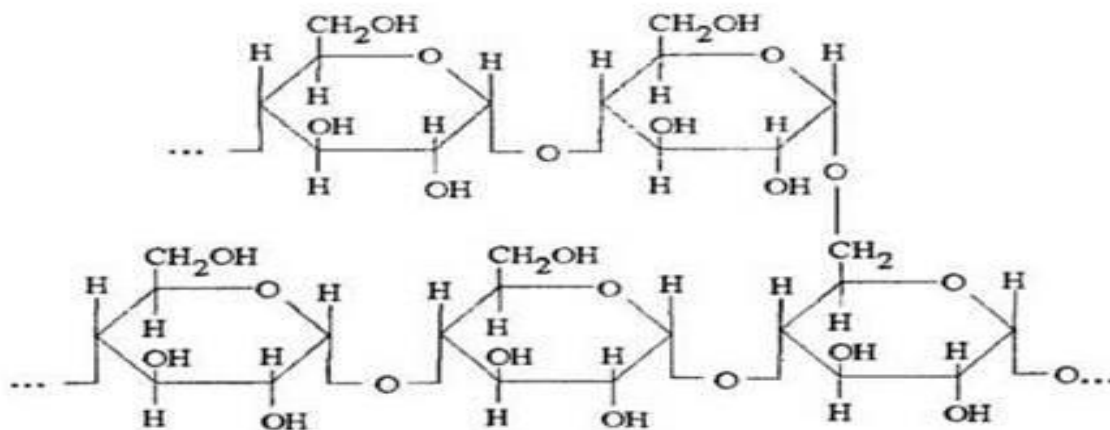
Вуглеводи є невід'ємним компонентом клітин і тканин усіх живих організмів – представників рослинного і тваринного світу, складаючи (по масі) основну частину органічної речовини на Землі. Джерелом вуглеводів є процес фотосинтезу, що здійснюється рослинами. Вуглеводи є достатньо широким класом органічних сполук, серед них зустрічаються речовини, властивості яких сильно відрізняються. Це дозволяє вуглеводам виконувати

різноманітні функції у живих організмах. Сполуки цього класу складають коло 80% сухої рослинної маси та 2-3% маси тварин [29, 31].

Полісахариди утворюються із низькомолекулярних сполук, - вуглеводів, - циклічні молекули яких сполучаються між собою з утворенням глікозидних зв'язків шляхом конденсації гідроксильних груп. Полісахариди частіше всього неоднорідні, складаються із суміші неміцних залишків, що повторюються. Залежно від структури ці макромолекули володіють різними властивостями, на що має вплив характер їх моносахаридних блочних молекул. Коли полісахарид утворений моносахаридами одного типу, то він називається гомополісахаридом або гомогліканом, у випадку присутності більше одного типу моносахаридів вони називаються гетерополісахаридами або гетерогліканами [28, 38].

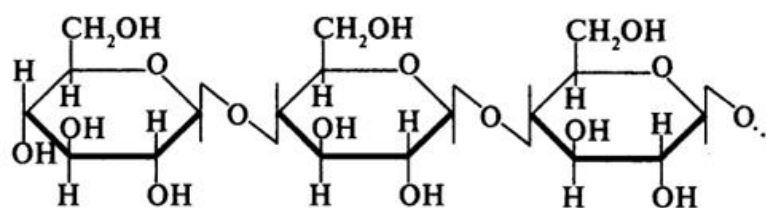
Полісахариди, як і моносахариди, описуються загальною формулою $C_x(H_2O)_y$, де x – число, зазвичай між 200 і 2500. Враховуючи, що повторювані залишки у полімерному ланцюзі найчастіше є шестикарбовоними моносахаридами, загальна формула полісахаридів може також мати вигляд $(C_6H_{10}O_5)_n$, де $40 \leq n \leq 3000$ [28, 29, 30].

Полісахариди є складними цукрами, полімерами моносахаридів, зазвичай вони нерозчинні або малорозчинні у воді, однак при гідратації їх гідроксильних груп при нагріванні у водному середовищі утворюють колоїди. Молекули полісахаридів синтезуються живими організмами і мають зазвичай розгалужену структуру [30]. Прикладами можуть бути резервні полісахариди, такі як крохмаль і глікоген, та структурні полісахариди – целюлоза і хітин. Структура глікогену відрізняється від структури крохмалю більшою розгалуженістю та коротшими ланцюгами (по 12-18 ланок α -глюкози у кожному) [28, 30].



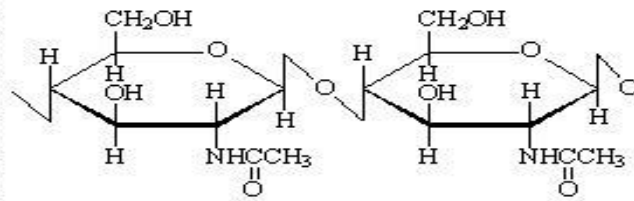
Загальна структура крохмалю та глікогену

(2.5)



Целюлоза

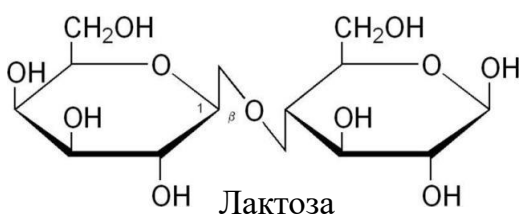
Оскільки довжини, пон... використовується [28].



Хитин

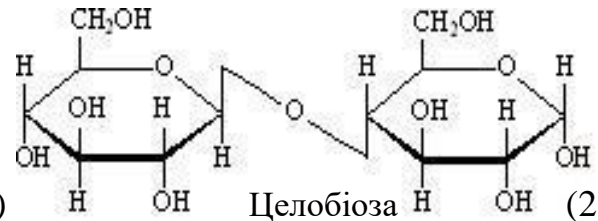
молекул різної полісахаридів не

Полісахариди з більш короткими ланцюгами, з 2-10 мономерів, називаються олігосахаридами. Розрізняють гомоолігосахариди - олігосахариди, що складаються з однакових моносахаридних залишків, та гетероолігосахариди, - що складаються із різних залишків. Найбільш поширеними серед олігосахаридів є дисахариди й трисахариди. Найвідомішими представниками дисахаридів є сахароза, мальтоза, лактоза.



Лактоза

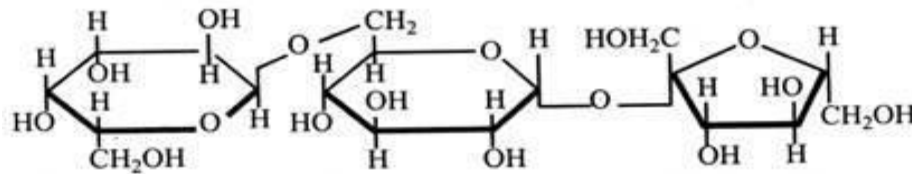
(2.8)



Целобіоза

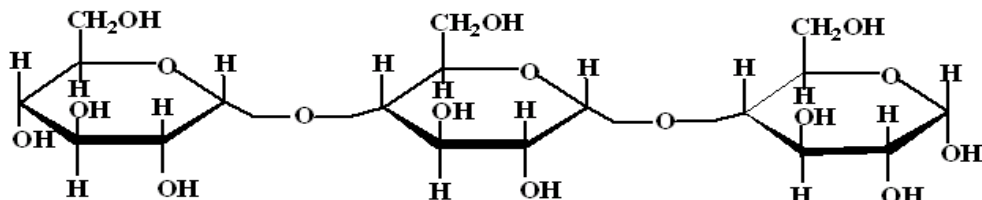
(2.9)

До трисахаридів належать рафіноза, генціаноза, меліціоза, мальтотріоза, ерлоза [28].



Рафіноза

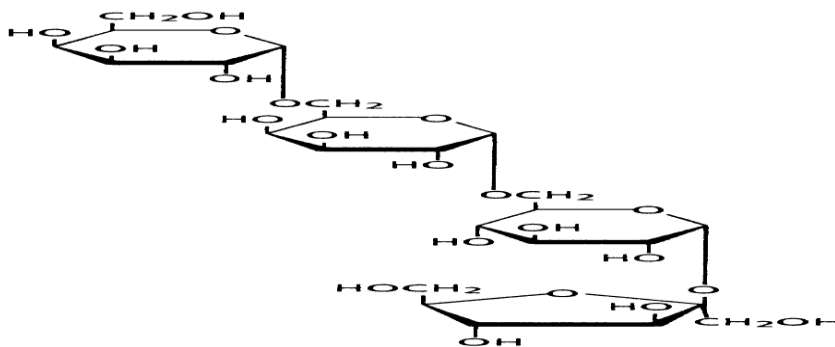
(2.10)



Мальтотріоза

(2.11)

Представниками тетрасахаридів є акарбоза та стахіоза, пентасахаридів - маннеопентоза, гексасахаридів - маннеогексоза [28].

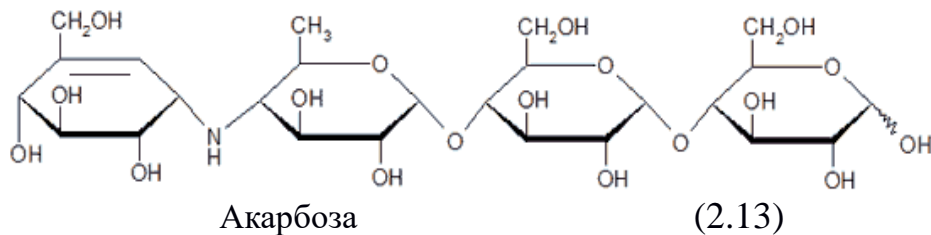


Стахіоза

(2.12)

Більшість олігосахаридів - тверді кристалічні речовини або сиропи, що

некристалізуються, білого кольору чи безбарвні, добре розчинні у воді, малорозчинні у нижчих спиртах і практично нерозчинні у інших звичайних розчинниках, за винятком диметилформамида, формамида і диметилсульфоксида. Деякі вищі нерозгалужені регулярні олігосахариди типу целодекстринів важко розчиняються у воді, причому з ростом молекулярної маси їх розчинність швидко спадає. Багато олігосахаридів мають солодкий смак [28].

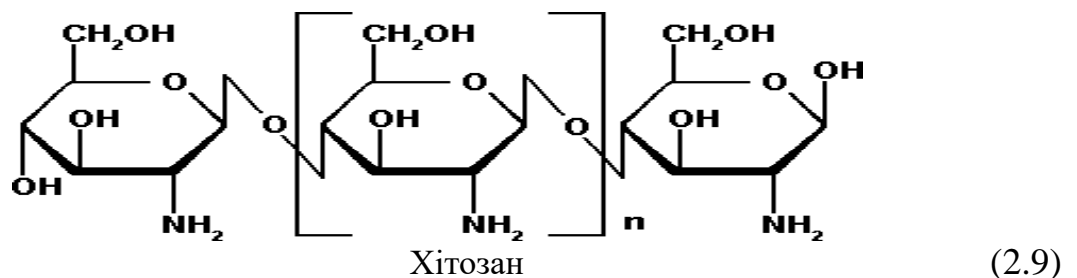
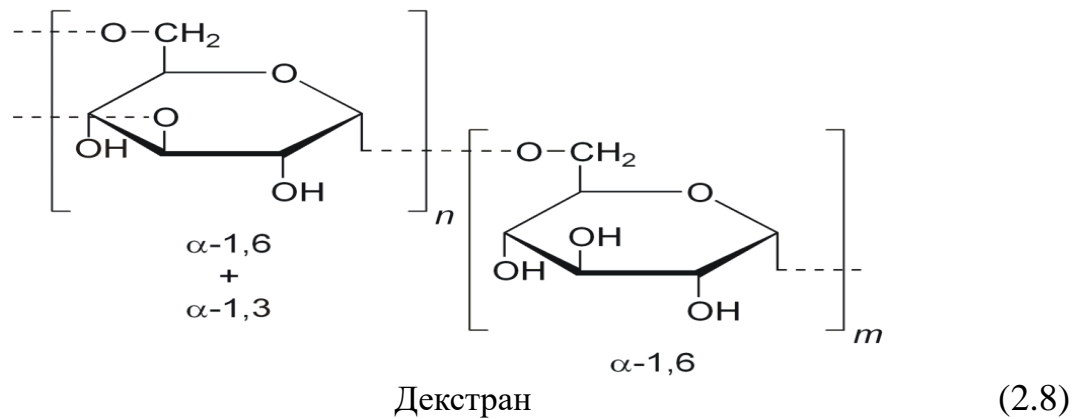


Деякі олігосахариди, такі як сахароза, мають величезне практичне значення і по масштабам щорічного вироблення (вище 100 млн. тон) займають одне з перших місць серед індивідуальних органічних сполук. У невеликих кількостях отримують лактозу циклодекстрини, що використовуються у фармацевтичній промисловості [28].

За хімічною природою дисахариди – це О-глікозиди (ацеталі), у яких друга молекула моносахариду виконує роль аглікона. Залежно від будови дисахариди поділяють на відновлювальні та невідновлювальні [32]. Дисахариди утворюються при сполученні двох молекул простих цукрів та однієї молекули води, можуть гідролізуватись до відповідних моносахаридів під дією розбавлених розчинів кислот чи ферментами [29, 30].

Найбільш розповсюдженими є полісахариди, повторювані ланки яких є залишками α -D-глюкопіранози або її похідних. Однією із найбільш відомих та використовуваних є целюлоза, що містить α -1,4-глікозидний зв'язок. Хімічний склад, аналогічний целюлозі, мають крохмаль, що складається з амілози і амілопектину, глікоген та декстран. Відмінність крохмалю і глікогену від целюлози полягає у розгалуженості макромолекул, причому амілопектин і глікоген можуть відноситися до над розгалуженим природним полімерам – дендримерам нерегулярної будови. Точкою розгалуження зазвичай є шостий атом вуглецю α -D-глюкопіранозного циклу, що сполучений глікозидним зв'язком з бічним ланцюгом. Відмінність декстрану від целюлози полягає у природі глікозидних зв'язків – поряд з α -1,4- декстрин містить також α -1,3- та α -1,6-глікозидні зв'язки, причому останні є переважаючими [29, 33, 34].

Хімічний склад, відмінний від целюлози, мають також хітин і хітозан, але вони близькі до неї по структурі. Різницю між ними складає те, що при другому атомі карбону α -D-глюкопіранозних ланок, зв'язаних α -1,4-глікозидними зв'язками, замість ОН-групи знаходяться $-\text{NHCH}_3\text{CO}$ у хітині та $-\text{NH}_2$ у хітозані [35, 36, 37].



Целюлоза міститься у корі та деревині, стеблах рослин: бавовна містить більш ніж 90 % целюлози, хвойні дерева – вище 60 %, листяні – коло 40 %. Міцність целюлозних волокон зумовлена тим, що вони утворені монокристалами, у яких макромолекули упаковані паралельно одна одній. Целюлоза складає структурну основу представників не лише рослинного світу, а й деяких бактерій [34].

7.3. Біологічна роль полісахаридів.

Серед величезного різноманіття полісахаридів, виходячи з їхніх основних функцій у живих організмах та особливостей хімічної будови, розрізняють головні типи: структурні (арабіноксилани, целюлоза, хітин, пектини), резервні (крохмаль, глікоген), кислотні та бактеріальні.

У тваринному світі полісахариди в якості опорних, структуроутворюючих полімерів використовуються лише комахами та членистоногими. Найчастіше ці функції виконує хітин, що слугує для побудови так званого зовнішнього скелету (екзоскелету) у крабів, раків, креветок. Хітин достатньо довго розкладається мікроорганізмами у природних умовах. Його розклад каналізують ферменти хітинази, які секретуються бактеріями, грибами та деякими рослинами [36]. Хітин шляхом деацетилювання перетворюється у хітозан, який, на відміну від нерозчинного хітину, розчиняється у водних розчинах мурашиної, оцтової і соляної кислот. У зв'язку з цим, а також завдяки цінним властивостям та біосумісності хітозан перспективний у широкому застосуванні [35, 37].

Арабіноксилани містяться у стінках рослинних клітин та є співполімерами двох пентозних цукрів – арабінози і ксилози [39, 40].

Целюлоза – основа будівельного матеріалу рослин; це полімер, що складається з повторюваних глюкозних залишків, сполучених між собою β -

зв'язками. У людей та багатьох тварин не вистачає ензимів для розщеплення β -зв'язку, тому вони не перетравлюють целюлозу. Певні тварини, такі як терміти, можуть перетравлювати целюлозу, оскільки у їхній травній системі наявні відповідні ензими. Целюлоза нерозчинна в воді, не змінює забарвлення при змішуванні з йодом, а при гідролізі переходить у глюкозу. Це найрозповсюдженіший полісахарид у світі [28, 30, 39].

Пектини – сукупність полісахаридів, які складаються з α -1,4-зв'язків між залишками D-галактопіранозилуронової кислоти. Пектини містяться у клітинних стінках та недеревних частинах рослин [39, 40].

Крохмаль – полімер глюкози, у якому залишки глюкопіранози утворюють α -сполучення. Крохмаль утворений із суміші амілози (15-20 %) та амілопектину (80-85 %). Амілоза представлена лінійним ланцюгом кількох сотень глюкозних молекул, а амілопектин – це розгалужена структура, утворена з кількох тисяч глюкозних залишків (одна одиниця амілопектину – це ланцюг із 24-30 глюкозних залишків). За рахунок руйнування α -зв'язку (глікозидного) під дією амілаз крохмаль перетравлюється у тваринному та людському організмі [32, 33].

Крохмаль належить до числа полісахаридів, що виконують роль резервної поживної речовини у рослинах. Картопля, рис, борошно, кукурудза – основні джерела харчового крохмалю. Клубні, плоди, насіння містять до 70 % крохмалю [39, 40].

Резервним тваринним полісахаридом, аналогом крохмалю, є глікоген, так званий «тваринний крохмаль», що міститься головним чином у печінці та м'язах, але також може синтезуватися у процесі глікогенезу у головному мозку та шлунку. Він є довгочасним енергетичним запасом у клітинах тварин та грибів [41]. Глікоген має подібну структуру до амілопектину, але є більш розгалуженим і компактним, аніж крохмаль, та сполучений $\alpha(1\rightarrow4)$ глікозидними зв'язками з $\alpha(1\rightarrow6)$ у точках розгалуження. Він є нерозчинним у воді, при дії йоду набуває червоного забарвлення; у глюкозу перетворюється шляхом гідролізу [28]. Глікоген знаходиться у формі гранул у цитозолі цитоплазми клітин і має важливу роль у глюкозному циклі, оскільки формує запас енергії, що швидко використовується при потребі в глюкозі, але при цьому він є менш щільний та швидше доступний у якості джерела енергії, аніж тригліцериди (ліпіди) [41, 42].

В окрему групу виділяють кислотні полісахариди – ті, що містять у своїй структурі карбонові, фосфатні групи та / або складні групи сірчаних ефірів.

Бактеріальні капсульні полісахариди зазвичай продукуються патогенними бактеріями у вигляді в'язкого слизоподібного шару, утворюючи так звану капсулу, що захищає бактерії від загибелі. Бактеріальні капсульні полісахариди водорозчинні, зазвичай кислотні з молекулярною масою у межах 100-2000 кДа. Вони лінійні та складаються із постійно повторюваних субодиниць від одного до шести моносахаридів. Таким чином існує величезна структурна різноманітність полісахаридів. Окрім бактерій їх

секретують й інші мікроорганізми, - гриби та водорості, задля прилипання до поверхонь та захисту від пересихання. Такі речовини набули широкого побутового вжитку, це є, зокрема, ксантанова, гуарова, веланова, дьютанова камедь, декстран та пуллулан [43]. Більшість водних розчинів таких полісахаридів володіє в'язкопружними властивостями, псевдопластичністю. Такі розчини, що є в'язкими у стабільному стані, набувають текучості, стаючи рідкими, при найменшому русі. Для них характерна властивість при зсуві: після зупинки руху розчин початково продовжує свій рух / коливання по інерції, а потім його сповільнює завдяки в'язкості і повністю змінює напрямок перед зупинкою. Цей рух назад відбувається завдяки еластичному ефекту полісахаридних ланцюгів, які спершу, ніж розтягнутися у розчині, повертаються назад розслаблений стан. Завдяки цим властивостям полісахариди використовуються в якості складових різних продуктів вжитку: гелів, лосьйонів, фарб тощо, та у харчовій промисловості [44].

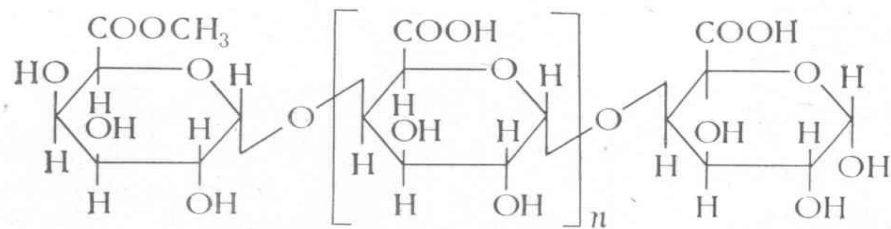
Мембранні полісахариди слугують бар'єром між клітинною стінкою та оточуючим середовищем, посередником у взаємодії хазяїн-паразит, утворюють будівельні компоненти біоплівки. Вони синтезуються із нуклеотидно-активованих попередників (їх називають нуклеотидними цукрами) і у багатьох випадках усі ферменти, що необхідні для їхнього біосинтезу та транспортування, закодовані генами й організовані у спеціальні групи з геномом організму [43].

Ліпополісахариди – один з найважливіших видів мембранних полісахаридів, оскільки відіграє ключову структурну роль у збереженні цілісності клітини, а також є важливим посередником у взаємодії між хазяїном і паразитом [43].

Екзполісахариди (*exopolysaccharide*) – високомолекулярні полімери, що складаються із залишків простих цукрів і секретуються мікроорганізмами у зовнішнє середовище. Вони слугують бар'єром між клітинами та оточуючим середовищем, захистом від висихання та несприятливих умов, а також виконують роль саморегуляторів процесів росту та розвитку. Найбільш відомим екзополісахаридом є ксантан. Він використовується у якості добавки з метою покращення якості продуктів, у фармацевтичній та косметичній промисловості, а також у різних технологічних процесах (у нафтодобуванні, бурінні) [45].

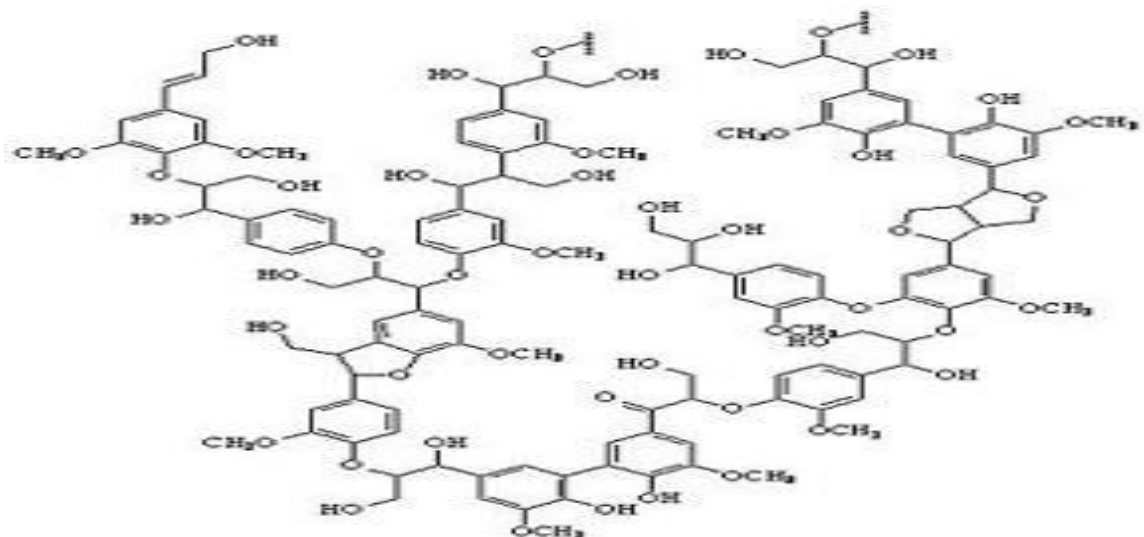
Міцність стовбурів та стебел рослин, окрім скелету з целюлозних волокон, визначається сполучною рослинною тканиною. У деревах значну її частину складає лігнін – до 30 %. Відомо, що це є відносно низькомолекулярний ($M \approx 10^4$) надрозгалужений полімер, утворений головним чином із залишків фенолів, заміщених у *орто*-положенні групами $-OCH_3$, у *пара*-положенні групами $-CH=CH-CH_2OH$. До опорних елементів рослинної тканини належать пектинові речовини, зокрема пектин, що знаходиться в основному у стінках клітин. Його вміст у шкірці яблук та білій частині шкірки цитрусових доходить до 30 % [28, 46].

Пектин належить до гетерополісахаридів, - співполімерам. Його макромолекули побудовані із залишків D-галактуранової кислоти та її метилового ефіру, сполучених α -1,4-глікозидними зв'язками [28].



Будова пектину (2.10)

Лігнін – це нерегулярний біополімер, що складається із ароматичних циклів, сполучених короткими (від одного до трьох атомів вуглецю) карбоновими ланцюгами. Він є другим по значенню біополімером після целюлози і є одним із структурних компонентів рослин. Лігнін є рацематом (не володіє оптичною активністю, не поляризує світло). Полімеризація лігніну відбувається за вільно-радикальним механізмом [46].



Приблизна структура лігніну (2.11)

Олігосахариди у вільному стані найбільш широко представлені у рослинному світі, де вони відіграють роль резервних вуглеводів. Характерними і найбільш розповсюдженими є олігосахариди групи сахарози: мельцитоза, рафіноза, генціаноза, стахіоза та інші [32].

7.4. Камеді та слизи – представники природних полімерів

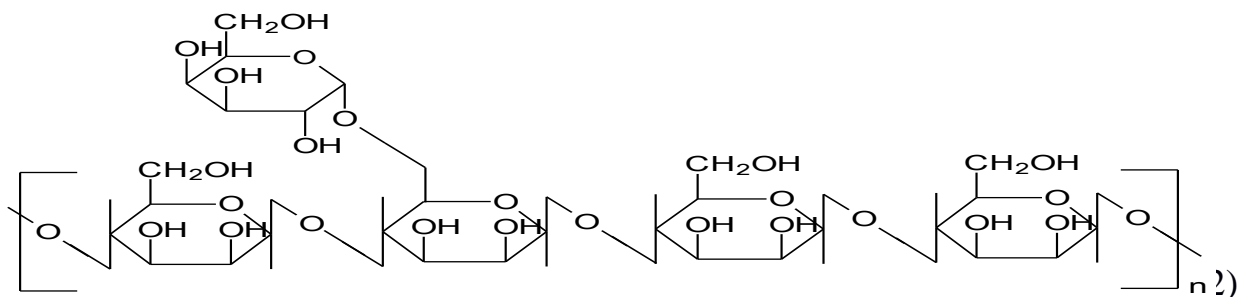
Камеді (гумі) та слизи розчиняються в воді й утворюють дуже в'язкі колоїдні розчини. Камеді, наприклад, виділяються на гілках і стовбурах дерев при їх ушкодженні, а слизи містяться у великій кількості в насінні ряду рослин (льону, жита, конюшини, люпину, люцерни тощо). Склад різних камедей і слизів значно відрізняється. Так, полісахариди вишневого клею складаються із залишків галактози, манози, арабінози, глюкуронової кислоти та незначної кількості ксилози [40].

Камеді – рослинні високо розгалужені гетерополісахариди, які складаються із залишків D-галактози, D-манози, L-арабінози, L-рамнози, D-глюкуронової, D-галактуронової кислоти тощо. До речовин цього складу належать вишневий клей, гуміарабік (аравійська камедь), трагакантова і абрикосові камеді тощо. Вони містяться також у ладані (до 30%), у багатьох природних ароматичних смолах, живицях. Камеді спонтанно виділяються у вигляді сильнов'язких рідин при ушкодженні рослин та з часом застигають у склоподібній масі, захищаючи цим місце ушкодження від дії мікроорганізмів. Полісахариди такого типу продукуються різними частинами рослин (коренями, стовбурами, гілками, плодами) [28].

Для встановлення будови таких складних полісахаридів використовують різну реакційну здатність глікозидних зв'язків до гідролізу залежно від природи пономерного вуглеводу. Отримані олігосахариди простішої будови аналізують на предмет встановлення відповідної структури. Таким чином було встановлено, що трагакантова камедь, яка виділяється чагарником *Astragalus*, складається з двох основних полісахаридів: нейтрального арабіногалактану та полісахариду – трагакантової кислоти. Арабіногалактан містить переважно залишки D-глюкопіраноз, сполучених 1,6- та іноді 1,3- зв'язками, а розгалуження складається з ланок L-арабінози у фуранозній формі, L-рамнози і певної кількості D-галактуронової кислоти. Останні моносахариди причеплені до основного ланцюга 1,2-, 1,3- або 1,5- зв'язками. Трагакантова камедь у водному розчині утворює сильнов'язкі колоїдні розчини, що не відновлюють свою структуру. Таку камедь використовують як стабілізатор та емульгатор у харчовій промисловості [28].

Гуміарабік і камедь із різних видів рослин *Asacia* є одними з найхарактерніших представників речовин цього класу, що побудовані із залишків D-галактози, сполучених між собою β -1,3-зв'язками. До такого внутрішнього ланцюга D-галактану прищеплені периферійні ланцюги, що складаються із залишків L-арабінофуранози, L-рамнопіранози і D-глюкуронової кислоти [28].

Відомою є також камедь річкового дерева *Ceratonia siliqua* (смола бобів), яке росте на узбережжі Середземного моря. За хімічною структурою вона належить до галактомананів. Основний ланцюг таких галактомананів побудований із залишків D-манози, сполучених β -1,4-глікозидними зв'язками. До основного манозного ланцюга через рівні інтервали до кожної четвертої його ланки β -1,6-зв'язками прищеплена ланка α -D-галактози [32]:

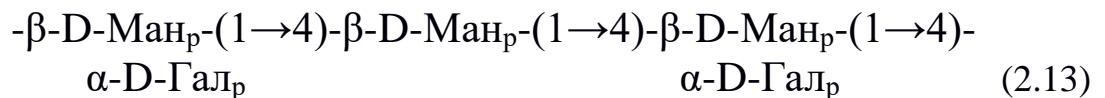


Аналогічну будову має гуарова камедь, яку добувають із насіння

рослин гуари, яка росте в Індії. Для неї ланки α -D-глюкози β -1,6- зв'язками сполучені з кожною другою ланкою D-манози основної ланки. Ріжкова і гуарова камеді застосовуються у харчовій промисловості як згущувачі, желеутворювачі тощо [28].

Слизи – складні клесподібні полісахариди, що за будовою нагадують камеді та є продуктами метаболізму рослин. Їх виділяють з кори, насіння і коренів злакових, бобових, олійних рослин тощо. Вважають, що слизи виконують роль резервуару води для запобігання зневодненню насіння [28].

За хімічною природою – це нейтральні або кислі гетероглікани, до складу яких входять переважно D-галакто-D-манани, D-глюко-D-манани, D-ксило-L-арабінани, L-арабіно-D-ксилани, кислі полісахариди на основі D-галактуронової кислоти тощо. Залежно від джерела виділення вміст і співвідношення згаданих моносахаридів різні. Але будова їхніх макромолекул здебільшого формується за одним алгоритмом: основний ланцюг складається із залишків D-манопіранози, сполучених β -1,4- зв'язками, до яких 1,6- зв'язками через різні інтервали приєднані як бічні розгалуження по одній молекулі α -D-галактози [28]:



На відміну від галактомананів глюкоманани практично не мають розгалужень, їхня основна ланка побудована із залишків D-глюкози та D-манози. Для інших полісахаридів цієї групи на основі L-арабіно-D-ксиланів або L-арабінанів характерна більша розгалуженість макромолекул. Водні розчини слизів подібні до типових колоїдних розчинів із значною в'язкістю та здатністю до набрякання [28].

Ксантан – представник мікробних полісахаридів

У теперішній час мікробні полісахариди широко застосовуються у найрізноманітніших сферах людської діяльності: медицині, фармацевтичній, харчовій, хімічній промисловості, у сільському господарстві, металургії та нафтодобуванні. Найбільшого вжитку набули продукти на основі ксантану, екзополісахариду бактерії *Xanthomonas Campestris*.

Деякі мікробні полісахариди близькі чи навіть ідентичні до полісахаридів рослин чи тварин, але більшість із них мають унікальну структуру, специфічну лише для даного виду. У мікробних гліканах ще й у нинішній час виявляються раніше невідомі полісахариди і моносахариди, що володіють певною біологічною активністю і не зустрічаються ні у тварин, ні у рослинах. Полісахариди мікроорганізмів поділяються залежно від локалізації на внутрішньоклітинні (ендоглікани) та зовнішньоклітинні (екзоглікани). Вони є зазвичай світлими, безколірними аморфними

речовинами. Нерозчинні у воді полісахариди, головним чином, виконують в організмі структурні функції, а розчинні здатні утворювати в'язкі розчини навіть при дуже низьких концентраціях і відіграють роль запасних і енергетичних речовин [47, 48].

Вільні гідроксильні групи полісахаридів ацилюються та алкілюються, а їхні глікозидні зв'язки гідролізуються під впливом кислот та специфічних ферментів. Унікальні біологічні та реологічні властивості водорозчинних полісахаридів багато в чому визначаються властивостями впорядкованої будови їхніх ланцюгів у розчинах. Такі «високоорганізовані» полімери мають як первинну, так і вищі трьохмірні структури. Це зумовлено слабкими внутрішньомолекулярними зв'язками, серед яких головну роль відіграють водневі зв'язки, а також комплексоутворення [48, 49].

Ксантанова камедь (смола) (камедь кукурудзяного цукру), $(C_{35}H_{49}O_{29})_n$, мол. м. 2 000 000–50 000 000 – являє собою суміш полісахаридів, які утворюються як вторинні метаболіти при аеробній ензимації цукру бактеріями *Xanthomonas campestris*. Це харчова добавка E-415, відноситься до групи стабілізаторів.

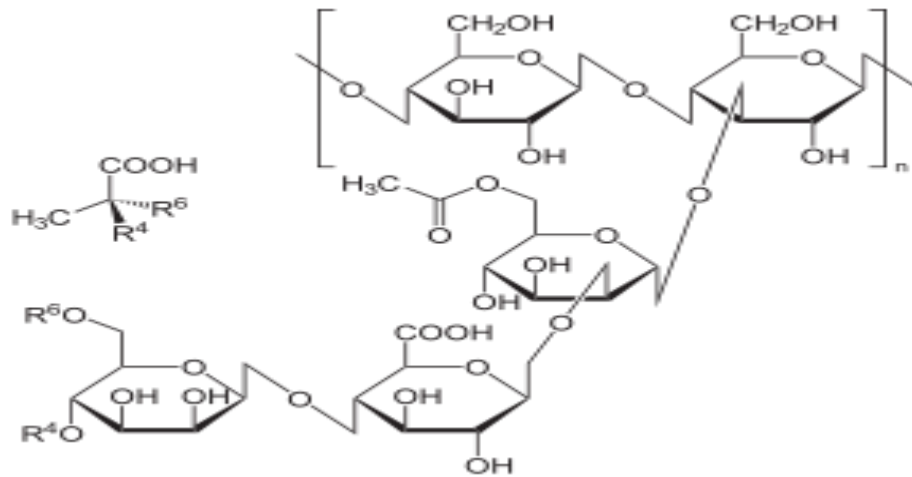
Ксантанова камедь володіє такими властивостями: рН = 6,0–8,0 (1% водний розчин); $t_{зам.} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1% водний розчин); теплота згоряння рівна 14,6 Дж/г; $t_{пл.} = 270\text{ }^{\circ}\text{C}$; $n_D^{20} = 1,333$ (1% водний розчин); в'язкість (динамічна) рівна 1200–1600 МПа·с (1% водний розчин при 25 °С); розмір часток ≤ 180 мкм (залежить від марки камеді); вологість $\leq 15\%$; практично не розчиняється в етанолі та етері, розчиняється в холодній та гарячій воді. Властивості ксантану регулюють, змінюючи умови життя бактерій [50, 51].

Макромолекула такого гетерополісахариду складається з трьох моноз: β -D-глюкози, α -D-манози і α -D-глюкуронової кислоти при співвідношенні 2:2:1 відповідно. При цьому основний ланцюг ксантану утворює β -D-глюкоза, сполучена 1,4-глікозидними зв'язками [28]. Основний ланцюг ксантану (кор) побудований аналогічно целюлозному (1-4- β -глюкопіраноза), а відгалуження кора – це трисахарид, утворений із β -D-манози, β -D-глюкуронової кислоти та α -D-манози [48, 49]. До кожної другої ланки глюкози прищеплений бічний трисахарид із глюкуронової кислоти, що розташовується між двома ланками α -D-манози. Кожний другий кінцевий манозний залишок такого розгалуження може містити піруватну групу, а найближча до основного ланцюга маноза містить здебільшого при С6 ацетатну групу [28].

Залишки глюкуронової кислоти та кислі піровиноградні групи надають молекулам ксантану аніонний характер [48, 49].

Камеді з інших джерел відрізняються за будовою, ступенем розгалуження, природою та способом сполучення периферійних залишків D-галактози, L-арабінози, L-рамнози, іноді D-ксилози, їхніх естерних похідних до основного D-галактонового ланцюга [28].

У результаті взаємодії бічних ланцюгів між собою і з кором утворюються вищі ксантанові структури, що зумовлюють його властивості.



Структура ксантану (2.14)

У неіонізованих розчинах чи при температурах вище 75 °С молекули ксантану набувають згорнуту конформацію, у якій бічні ланки огортають бічний ланцюг. Введення у такий розчин навіть незначної кількості катіонів призводить до формування молекулами ксантану подвійної спіралі з іонами металу всередині (рис. 2.1) [48, 49].

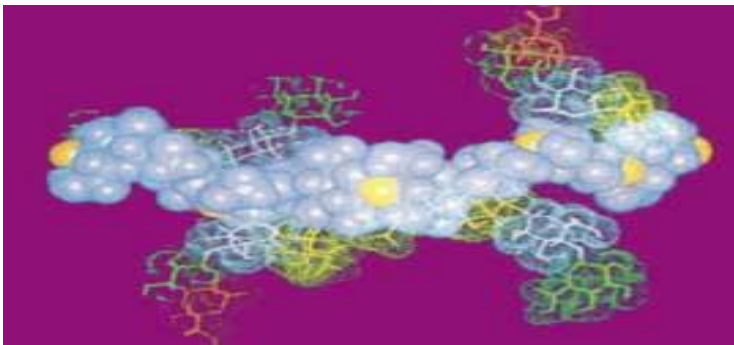


Рис. 2.1. Конформація подвійної спіралі ксантану із захопленими катіонами металу

Молекули ксантану у водних розчинах схильні до самоасоціації і зі збільшенням іонної сили розчину або концентрації полісахариду формується гель. Він являє собою трьохмірну сітку, утворену з подвійних спіралей ксантану, зв'язаних міжмолекулярними водневими зв'язками (рис. 2.2) [49].

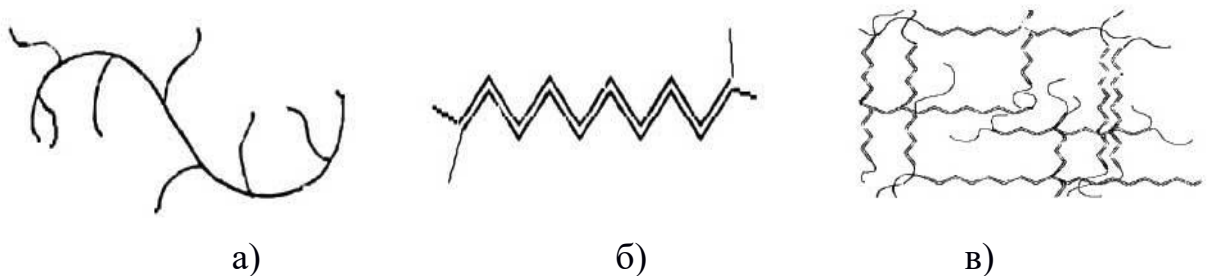


Рис. 2.2. Конфігурація макромолекул ксантану у первинній та вищих структурах: а) неіонізований розчин; б) у присутності іонів металу; в) самоасоціація макромолекул з утворенням трьохмірної сітки.

Вже при концентрації полісахариду 0,1 % в'язкість системи зростає на порядок, а при 1,0 % з водного розчину формується гель [50]. Наявність залишків жирних та уонових кислот у складі біополімеру зумовлює залежність реологічних властивостей розчину від складу і концентрації солей та інших інгредієнтів. Саме з цим пов'язана можливість шляхом підбору різних добавок створювати композиції з широким спектром властивостей (табл. 2.1) [48, 49].

Розчини ксантанової смоли за реологічними характеристиками відносяться до систем псевдопластичного (тиксотропічного) типу. Синергічний реологічний ефект спостерігається при їх змішуванні з неорганічними речовинами (напр., магнію алюмосилікатом) та органічними камедями (напр., гуаровою камеддю). Оптимальним співвідношенням ксантану та магнію алюмосилікату є 1:2 та 1:9, ксантану та гуарової камеді — 3:7 та 1:9 [51]. Ксантанова смола - аніонна речовина і є несумісною з катіонними ПАР, полімерами та консервантами внаслідок утворення осаду.

Вона несумісна з окисниками, деякими плівкоутворювачами, натрію карбоксиметилцелюлозою, сухим гелем гідроксиду алюмінію та деякими АФІ (амітриптилін, тамоксифен, верапаміл). Аніонні та амфотерні ПАР у кількості >15% також викликають осадження ксантану з розчинів. Внаслідок осадження та гелеутворення вона несумісна з іонами полівалентних металів та невеликими кількостями боратів.

В останньому випадку стабілізація розчину досягається за рахунок збільшення концентрації іонів бору та зниження рН (<5,0). Протидіє гелеутворенню також додавання етиленгліколю, сорбіту або маніту. Ксантанова смола сумісна з більшістю синтетичних та натуральних речовин (регуляторів в'язкості) та похідними целюлози (використовується для запобігання деполімеризації останніх).

В'язкість розчинів камеді підвищується при додаванні воску, гуарової камеді та алюмосилікату магнію. Стійка до дії розчинних у воді органічних розчинників (ацетон, метанол, етанол, пропан-2-ол у концентрації до 60 %) збільшення концентрації призводить до виникнення осаду та гелеутворення. Стійка до дії ензимів, солей, кислот і лугів [28, 51].

Для отримання ксантану мікроорганізми культивують у спеціальних ферментаторах (біореакторах), де створюють усі необхідні умови (поживне середовище, аеробні чи анаеробні умови, температура, рН, видалення продуктів метаболізму, відсутність конкурентів, паразитів та хижаків). Мікроорганізми синтезують речовини (метаболіти), використовуючи субстрати поживного середовища, ростуть і розмножуються. Залежно від цілей культивування кінцевим продуктом може бути біомаса клітин чи екзоклітинний метаболіт [47].

Таблиця 3.1

Потенціальні властивості ксантанових композицій

Загущуюча здатність водних систем	Підвищення в'язкості розчину навіть при 0,1 % ксантану. 1,0 % розчин ксантану формує гель з в'язкістю 2,8 Па при швидкості зсуву $5,4 \text{ c}^{-1}$.
Стабілізація зсуву	Незмінна динамічна межа текучості, низька статична межа текучості, яка для 1,0 % розчину складає 20 Па, нижче якої система не тече.
Псевдопластичність	При перевищенні статичної межі текучості розчини є псевдопластичними. Відбувається руйнування сітки, подвійні спіралі витягуються у напрямку діючої сили. Зі зменшенням чи зникненням діючої сили сітка швидко відновлюється.
Вплив температури	Нижче $75 \text{ }^\circ\text{C}$ реологічні властивості розчинів слабо залежать від температури, внаслідок конформаційного переходу макромолекул ксантану відбувається оборотне зниження в'язкості і властивості зберігаються навіть при багатократному заморожуванні.
Вплив рН середовища	Ефективний для створення високов'язких кислих та лужних композицій. Зберігає реологічні властивості у межах рН від 2 до 12.
Синергізм	З водопоглинаючими глинами; спостерігається збільшення в'язкості і сумарної граничної напруги вище адитивної.
Сумісність	Сумісний з аніонними та неіонними сполуками. Катіонними сполуками осаджується.
Сумісність з органічними розчинниками	Сумісний із водними розчинами органічних сполук. Осаджується 80 % етиловим спиртом та ізопропанолом. Розчини ксантану стійні у присутності 30 % гліцерину, гліколей, етилового та ізопропілового спирту.
Сумісність з кислотами та основами	Сумісний з органічними й мінеральними кислотами, але HCl руйнує ксантан. Стійкий за тривалого впливу 10 % лимонної кислоти, 20 % і 10 % оцтової, 5 % H_2SO_4 . Розчини зберігають реологічні властивості у присутності NaOH та Na_2SiO_3 .
Сумісність з солями металів	Загущує більшість сольових розчинів. У присутності 5-20 % NaCl, KCl, CaCl_2 або MgCl_2 в'язкість 0,5 % розчину ксантану зростає на 10 %. Двохвалентні солі утворюють гелі при $\text{pH} > 10$. Трьохвалентні солі Al, Fe, Cr утворюють гелі з 0,15-0,25 % розчинами ксантану.

Недоліком виробництва ксантану є висока вимогливість мікроорганізмів до умов та поживного середовища. На сьогоднішній день співробітниками інституту мікробіології НАН України разом із Національним університетом харчових технологій отримано штами, що здійснюють синтез екзополісахаридів на дешевих середовищах у широких межах вуглеводневих субстратів. Нові штами, окрім вуглеводів, здатні також утилізувати спирти,

органічні кислоти та відходи харчової промисловості [48]. Після ферментації полісахариди очищують обробленням пропан-2-олом, сушать та подрібнюють. Отриманий продукт являє собою сипкий порошок білого або кремового кольору, без запаху [28].

Практичний інтерес для промисловості становлять біополімери, отримані в результаті життєдіяльності нешкідливих для людини мікроорганізмів. Такі полімери є екологічно «чистими», а їх виробництво є екологічно «безпечним» [48, 52, 53]. Камеді знайшли застосування як згущувачі при виготовленні таблеток або як стабілізатори лікарських препаратів, емульсій [28].

Ксантан, - найбільш відомий мікробний полісахарид, - протягом останніх 40 років є лідером у використанні в якості добавки для покращення властивостей продуктів та здійснення технологічних операцій [48]. Продукти різних виробників відрізняються своїми характеристиками, що дозволяє використовувати їх у найрізноманітніших галузях, зокрема:

- Косметична і фармацевтична промисловість

Смола ксантанова (компанія AquaSource) – використовується у засобах догляду за шкірою та у складі оболонки лікарських капсул; сильний антиоксидант.

- Медицина. *Очищені мікробні полісахариди* – використовуються в якості імуностимуляторів, антикоагулянтів; для виготовлення лікарських форм препаратів.

- Харчові добавки. *Ксантан, етаполан, поліміксан* – утворюють білково-полісахаридні комплекси. У кількості від 0,2 до 0,5 % покращує характеристики борошна з низьким вмістом клейковини.

- Гідроколоїди та згущувачі. *E-410 (ксантан)* – використовується в якості загущувача, для зв'язування вологи у хлібобулочних та кондитерських виробках.

- Желюючі засоби. *Ксантан (E-415) (компанія VanHees)* – забезпечує збереження вихідних характеристик продуктів після багатократного заморожування/розморожування.

Ксантан може використовуватися для вилучення нафти. Залишкові порції нафти зазвичай адсорбуються на різних породах, що містяться у нафтоносних пластах, і не вимиваються із них водою. Водні розчини ксантану володіють високою в'язкістю і при закачці у пласти під високим тиском вивільнюють краплі нафти з усіх тріщин та заглиблень нафтоносних порід [48].

7.5. Ефіри целюлози є хімічно модифікованими природними полімерами.

Целюлоза – складова частина волокнистих матеріалів (деревина, бавовна, конопля, льон) і належить до найбільш поширених природних полімерів з лінійною макромолекулою.

Елементарна ланка целюлози містить три гідроксильні групи спиртового характеру й може утворювати алкоголяти, прості й складні ефіри. Ефіри целюлози, на відміну від самої целюлози, розчиняються в ряді органічних розчинників, плавляться й легко переробляються у виробі всіма методами, уживаними для термопластичних полімерних матеріалів. Тому вони знайшли широке застосування в різних галузях народного господарства.

Пластичні маси на основі ефірів целюлози є старими природними полімерами. Ще 1833 року взаємодією целюлози з концентрованою азотною кислотою були отримані нітрати целюлози. Перший пластик на основі нітратів целюлози – целулоїд – відомий з 1867 року. Виробництво інших ефірів целюлози, зокрема ацетатів целюлози, розвинулося значно пізніше; з 30-х років ХХ ст. масштаби виробництва ацетатів целюлози збільшувалися й поступово досягли рівня виробництва нітратів целюлози.

У промисловості пластичних мас (етролів, целулоїду), плівок і лаків застосовуються похідна целюлози – її складні й прості ефіри. Целулоїд – теропластичний матеріал на основі нітрату целюлози, що містить пластифікатор і барвники. Етроли є термопластичними матеріалами, що складаються з ефіру целюлози, пластифікатора, наповнювача, барвника, стабілізатора й інших добавок.

При цьому проходить розчинення целюлози в розчині NaOH і CS_2 .
ксантогенат целюлози

Продавлюючи отриману масу через дрібні отвори в розчин сірчаної кислоти, отримуємо тонкі нитки регенерованої целюлози – віскозне волокно.
тринітроцелюлоза

У результаті обробки целюлози отримують целулоїд, целофан та інші важиві матеріали.

Складні ефіри целюлози є ацилпохідними целюлози, які отримують етерифікацією целюлози мінеральними кислотами або ангідридами органічних кислот. Найбільш технічне значення мають нітрати, ацетати, ацетобутират, ацетопропіонат і трипропіонат целюлози.

Нітрати целюлози застосовують у виробництві лаків, кіно- й фотоплівки, целулоїду й етролу. Незважаючи на легку займистість і горючість, їх ще застосовують для виготовлення галантерейних виробів, іграшок, обробки музичних інструментів, скління машин, виготовлення деталей до приладів, рульових коліс, рукояток перемикачів передач і т.д. Пластмаси на основі нітратів целюлози мають ряд недоліків. Горючість, низькі фізико-механічні показники й неможливість переробки у виробі литтям під тиском значно обмежують їх галузь застосування.

Целулоїд є термопластичним матеріалом з температурою розм'якшення 80–90 °С. Він має малу світлостійкість; у результаті тривалої дії світла жовтіє, стає менш прозорим. Температура спалаху – 170 °С. У разі зіткнення з полум'ям целулоїд миттєво спалахує й згоряє з виділенням отруйних речовин. Целулоїд пластичний, легко переробляється у виробі методами

видування, пресування й штампування, легко забарвлюється в різні кольори. Вироби з целулоїду красиві.

Аналогічно целулоїду на основі ацетату целюлози отримують целон. Він негорючий, і в цьому його основна перевага порівняно з целулоїдом. Але целон поступається целулоїду за механічними властивостями, водостійкістю. Крім того, його вартість вища. Застосовується для виготовлення деталей вимірювальних приладів.

7.3. Реакції природної целюлози.

Специфічний комплекс властивостей, притаманний целюлозі, не дозволяє використовувати природний полімер без відповідної обробки. Дуже сильна міжланцюгова взаємодія, зумовлена водневими зв'язками, призводить до того, що целюлоза як висококристалічний нерозчинний полімер розкладається за високих температур, при цьому він не плавиться. Через це активну целюлозу не можна переробляти на ті або інші вироби. Застосування ж її в дуже великих кількостях у виробництві волокон і пластмас засновано на використанні різних хімічних перетворень, що приводять до зміни її властивостей.

Розчинення целюлози. Формування целюлози в плівки й волокна засноване на перетворенні її в розчинні похідні. Для цього здрібнену целюлозу (деревну пульпу) обробляють за кімнатної температури концентрованим водним розчином лугу (звичайно 18% NaOH). Велика частина NaOH утримується у вільному вигляді в набряклому полімері, частина його витрачається на утворення алкоголятів целюлози.

Надлишок лугу віджимають і витримують масу протягом декількох днів для прискорення окисної деструкції ланцюгів до потрібного ступеня полімеризації. Потім лужну целюлозу обробляють сірковуглецем, перетворюючи в ксантогенат целюлози (рівн. 10.5.7). Як правило, ступінь ксантогенування целюлози в промисловості досить низький і складає приблизно 0,5 ксантогенатної групи на три гідроксильні групи. Це зумовлено тим, що реакція відбувається в гетерогенних умовах. Однак цього виявляється досить для додання целюлозі розчинності. Плівки й волокна одержують формуванням в'язкого лужного розчину ксантогенату целюлози у ванні із сірчаною кислотою. Сірчана кислота гідролізує ксантогенат до ксантогенової кислоти, яка, будучи хиткою, розкладається (без виділення) з регенерацією целюлози (рівн. 10.5.8), нерозчинної у водному середовищі. У результаті утвориться плівка або волокно целюлози. Увесь цей процес називається віскозним методом.

Деколи застосовують інший, мідно-аміачий метод. Він полягає в розчиненні целюлози в аміачному розчині оксиду міді. Розчинність целюлоза здобуває, очевидно, у результаті утворення комплексу між іоном міді й гідроксильних груп целюлози. Регенерацію целюлози проводять обробкою сформованого волокна або плівки кислотою або лугом.

Утворення складних ефірів. У промисловості виробляють ацетат, пропіонат, ацетопріонат, ацетобутират і нітрат целюлози. Найбільш важливим з них

дотепер залишається ацетат целюлози, що одержують ацилюванням целюлози оцтовою кислотою в присутності сильного кислотного каталізатора (звичайно, H_2SO_4 або HClO_4):

Рівновагу реакції зміщають управо, зв'язуючи воду оцтовим ангідридом (або хлористим ацетилом), що додається в реакційну суміш.

За властивостями діацетат целюлози часто буває кращим, ніж цілком ацильований продукт (триацетат). Прямий синтез діацетату не одержав широкого поширення, тому що через гетерогенність процесу утвориться суміш продуктів. Частина целюлозних ланцюгів може проацилюватися цілком, тоді як інші можуть бути зовсім непорушені. Тому діацетат одержують регульованим гідролізом триацетату. Триацетат розчинний у реакційній суміші, що забезпечує можливість одержання однорідного продукту. Регульований гідроліз триацетату проводять водою або розведеною оцтовою кислотою. При цьому утруднення, викликані гетерогенністю процесу етерифікації, вдається перебороти шляхом гідролізу триацетату, але кінцевий продукт може бути неоднорідним за розподілом ацетильних груп між трьома можливими реакційноздатними положеннями в молекулі целюлози, з яких дві – вторинні гідроксильні групи, а третя – первинний гідроксил. Більш реакційноздатною є складноефірна група первинного спирту, тому під час гідролізу триацетату залишається переважно діацетат по вторинних гідроксилах.

Утворення простих ефірів. Метиллові й етилові ефіри целюлози одержують взаємодією лужної целюлози з відповідним алкілгалогенідом:

Висновки

1. Біополімери - полімери біологічного походження, загальна назва макромолекулярних сполук, що існують у живій природі. Це високомолекулярні природні сполуки, що є структурною основою всіх живих організмів і що грають визначальну роль в процесах життєдіяльності.
2. Молекули полімерних вуглеводів у вигляді моносахаридних залишків, що сполучені між собою глікозидним зв'язком, є структуроутворюючими одиницями полісахаридів (гліканів). Вони формують лінійну або розгалужену кінцеву біополімерну структуру.
3. Серед величезного різноманіття полісахаридів, виходячи з їхніх основних функцій у живих організмах та особливостей хімічної будови, розрізняють головні типи: структурні (арабіноксилани, целюлоза, хітин, пектини), резервні (крохмаль, глікоген), кислотні та бактеріальні.
4. Камеді – рослинні високо розгалужені гетерополісахариди, які складаються із залишків D-галактози, D-манози, L-арабінози, L-рамнози, D-глюкуронової, D-галактуронової кислоти тощо. До речовин цього складу належать вишневий клей, гуміарабік (аравійська камедь), трагаконтова і абрикосові камеді тощо.

5. Елементарна ланка целюлози містить три гідроксильні групи спиртового характеру й може утворювати алкоголяти, прості й складні ефіри. Ефіри целюлози, на відміну від самої целюлози, розчиняються в ряді органічних розчинників, плавляться й легко переробляються у виробі всіма методами, уживаними для термопластичних полімерних матеріалів.

Рекомендована література

Базова

1. Курта С.А., Курганський В.С. Хімія і технологія ВМС, навчальний посібник, рекомендовано МОН України, Івано-Франківськ: Видав. «Плай» ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. –291 с., ISBN 966-640-164-9. II доповнене видання. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір в Україні, № 25394 від 20.08.2008р.
2. Ластухін Ю.О., Воронов С.А. Органічна хімія. Підручник для вищих навчальних закладів.– Л: Центр Європи, 2001.– 864 с.
3. Курта С.А., Лучкевич Є.Р., Матківський М.П. Хімія органічних сполук. Підручник для вищих навчальних закладів. – Івано-Франківськ:, 2013.– 599 с. вид-во. Прикарпат.нац.ун-т ім. В.Стефаника.400 екз.
4. Стельмах Г.І., Микитин І.М., Курта С.А., Лясковська М.Р., Методичні вказівки до лабораторних та практичних робіт з курсу «Хімія ВМС». МОН ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ 2019, 92 с.
5. Ю.П.Гетьманчук, М.М.Братичак. Хімія та технологія полімерів, підручник. — Львів.: Бескид Біт, 2006 – 496 с.
6. Ю.П. Гетьманчук, М.М.Братичак. Хімія високомолекулярних сполук, підручник. — Львів, Видав. у-ту «Львівівська політехніка», 2008 – 460 с.
7. Курта С.А. Наповнювачі-синтез властивості та використання. // Навчальний посібник. ISBN 947-966-640-337-0, вид-во. Прикарпат. нац. у-ту. ім. В.Стефаника, м.Івано-Франківськ, 2012р.-296с. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. № 52698 від 19.02.2013 р. Міністерство освіти і науки України, державний департамент інтелектуальної власності.
8. Хома М.І., Федорченко С.В. Карбамідо-і меламіноформальдегідні олігомери.//навчальний посібник. 2008 р. -156с. кафедра ОАХ, Вид. ВДВ .ПНУ, Івано-Франківськ.
9. Курта С.А. Хімія і технологія хлорорганічних сполук. Монографія. Видавництво “Плай” ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника Підп. до друку 30.12.2008., опуб. 12.03.2009 р.,-262 с. тираж 300 шт., 76000, м. Івано-Франківськ, вул. С. Бандери 1, свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір в Україні № 30576 від 08.10.2009 р.

Допоміжна

10. Курта С.А. Будова речовини, навчально-методичний посібник, ВДВ ЦІТ Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника м.Івано-Франківськ-Калуш, 2007 р., 162 с. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.. № 25395, від 20.08.2008р. Міністерство освіти і науки України, державний департамент інтелектуальної власності.
11. Курта С.А. Взаимодействие хлористого винила с поверхностью дисперсных окислов. Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. тех. наук. Львов, 1988. -22 с.
12. Курганський В.С. Кинетика синтеза и физико-химическое изучение пероксидных полимерных ПАВ на основе малеинового ангидрида. Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. хим. наук. — Львов, 1984. -16с.
13. Лучкевич Є.Р. Хімія ароматичних азосполук : монографія / Є.Р.Лучкевич. – Івано-

Франківськ : ВДВ ЦІТ Прикарпат. нац. ун-ту ім. В. Стефаника, 2013 р. – 285 с.

14. Курта С.А. Природні вуглеводи і полісахариди. Навчальний посібник. ISBN 878-866-8868-84-3. Видав: Супрун В.П.76025, Івано-Франківськ, вул. В.Великого,12,аХТел.: (0342) 71-04-40,e-mail:printsv@ukr.net, Свід. про внесення до Держреєстру від 17.10.2005р. Серія ІФ №25. – 100с.
15. Курта С.А. Основи нафтохімії. Навчальний посібник. Друк: Голіней О.М..76008, Івано-Франківськ, вул. Галицька 128 Тел.: (0342) 58-04-32(+380505403064 – 183 с.(друк. арк. 11,62) Рішення Вченої Ради Факультету природничих наук ПНУ, протокол №3 від «12» грудня 2018 року. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.№85804 від 10..02.2020р. ст.1.Рішення Мінекономіки торг. Та сільс. Госп.. України.м. Київ. 01008 вул. Грушевського 12\2.
16. Курта С.А. , Хацевич О.М. Основи квантової хімії. (навчально посібник) . Рішення Вченої Ради Факультету природничих наук ПНУ, протокол № 2 від «22» лютого 2018 року р.-235с. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.№85470 від 21.01.2020р. ст.1.Рішення Мінекономіки. України м. Київ, 01008 вул. Грушевського

Завдання для самоконтролю

Питання 1. Природні і синтетичні полімери. Органічні й неорганічні полімери.

Питання 2. Класифікація природних полімерів залежно від походження, хімічного складу й будови ланок і основного ланцюга.

Питання 3. Використання хімічних реакцій макромолекул для хімічного й структурно-хімічного модифікування полімерних матеріалів і виробів.

Питання 4. Фактори, що визначають кристалічність і аморфність природних полімерів.Молекулярна маса природних полімерів.

Питання 5. Охарактеризувати природні полімери:арабіноксилани, целюлоза, хітин, пектини), резервні (крохмаль, глікоген), кислотні та бактеріальні.

Питання 6. Синтезувати поліметилцелюлозний і поліацетатцелюлозний полімер.

Питання 7. Синтезувати штучний полімерний ацетатний шовк.