

Міністерство освіти і науки України
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького

ХАРЧОВА ХІМІЯ

Навчальний посібник

Черкаси 2017

УДК 547: 664
ББК 36-1

Боєчко Ф.Ф., Назаренко Н.В. Харчова хімія. Навчальний посібник. – Черкаси, 2017. – 236с.

Рецензенти:

доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедру анатомії, фізіології та фізичної реабілітації Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького С.О. Коваленко

доцент, кандидат технічних наук, завідувач кафедру готельно-ресторанної справи Східноєвропейського університету А.Б. Собко

Навчальний посібник «Харчова хімія» рекомендовано студентам спеціальностей «Готельно-ресторанна справа», «Технологія харчування», а також як додаткова література викладачам і студентам інших спеціальностей.

Рекомендовано до друку вченою радою Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького
(протокол № 7 від 5 травня 2016 р.)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
Розділ 1. БІЛКИ.....	8
1.1. Визначення та функції білків.....	8
1.2. Хімічний склад білків.....	10
1.3. Характеристика протеїногенних амінокислот.....	11
1.4. Класифікація амінокислот та їх характеристика.....	15
1.4.1. Ациклічні амінокислоти.....	15
1.4.2. Циклічні амінокислоти.....	19
1.5. Будова білків.....	21
1.5.1. Характеристика зв'язків амінокислот у молекулах білка.....	21
1.6 Структура білків.....	26
1.6.1. Первинна структура білків.....	26
1.6.2. Вторинна структура.....	28
1.6.3. Третинна структура.....	29
1.6.4. Четвертинна структура.....	30
1.7. Фізико-хімічні властивості білків.....	31
1.8. Класифікація білків та коротка характеристика їх груп....	36
1.8.1. Прості білки.....	36
1.8.2. Складні білки.....	39
1.9. Біологічна цінність білків.....	41
1.10. Функціональні властивості білків.....	44
1.11. Білки харчової сировини.....	48
1.11.1. Білки злаків.....	48
1.11.2. Білки бобових і олійних культур.....	51
1.11.3. Білки овочів і плодів.....	54
1.11.4. Білки м'яса.....	55
1.11.5. Білки риби.....	57
1.11.6. Білки молока.....	57
1.11.7. Білки яєць.....	60
Розділ 2. ВУГЛЕВОДИ.....	62
2.1. Біологічна роль і класифікація вуглеводів.....	62
2.2. Моносахариди.....	63
2.3. Олігосахариди.....	69
2.4. Полісахариди.....	72
2.5. Добова потреба людини у вуглеводах та їх харчова цінність.....	75
2.6. Вуглеводи харчової сировини.....	77
2.6.1. Вміст вуглеводів у харчових продуктах.....	77
2.6.2. Перетворення вуглеводів при виробництві харчових продуктів. Гідроліз вуглеводів.....	79

2.6.3. Дегідратація вуглеводів.....	81
2.6.4. Реакції утворення коричневих продуктів.....	82
2.6.5. Окиснення вуглеводів.....	85
2.6.6. Бродіння вуглеводів.....	86
2.7. Функції вуглеводів у харчових продуктах.....	93
2.7.1. Функції моносахаридів у харчових продуктах....	93
2.7.2. Функції полісахаридів у харчових продуктах...	95
2.8. Методи визначення вуглеводів.....	101
Розділ 3. ЛІПІДИ.....	103
3.1. Загальна характеристика і класифікація ліпідів.....	103
3.2. Прості ліпіди. Вищі жирні кислоти.....	105
3.3. Складні ліпіди.....	111
3.4. Основні перетворення ліпідів при зберіганні та в технологічному процесі.....	115
3.4.1. Гідроліз ацилгліцеридів.....	115
3.4.2. Переетерифікація ацилгліцеридів.....	116
3.4.3. Гідрування і гідратація ліпідів.....	116
3.4.4. Окиснення ліпідів.....	117
3.5. Виділення ліпідів із сировини і харчових продуктів та їх аналіз.....	120
Розділ 4. ВІТАМІНИ.....	122
4.1. Загальна характеристика, класифікація і номенклатура вітамінів.....	122
4.2. Номенклатура та класифікація вітамінів.....	123
4.3. Характеристика жиророзчинних вітамінів та їх вміст у харчових продуктах.....	124
4.4. Характеристика водорозчинних вітамінів та їх вміст у харчових продуктах.....	136
Розділ 5. ФЕРМЕНТИ.....	154
5.1. Хімічна природа ферментів.....	154
5.2. Активний центр ферментів та механізм їх каталітичної дії.....	155
5.3. Властивості ферментів.....	157
5.4. Номенклатура та класифікація ферментів.....	162
5.5. Застосування ферментів у харчових технологіях.....	164
5.5.1. Виробництво хліба.....	164
5.5.2. Виробництво крохмалопродуктів.....	165
5.5.3. Кондитерське виробництво.....	167
5.5.4. Виробництво соків, безалкогольних напоїв, вин..	169
5.5.5. Алкогольні напої.....	170

5.5.6. Імобілізовані ферменти.....	171
5.6. Ферментативні методи аналізу харчових продуктів.....	172
Розділ 6. МІНЕРАЛЬНІ РЕЧОВИНИ.....	173
6.1. Класифікація мінеральних речовин та їх роль в організмі.....	173
6.2. Характеристика і біологічна роль макроелементів.....	176
6.3. Характеристика і біологічна роль мікроелементів.....	178
6.4. Вміст мінеральних речовин у харчових продуктах. Вплив технологічної обробки на їх мінеральний склад.....	182
6.5. Методи визначення мінеральних речовин у харчових продуктах.....	185
Розділ 7. ХАРЧОВІ ДОБАВКИ.....	186
7.1. Загальна характеристика та класифікація харчових добавок.....	186
7.2. Харчові барвники.....	190
7.3. Ароматичні речовини.....	197
7.4. Регулятори кислотності і лужності.....	199
7.5. Підсолоджувачі.....	201
7.6. Емульгатори й піноутворювачі.....	204
7.7. Згущувачі й стабілізатори.....	205
7.8. Консерванти й антиоксиданти.....	207
Розділ 8. ЗАБРУДНЕННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ	211
8.1. Забруднення харчових продуктів нітратами	213
8.2. Радіоактивне забруднення	217
8.3. Забруднення продуктів харчування пестицидами	222
8.4. Забруднення продуктів харчування важкими металами .	226
8.5. Мікробне забруднення харчових продуктів	228
8.6. Забруднення харчових продуктів і сировини антибактеріальними та гормональними препаратами	232
ЛІТЕРАТУРА	234

ВСТУП

Серед основних проблем сучасності однією з головних є – забезпечення людства повноцінними продуктами харчування.

Вплив харчових інгредієнтів як одного з факторів навколишнього середовища на людину відбувається з народження і до останніх днів життя. Харчові продукти, поступаючи в організм у процесі метаболізму, перетворюються у структурні компоненти клітини, забезпечують організм енергією, впливають на фізіологічну і розумову працездатність, здоров'я, активність, тривалість життя тощо.

Останні роки характеризуються погіршенням здоров'я населення України: зниженням середньої тривалості життя, підвищенням рівня захворюваності і смертності.

Однією з головних причин цього є незадовільне харчування. Порушення повноцінного харчування пов'язане насамперед з нестачею вітамінів, макро- і мікроелементів, повноцінних білків і нераціональним їх співвідношенням.

За дослідженнями вчених, санітарно-епідеміологічних служб порушення харчування населення України пов'язано з:

- надмірним вживанням тваринних жирів і вуглеводів;
- дефіцитом ненасичених жирних кислот;
- дефіцитом повноцінних тваринних білків;
- дефіцитом вітамінів (аскорбінової кислоти (C), рибофлавіну (B₂), тіаміну (B₁), ретинолу (A), β-каротину, токоферолу (E), фолієвої кислоти та ін.);
- дефіцитом мікроелементів (Se, Zn, I, F);
- дефіцитом харчових волокон.

Організація здорового харчування населення – складний, багатогранний процес, який має базуватись на глибоких знаннях як фундаментальних дисциплін: органічної і біологічної хімії, медицини, так і нових досягненнях біотехнології, нових технологічних можливостях виробництва продуктів харчування та соціальних змінах у суспільстві. Продукти харчування повинні не лише задовольнити потреби людини в основних поживних речовинах і енергії, але виконувати профілактичні і лікувальні функції.

Сучасні демографічні і соціальні зміни: технічний прогрес у харчовій промисловості, збільшення людей похилого віку і хворих, ріст міського населення, зміна характеру праці з фізичної на

інтелектуальну, розшарування суспільства потребує не лише удосконалення технології виробництва традиційних продуктів харчування, але і створення нового покоління безпечних харчових продуктів, а саме:

- із збалансованим складом;
- низькою калорійністю;
- пониженим вмістом цукру і жиру і збільшенням корисних для здоров'я інгредієнтів;
- продуктів функціонального (профілактичного) і лікувального призначення;
- швидкого приготування і тривалого зберігання.

Створення сучасних технологій виробництва таких продуктів потребує розвитку науки в галузі здорового харчування. Велика роль у вирішенні цих важливих питань належить харчовій хімії.

Це наука про хімічний склад харчових систем (сировини, напівфабрикатів, готових харчових продуктів) та його зміни під впливом різних факторів у технологічному процесі. Харчова хімія, як наука, допомагає обґрунтувати склад харчових продуктів, визначити в них кількісний і якісний склад, забезпечити оптимальні способи переробки, зберігання і транспортування доброякісної харчової продукції.

Завданням харчової хімії є вивчення:

- 1) взаємозв'язку структури, властивостей харчових речовин та їхнього впливу на біологічну цінність продуктів;
- 2) перетворення складників харчових продуктів під впливом механічних, фізичних, хімічних, біологічних факторів технологічного процесу;
- 3) впливу сучасних харчових і біологічно активних добавок (БАД), а також забруднювачів на якість харчової сировини і продуктів;
- 4) розробки нових принципів і методів аналізу харчових систем, які необхідні для вирішення перерахованих завдань;
- 5) методів виділення, фракціонування, очищення харчових речовин, їх модифікації.

Харчова хімія – наука, значення якої у наш час зростає. Завжди залишиться актуальною думка І.П. Павлова сформульована ним у 1904 році при врученні нобелівської премії: «... над всіма явищами людського життя панує турбота про хліб насущний».

Розділ 1. БІЛКИ

1.1. Визначення та функції білків

Білки – високомолекулярні органічні азотовмісні сполуки, макромолекули яких побудовані з великої кількості залишків амінокислот, що зв'язані між собою пептидним типом зв'язку. Свою назву білки дістали від яєчного білка, що з давніх-давен використовувався як харчовий продукт. Уперше термін «білки» було застосовано французьким фізіологом Ф. Кене у 1747 р. Пізніше, у 1838 р. дослідником Н. Мульдером білки були названі протеїнами (від грец. *proteios* – перший, найважливіший), що відображає основне біологічне значення цих сполук у життєдіяльності живих організмів. Сьогодні в літературі використовуються обидва терміни.

У природі існує досить велика кількість різних білків. За даними ряду авторів вона коливається в межах 10^8 - 10^{12} . Таку різноманітність білків забезпечує 20 протеїногенних амінокислот, які взаємодіють між собою в різній послідовності, утворюючи макромолекули білка з молекулярною масою від 5 тис. до 1 млн. дальтон (1 Да = масі 1 атома водню).

Білки є постійним компонентом всіх живих систем та продуктів харчування, з якими надходять в організм людини. В організмі вони виконують найрізноманітніші функції.

Структурна функція. Білки в середньому становлять 18- 21% загальної сирової маси організму людини і тварин і до 45-50% їх сухої маси. Найбільша кількість білків міститься в паренхіматозних органах - селезінці, легенях, нирках та м'язах. Найменша кількість їх міститься у кістковій тканині. Білки входять до складу всіх органів і тканин. Вони беруть участь в утворенні структурної основи клітин і їх органел – мембранних структур, мітохондрій, рибосом, цитоплазми. Людині і вищим тваринам білки необхідні для утворення стінок судин, формування покривних, м'язових і сполучних тканин організму, вони становлять основу органічної частини кісткової тканини, хрящів, зв'язок і сухожилів.

Каталітична функція. Усі ферменти – біологічні каталізатори, що зумовлюють перебіг хімічних реакцій в організмі – мають білкову природу. Вони є необхідними для життєдіяльності кожного живого організму.

За участю ферментів у клітинах одночасно проходить багато різних біохімічних реакцій, які забезпечують синтез і розщеплення різноманітних сполук з досить великою швидкістю за звичайної температури і тиску. Зараз відомо близько 2 тисяч білків, які ферментативно активні і більше 200 з них виділено у кристалічному стані.

Гормональна функція. Значна кількість гормонів також є білками або продуктами білкового обміну. Це, зокрема, такі гормони, як інсулін, тетелін, тиреотропін, адренкортикотропний гормон, окситоцин, вазопресин та ін. Гормони беруть активну участь у регуляції обміну, впливають на проникність клітинних мембран, регулюють активність ферментів, діють на процеси трансляції і транскрипції та ін.

Транспортна функція. Білки виконують також важливу транспортну функцію. Для нормальної життєдіяльності кожного організму необхідне постійне забезпечення його органів і тканин поживними речовинами. Ці речовини переносяться з током крові сполуками білкової природи. Так, перенесення кисню до тканин, а на зворотному шляху вуглекислого газу до легень здійснюється за допомогою складного білка хромопротеїнового типу – гемоглобіну. Транспорт різних груп ліпідів і жиророзчинних вітамінів до різних органів і тканин здійснюється за участю складних білків – ліпопротеїнів.

Захисна функція. Вона здійснюється в основному за участю білків γ -глобулінів, з якими пов'язані імунні реакції організму. Антитіла, які утворюються в організмі при несприятливій дії на нього різних факторів (хвороботворних бактерій, вірусів, токсинів), мають білкову природу. Зв'язуючись з мікроорганізмами чи токсинами, вони інактивують їх, гальмують патогенну дію і знешкоджують токсичні продукти. Відомо ряд інших процесів, у яких білки також виконують захисну функцію, наприклад у процесах зсідання крові, оберігаючи організм від надмірної її втрати при різних травмах, тощо.

Механічна функція. Білки беруть участь у забезпеченні різних форм механічного руху - скороченні і розслабленні м'язів, роботі внутрішніх органів – серця, легень, шлунку і т. д. Ці процеси здійснюються за участю таких білків як актин, міозин, тропоміозин і ряду інших.

Енергетична функція. Білки як і вуглеводи і ліпіди, є також важливим джерелом енергії для організму. Так, при розщепленні 1г

білка виділяється 17,7 кДж енергії. За рахунок білків організм людини одержує 10-15% енергії.

Отже, з далеко неповного переліку функцій білків в організмі видно, що їм належить ведуча роль у забезпеченні процесів життєдіяльності. Багатоплановість і важливість проблеми білка зумовлена насамперед тим, що з нею пов'язано вирішення досить важливого питання про закономірності розвитку живої матерії, пізнання вищої форми її існування, розкриття суті явищ, що лежать в основі життя, і свідомого керування ним.

1.2. Хімічний склад білків

Елементний склад. Проведеними дослідженнями було встановлено, що до складу білків входять, %: вуглець – 50-55, водень – 6,5-7,3, азот – 15-17, кисень – 21-23, сірка – 0,3-2,5. Ускладі білків було виявлено також фосфор, йод, залізо та інші елементи.

Оскільки у складі різних білків найбільш стабільним є вміст азоту (16%), то за його кількістю почали визначати вміст білків у тканинах органів, рідинах, препаратах тощо. Для цього одержану в результаті аналізу кількість азоту множать на коефіцієнт 6,25 ($100:16 = 6,25$).

Амінокислотний склад. Разом з визначенням елементного складу білків було розпочато вивчення і їх будови. Спочатку вважали, що основними структурними компонентами молекул білка є пептони, які було виділено при гідролізі різних білків. Пізніше (серед продуктів розщеплення білків) дослідники звернули увагу на речовини, які довгий час розглядалися ними не як г вагові частини молекул білка, а як продукти дії на білкові речовини сильних хімічних реагентів.

У 1820 р. А. Браконно вперше при кислотному гідролізі білка (желатини) виділив амінокислоту – гліцин. Оскільки амінокислота була солодка на смак, то її назвали глікоколом (від грец. *glucus* – солодкий і лат. *colla* – клей).

Дещо пізніше (в 1871 р. російським хіміком М.М. Любавіним) було доведено, що і при ферментативному гідролізі білки розкладаються на амінокислоти. Отже, в другій половині XIX ст. було встановлено, що основними структурними компонентами білка є амінокислоти.

1.3. Характеристика протеїногенних амінокислот

Для розуміння хімічної структури і властивостей білків важливе значення має вивчення хімічної природи і властивостей їх елементарних ланок – амінокислот. У природі виявлено багато різних амінокислот, проте до складу більшості білків їх входить лише 20. Всі амінокислоти, що входять до складу білків, часто називають протеїногенними. Решта амінокислот входить до складу фізіологічно активних речовин (гормонів, коферментів, антибіотиків) або знаходиться в органах та тканинах тварин і рослин у вільному стані - непротеїногенні.

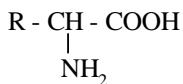
Усі амінокислоти, які виявлено в складі білка, синтезуються в рослинних організмах. В організмі людини і тварин синтезується лише частина протеїногенних амінокислот, а деякі з них утворюються в недостатній кількості для нормального синтезу білка. У зв'язку з цим усі протеїногенні амінокислоти поділяють на три групи: незамінні, напівнезамінні і замінні (табл. 1).

Незамінні амінокислоти - це такі амінокислоти, які в організмі не синтезуються. Тому вони повинні обов'язково поступати в організм з їжею. Для організму людини повністю незамінними є вісім амінокислот: *валін, лейцин, ізолейцин, треонін, лізин, метіонін, фенілаланін і триптофан*. До напівнезамінних належать амінокислоти, які синтезуються в організмі в недостатній кількості. Для організму людини такими амінокислотами є аргінін, тирозин і гістидин.

Замінні амінокислоти синтезуються в організмі з цілого ряду органічних сполук, у тому числі з деяких амінокислот. Організм може певний час обходитися без таких амінокислот за умови, що з їжею поступатимуть речовини, з яких синтезуються ці амінокислоти.

Амінокислоти - похідні карбонових кислот аліфатичного або ароматичного ряду, в молекулах яких один чи кілька атомів водню заміщені на аміногрупу. Залежно від того, біля якого вуглецевого атома заміщено атом водню, розрізняють α -, β - і γ -амінокислоти.

В амінокислотах, які входять до складу білків, аміногрупа розміщена біля α -вуглецевого атома, тобто усі вони є α -амінокислотами. Загальну формулу цих амінокислот можна записати так:



Таблиця 1. Незамінні (+), напівнезамінні (±) і замінні (-) амінокислоти, необхідні для деяких видів організмів (за Любке та ін.)

Амінокислота	Потреба в амінокислотах						
	Дюдини	Щурів	Мишей	Курей	Лосося	Молоскі в	Бджіл
Гліцин	-	-	-	±	-	+	-
Аланін	-	-	-	-	-	-	-
Валін	+	+	+	+	+	+	+
Лейцин	+	-	+	+	+	+	+
Ізолейцин	+	+	+	+	+	+	+
Цистейн	-	-	-	-	-	-	-
Метіонін	+	+	+	+	+	+	+
Серин	-	-	-	-	-	-	-
Треонін	+	+	+	+	+	+	+
Аспарагінова кислота	-	-	-	-	-	-	-
Глутамінова кислота	-	-	-	-	-	-	-
Лізин	+	+	+	+	+	+	+
Аргінін	±	±	±	+	+	+	+
Фенілаланін	+	+	+	+	+	+	+
Тирозин	±	±	±	+	-	-	-
Гістидин	±	+	+	+	+	+	+
Триптофан	+	+	+	+	+	+	+
Пролін	-	-	-	-	-	-	-

Амінокислоти відрізняються між собою лише хімічною природою радикалів. Радикал – це угруповання атомів у молекулі амінокислоти, що зв'язане з α -вуглецевим атомом, яке не бере участі у формуванні остова поліпептидного ланцюга. Радикалами є залишки жирних кислот, ароматичні ядра, різні гетероцикли та ін.

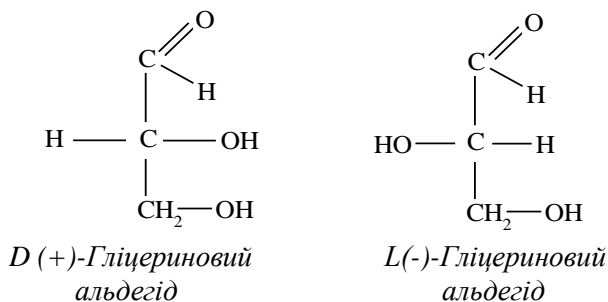
З білків виділено також амінокислоти, які містять більше ніж одну амінну або карбоксильну групу. При наявності у складі амінокислоти двох аміногруп одна з них розміщується в α -положенні, а друга – в ω -положенні, тобто біля першого вуглецевого атома з

протилежного кінця від α -аміногрупи. Крім того, із продуктів гідролізу білків виділено амінокислоти, які містять групу $—NH$ замість групи $—NH_2$ і дістали назву імінокислот.

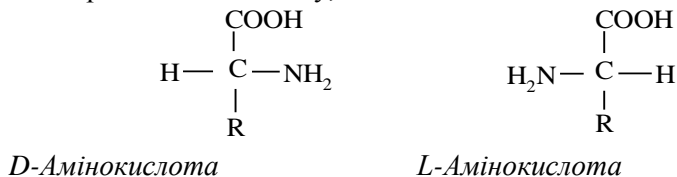
Виділені з білків амінокислоти – це безбарвні, кристалічні речовини, переважна більшість яких добре розчинна у воді і погано розчинна в органічних розчинниках. Усі амінокислоти плавляться при температурі, вищій ніж $200^\circ C$, причому деякі з них при нагріванні розкладаються.

Амінокислоти є оптично активними сполуками. Тому кожна молекула амінокислоти може бути правообертаюча, яку позначають знаком плюс (+), або лівообертаюча, яку позначають знаком мінус (-).

Конфігурацію амінокислот визначають у порівнянні з гліцериновим альдегідом. Відомо D- і L-форми гліцеринового альдегіду:



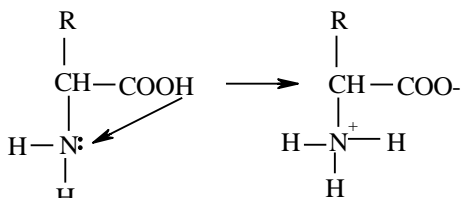
Якщо розташування атома водню біля вуглецю в α -положенні амінокислоти подібне до розташування водню в тому самому положенні D-гліцеринового альдегіду, то амінокислота належить до D-ряду. Якщо ж розміщення атома водню амінокислоти відповідає L-формі гліцеринового альдегіду, то і амінокислота належить до L-ряду:



D-форма гліцеринового альдегіду завжди обертає площину поляризації вправо (+), а L-форма – вліво (-). Однак для деяких сполук, у тому числі і амінокислот, знаки D і L не співпадають з напрямом обертання площини поляризації. Разом з тим слід

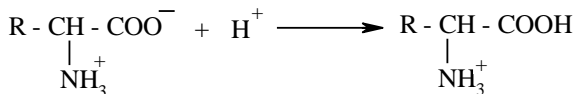
підкреслити, що знаки D і L характеризують не оптичну активність амінокислот, а належність їх до групи споріднених сполук, які мають однакову просторову конфігурацію біля α -вуглецевого атома.

Амінокислоти – це амфотерні сполуки, які містять дві протилежні за властивостями функціональні групи – карбоксильну та амінну. Тому за звичайних умов можлива взаємодія між аміно- і карбоксильною групами амінокислот (у водних розчинах або в кристалічному стані):

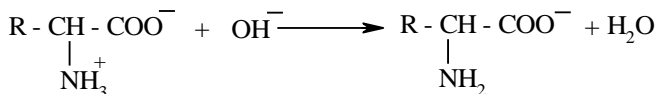


За цих умов молекула амінокислоти перетворюється на диполарний іон (цвіттеріон), який має два протилежних заряди – негативний, утворений внаслідок відщеплення позитивно зарядженого протона від карбоксильної групи, і позитивний, утворений внаслідок приєднання протона до аміногрупи. В результаті внутрішньомолекулярної взаємодії утворюється нейтральна сполука – внутрішня сіль амінокислоти, тому розчини амінокислот у більшості випадків мають нейтральний характер і на індикатори не діють (за винятком амінокислот, які містять у складі молекул кілька аміно- чи карбоксильних груп).

Амінокислоти в розчинах виявляють властивості амфотерних електролітів (амфолітів). Залежно від рН середовища вони можуть мати кислотні або лужні властивості. Так, у кислому середовищі (при надлишку іонів H^+) дисоціація карбоксильної групи пригнічується, молекула амінокислоти при цьому набуває позитивного заряду і реагує як катіон:



У лужному середовищі, під дією іонів OH^- , іонізація аміногрупи пригнічується, молекула амінокислоти набуває негативного заряду, тобто реагує як аніон:



Значення рН середовища, при якому загальний сумарний заряд амінокислоти дорівнює нулю, має назву ізоелектричної точки. Наявність у складі молекул амінокислот аміно- і карбоксильних груп зумовлює їх участь у хімічних реакціях, характерних для цих груп.

1.4. Класифікація амінокислот та їх характеристика

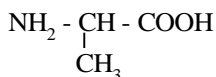
Амінокислоти, які входять до складу білків, часто класифікують за кількістю аміно- і карбоксильних груп. Зараз також використовується класифікація амінокислот, яка ґрунтується на полярності їх радикалів. За цією ознакою амінокислоти поділяють на чотири класи: з неполярними радикалами, з незарядженими полярними радикалами, з негативно зарядженими полярними радикалами і з позитивно зарядженими полярними радикалами.

Нижче наводиться класифікація амінокислот за першою ознакою.

1.4.1. Ациклічні амінокислоти. Цю групу амінокислот залежно від кількості амінних і карбоксильних груп поділяють на чотири класи:

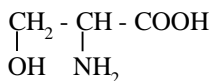
1. Моноаміномонокарбонові кислоти. До цього класу входять амінокислоти, які містять одну амінну і одну карбоксильну.

L (+)-аланін (α -амінопропіонова кислота)



Ця амінокислота часто зустрічається у складі білків рослин і тварин, а також знаходиться у вільному стані. Крім α -аланіну в організмі виявлено також β -аланін. Однак до складу білків останній не входить. β -Аланін бере участь в утворенні структури пептидів, зокрема дипептидів карнозину та ансерину, які містяться у м'язовій тканині більшості хребетних тварин, та входить до складу вітаміну В₃.

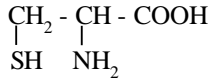
L (-)-серин(α -аміно- β -оксипропіонова кислота)



Синтезується в організмах людини і тварин, є складовою частиною багатьох білків. Серин входить до складу активних центрів таких ферментів, як трипсин, холінестераза бере участь у синтезі

окремих амінокислот.

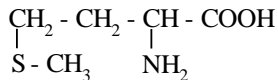
L (-)-цистеїн(α-аміно-β-тіопропіонова кислота)



Характерною особливістю цієї амінокислоти є те, що її сульфгідрильна група легко окислюється. При цьому дві молекули цистеїну взаємодіють між собою й утворюють діамінодикарбонову кислоту – цистин (β,β-дитіо-α,α-діамінопропіонову кислоту).

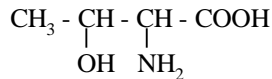
Особливо важливе значення дисульфідні зв'язки мають для білків пшениці, оскільки вони зумовлюють високу пружність клейковини.

L (-)-метіонін(α-аміно-g-метилтіомасляна кислота)



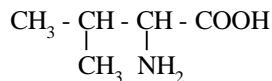
В організмі відіграє надзвичайно важливу роль як донор метильних груп для забезпечення процесів синтезу холіну, адреналіну, бере участь у процесах утворення цистеїну та інших біологічно активних речовин. В організмі людини і тварин не синтезується.

L (-)-треонін(α-аміно-β-оксимасляна кислота)



Входить до складу багатьох рослинних і тваринних білків. Значна кількість треоніну міститься в таких білках, як пепсин, фібрин та ін. Треонін має два асиметричні атоми вуглецю – один у α-положенні, а другий у β-положенні. Тому для нього характерні чотири ізомерні форми. В організмі людини і тварин треонін не синтезується.

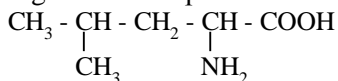
L (+)-валін(α-аміно-β-метилмасляна кислота)



В організмі тварин і рослин валін входить до складу білків та зустрічається у вільному стані. Значна кількість валіну (4-15%) міститься у білках – міоглобіні, казеїні і еластині. В організмі людини і тварин валін не синтезується, і тому для забезпечення нормальних

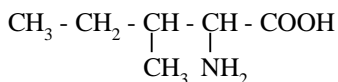
фізіологічних процесів він повинен постійно надходити з продуктами харчування.

L (-)-лейцин(α -аміно- γ -метилвалеріанова кислота)



Входить до складу багатьох білків тваринного і рослинного походження. Значна кількість його міститься у пророслому зерні злакових культур. В організмі людини і тварин лейцин не синтезується, належить до незамінних амінокислот.

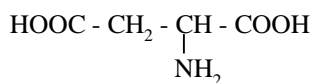
L (+)-ізолейцин(α -аміно- β -метилвалеріанова кислота)



У складі білків міститься в незначних кількостях, належить, як і лейцин, до незамінних амінокислот.

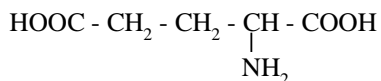
2. *Моноамінодикарбонові кислоти.* Цей клас амінокислот містить одну амінну і дві карбоксильні групи, тому їх водні розчини мають кислотний характер:

L (+)-аспарагінова кислота (аміноянтарна)



Особливо високий вміст її було виявлено в соку спаржі (звідси і походить її назва). Аспарагінова кислота синтезується в організмах людини і тварин, входить до складу багатьох білків рослинного і тваринного походження. Вона використовується в процесах синтезу азотистих основ нуклеїнових кислот і сечовини, знешкодження аміаку, переамінування амінокислот та ін.

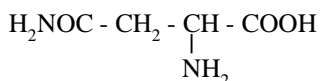
L (+)-глутамінова кислота(α -аміноглутарова)



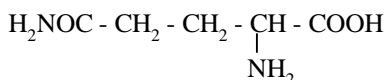
Глутамінову кислоту вперше було виділено у 1866 р. з гідролізату клейковини пшеничного зерна. Вона знаходиться як у складі білків, так і у вільному стані. Зокрема, високим вмістом глутамінової кислоти характеризуються альбуміни і глобуліни крові,

колаген та інші білки. Глутамінова кислота, як і аспарагінова, бере участь у багатьох обмінних процесах організму – в дезамінуванні, переамінуванні, декарбоксілюванні амінокислот. З неї утворюється важливий медіатор нервової системи – γ -аміноасляна кислота та інші важливі сполуки, зокрема глутамін. Натрієва сіль глутамінової кислоти широко використовується в харчовій промисловості для поліпшення смакових якостей харчових продуктів.

Ці амінокислоти входять до складу білків також у вигляді амідів – аспарагіну



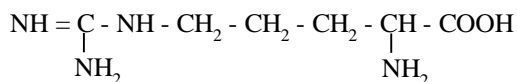
і глутаміну



Аспарагін і глутамін відіграють важливу роль у процесах обміну в організмі, особливо в процесах зв'язування аміаку і транспорту його до місця синтезу сечовини. Особливо багато аспарагіну нагромаджується в паростках бобових рослин.

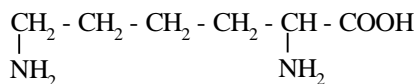
3. *Діаміномонокарбонові кислоти.* Амінокислоти цього класу мають у своєму складі дві аміногрупи і одну карбоксильну, тому їх водні розчини рооявляють лужні властивості.

L (+)-аргінін (α -аміно- δ -гуанідинвалеріанова кислота)



Високий вміст аргініну (до 84% загальної маси амінокислот) виявлено в спермі риб. Аргінін відіграє досить важливу роль в обміні речовин, зокрема в процесах утворення сечовини, креатину та інших речовин. Аргінін постійно синтезується в організмі людини і тварин.

L (+)-лізин (α, ϵ -діамінокапронова кислота)

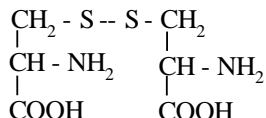


Входить до складу всіх білків; в організмах людини і тварин не

синтезується і належать до незамінних амінокислот. Багато лізину міститься в білках ядер – протамінах і гістонах.

Зараз лізін добувають у результаті хімічного синтезу, його використовують для підвищення продуктивності сільськогосподарських тварин.

4. *Діамінодикарбонові кислоти.* Існує одна амінокислота цього класу – цистин (β,β -дитіо- α,α -діамінопропіонову кислоту):

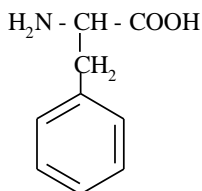


При відновленні цистину відбувається розщеплення його на дві молекули цистеїну. Отже, ці амінокислоти відіграють важливу роль в окислювально-відновних процесах організму. У значних кількостях цистеїн входить до складу багатьох білків, зокрема білків волосся, нігтів, пір'я та ін.

1.4.2. Циклічні амінокислоти. Цю групу амінокислот поділяють на два класи.

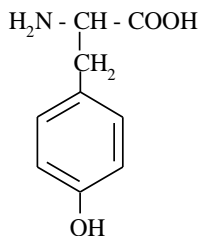
1. *Карбоциклічні амінокислоти*

L (-)-фенілаланін (α -аміно- β -фенілпропіонова кислота)



В організмі людини і тварин не синтезується. Використовується в процесах синтезу адреналіну і тироксину.

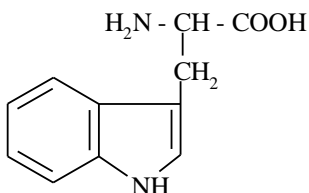
L (-)-тирозин (α -аміно- β -параоксифенілпропіонова кислота)



Входить до складу різних білків, особливо велика кількість його є в інсуліні великої рогатої худоби (до 12,5%) і пепсині (до 8,5%). У організмі людини і тварин тирозин утворюється при окисненні фенілаланіну і використовується в процесах синтезу гормонів – тироксину, адреналіну і норадреналіну тощо.

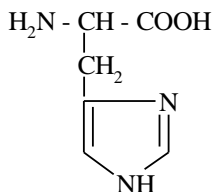
2. Гетероциклічні амінокислоти

L (-)-триптофан(α -аміно- β -індолілпропіонова кислота)



Вперше виділено у 1901 р. з продуктів гідролізу казеїну. Міститься в білках рослинного і тваринного походження. В організмах людини і тварин не синтезується і належить до незамінних амінокислот.

L (-)-гістидин(α -аміно- β -імідазолпропіонова кислота)



У значних кількостях гістидин міститься в тканинах печінки, нирок та в гемоглобіні крові. З гістидину при його декарбоксілюванні утворюється важливий біогенний амін – гістамін, який сприяє розширенню кровеносних судин та секреції соляної кислоти в шлунку.

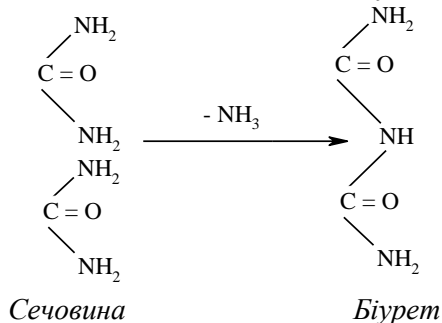
Амінокислоти відіграють дуже важливу роль в організмі у

синтезі важливих фізіологічно активних сполук, а також у забезпеченні деяких властивостей харчової сировини і продуктів. Тирозин відповідає за забарвлення волосся, шкіри, очей, потемніння харчових продуктів: хліба, фруктів, картоплі у процесі обробки. Глутамінова кислота утворює пролін, який відіграє важливу роль у формуванні структури колагену і білків клейковини пшениці, утворюючи у молекулах згини. Дисульфідні зв'язки цистеїну надають клейковині пружні властивості.

1.5. Будова білків

Вивчення будови цих природних полімерів досить складне завдання, оскільки воно охоплює такі питання, як вивчення кількісного та якісного амінокислотного складу, порядку розміщення амінокислот у молекулах, дослідження конформації білкових молекул та локалізацій зв'язків, що стабілізують молекули і забезпечують їхній нативний стан. Над розв'язанням кожного із цих питань протягом тривалого часу працювали вчені багатьох країн світу. Було висловлено багато гіпотез і припущень щодо складових компонентів та структури білкових молекул.

Наприкінці XIX ст. російський учений О.Я. Данилевський висловив припущення, що молекули білків складаються з однотипних, подібних за будовою ланок. Досліджуючи білки та продукти неповного їх гідролізу, він помітив, що білки забарвлюються в синьо-фіолетовий колір при доливанні лужного розчину сульфату міді. Таке саме забарвлення виникало і при доливанні цього розчину до біурету – сполуки, що утворюється при нагріванні сечовини внаслідок відщеплення аміаку.



Оскільки О.Я. Данилевський вважав, що біуретова реакція зумовлена чергуванням груп —CO—NH— , то він зробив припущення, що подібне угруповання є в білках та продуктах неповного гідролізу.

Значний внесок щодо будови білків вніс німецький учений Е. Фішер. При проведенні кислотного і ферментативного гідролізу білків він встановив, що основними продуктами гідролізу білків є амінокислоти; при гідролізі білків руйнуються зв'язки між групами —CO—NH— ; утворення груп —COOH і —NH_2 відбувається у співвідношенні 1:1; усі білки дають біуретову реакцію, що свідчить про наявність в їх складі —CO—NH— - зв'язків. Ці зв'язки Е. Фішер назвав пептидними.

1.5.1. Характеристика зв'язків амінокислот у молекулах білка. Для нативних білків, що мають специфічні фізико-хімічні та біологічні властивості, характерним є наявність нижчих та вищих рівнів структури. Для кожного рівня структури характерні певні види зв'язків, за рахунок яких відбувається надійна стабілізація білкових молекул.

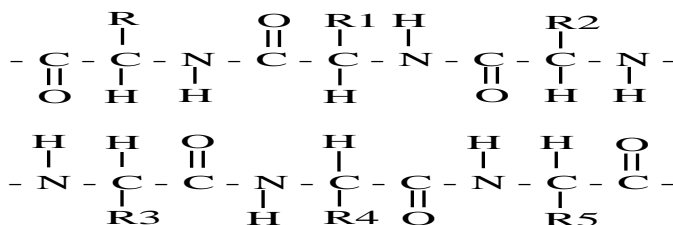
Згідно з загальними положеннями структура білків є результатом дії таких сил: пептидних зв'язків між CO—NH -групами амінокислот; дисульфідних зв'язків, які утворюються між залишками амінокислотистеїну; водневих зв'язків між киснем карбонільної і воднем імінної груп пептидних угруповань; гідрофобної взаємодії.

Отже, стабілізація структури білкової молекули забезпечується за рахунок ковалентних зв'язків та сил слабкої взаємодії. При цьому в стабілізації кожного виду структури вирішальна роль належить одному із зв'язків, а решта відіграють допоміжну роль. Так, ковалентні зв'язки (сили міцної взаємодії) забезпечують стабілізацію первинної і третинної структур (пептидний та дисульфідний зв'язки). Решта видів структури стабілізуються за рахунок сил слабкої взаємодії водневих та іонних зв'язків, сил Ван-дер-Ваальса, гідрофобної взаємодії тощо.

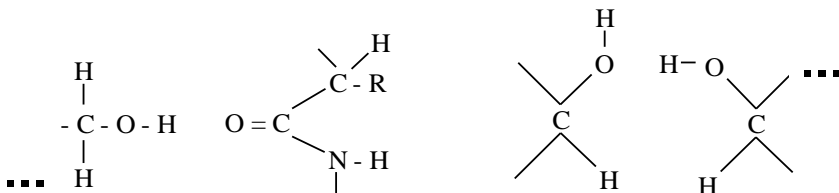
Пептидний зв'язок. Цей зв'язок утворюється внаслідок взаємодії карбоксильної групи однієї амінокислоти з аміногрупою іншої амінокислоти. Сполуки, які при цьому утворюються, називаються пептидами. Схематично даний процес можна записати так:

– водневий, дисульфідний, іонний та гідрофобний. Вони мають важливе значення при утворенні відповідних структур білка.

Водневий зв'язок досить поширений в хімічних сполуках. Він утворюється між ковалентно зв'язаним атомом водню, який має частковий позитивний заряд, та іншими ковалентно зв'язаними атомами, що мають негативний заряд. У молекулах білка водневий зв'язок найчастіше утворюється при взаємодії атома водню імінної групи залишку однієї амінокислоти з атомами кисню карбонільної групи залишку іншої амінокислоти:



Водневий зв'язок у молекулі білка може бути внутрішньоланцюговим (з'єднує окремі витки однієї спіралі) і міжланцюговим (з'єднує різні поліпептидні ланцюги). У нативних білках цей тип зв'язку може утворюватися не лише між воднем і киснем пептидних груп, а й між іншими функціональними групами поліпептидного ланцюга:

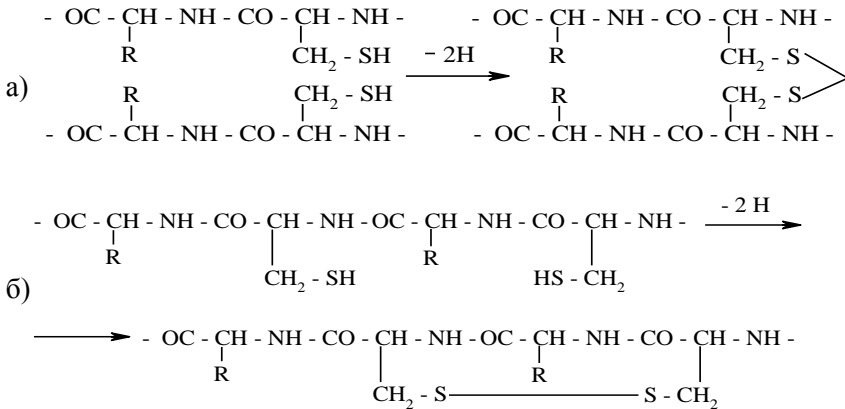


Водневий зв'язок, на відміну від інших зв'язків, досить слабкий. Енергія цього зв'язку дорівнює 6 кДж, тоді як, наприклад, енергія зв'язку між атомами вуглецю становить близько 250 кДж. Тому водневий зв'язок легко утворюється і легко руйнується при звичайних умовах. Він відіграє важливу роль в утворенні вторинної, третинної і четвертинної структур білка.

Дисульфідний зв'язок. До складу переважної більшості білків входять залишки амінокислоти цистеїну. Цей досить міцний ковалентний зв'язок утворюється внаслідок відщеплення атомів вод-

ню від сульфгідрильних груп двох амінокислотних залишків цистеїну. Дисульфідний зв'язок, як і водневий, може бути внутрішньоланцюговим (а) і міжланцюговим (б).

Схему утворення дисульфідного зв'язку можна показати так:



Велика кількість дисульфідних зв'язків є також в білках сполучної і покривної тканин та в білках, які мають високу біологічну активність.

Дисульфідні зв'язки мають важливе значення в формуванні третинної структури білків. Руйнування цих зв'язків призводить до дестабілізації даного рівня структури і втрати білком його біологічної активності.

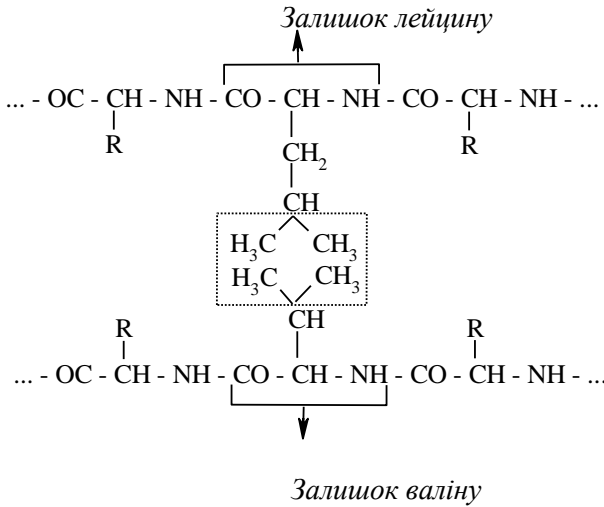
Іонний зв'язок утворюється при наявності у поліпептидних ланцюгах молекулбілків залишків моноамінодикарбонових і діаміномонокарбонових кислот.



Вільні карбоксильні та амінні групи цих залишків амінокислот перебувають переважно в іонізованому стані, в результаті чого між ними виникає електростатична взаємодія.

Іонний зв'язок відіграє важливу роль при утворенні третинної і, можливо, четвертинної структур білків.

Гідрофобний зв'язок утворюється внаслідок міжмолекулярної взаємодії (сил Ван-дер-Ваальса) між гідрофобними (неполярними) радикалами таких амінокислот, як аланін, валін, лейцин, ізолейцин, фенілаланін тощо.



Гідрофобний зв'язок має важливе значення для стабілізації третинної і четвертинної структур білків.

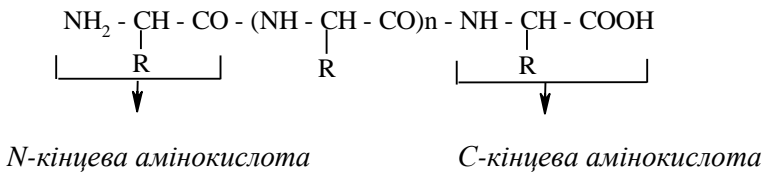
Для повного уявлення будови білків важливе значення має не тільки вивчення їх кількісного та якісного амінокислотного складу і способів зв'язку амінокислот в їх молекулах, а й цілого ряду інших питань. Особливо важливим є дослідження послідовності розміщення залишків амінокислот у поліпептидних ланцюгах, тобто первинної структури білка. Остання визначає тривимірну структуру поліпептидних ланцюгів, яка називається конформацією білка. Це термодинамічний, найбільш стійкий стан поліпептидних ланцюгів.

Про білки, які мають нормальну конформацію, кажуть, що вони перебувають у нативному (природному) стані. Від конформації білкової молекули залежить її біологічна функція.

1.6. Структура білків

1.6.1. Первинна структура білків. Первинна структура білків – важлива їх характеристика, яка визначає властивості, функції, біологічну роль та просторову конфігурацію нативних білків. Під первинною структурою розуміють порядок розміщення або чергування залишків амінокислот в одному або кількох поліпептидних ланцюгах. Вона характеризується такими ознаками: природою амінокислот, які входять до складу молекули; кількістю амінокислот; порядком розміщення залишків амінокислот у поліпептидному ланцюгу. Первинна структура білка стабілізується пептидними (ковалентними) зв'язками.

Поліпептидний ланцюг з характерною для нього первинною структурою має N- і C-кінцеві амінокислоти. N-Кінцевою амінокислотою називається амінокислота поліпептидного ланцюга з вільною аміногрупою, а C-кінцевою амінокислотою – з вільною карбоксильною групою. Нумерацію залишків амінокислот починають з N-кінцевої амінокислоти і закінчують C-кінцевою амінокислотою. Схематично поліпептидний ланцюг записують так:



Властивості і функції білків залежать не лише від кількісного та якісного складу мономерних ланок – амінокислот, а й від порядку розміщення їх, причому заміна чи перегрупування амінокислот у первинній структурі викликає втрату певних функцій і відповідних біологічних властивостей.

У білках відсутня певна загальна закономірність чергування залишків амінокислот, яка була б характерна для всіх білків. Вісімнадцять, амінокислот і два амідні, що входять до складу білків, багаторазово повторюються в складі білкових молекул, причому в різних білках співвідношення між ними неоднакове. Проте встановлено, що в поліпептидних ланцюгах білків, а також на різних ділянках одного і того самого поліпептидного ланцюга зустрічаються фрагменти (ди-, три-, тетрапептиди) однакові або подібні за порядком

чергування амінокислот, тобто для первинної структури білків характерним є принцип структурної подібності.

Першим білком, в поліпептидному ланцюгу якого детально вивчили якісний і кількісний склад та послідовність розміщення залишків амінокислот, був гормон інсулін. За ці дослідження англійському біохіміку Ф. Сенгеру в 1958 р. було присуджено нобелівську премію.

Нині повністю розшифровано первинну структуру ферментів рибонуклеази, пепсину, хімотрипсину, карбоксипептидази, білків, які входять до складу цитохромів, гемоглобіну та цілого ряду інших.

Успішне вивчення первинної структури білків обумовило їх хімічний синтез. В останні роки синтезовано білки інсулін рибонуклеазу та багато інших, причому всі вони мають властиву для білків біологічну активність.

1.6.2. Вторинна структура. Під вторинною структурою молекули білка розуміють просторову конфігурацію поліпептидного ланцюга. Відомо, що існує тільки невелика кількість білків поліпептиди яких перебувають у вигляді лінійних ланцюгів. Використовуючи рентгеноструктурні методи дослідження, встановили, що переважна більшість білків мають поліпептидні ланцюги, скручені у вигляді спіралі.

Вважають, що найбільш можливим типом спіралі є так звана α -спіраль (рис 1), на існування якої вперше вказали Полінг і Корі.

Як видно з рисунка, α -спіраль є правою спіраллю, оскільки вона закручується (на відміну від лівої спіралі) зліва направо. На один завиток припадає 3,6 амінокислотних залишки, радикали яких направлені назовні.

Важливу роль в утворенні і стабілізації вторинної структури білка відіграють водневі зв'язки. В α -спіралі вони виникають між карбонільними й імінними групами сусідніх звивів поліпептидного ланцюга (на рис. 1 водневі зв'язки позначені пунктирною лінією).

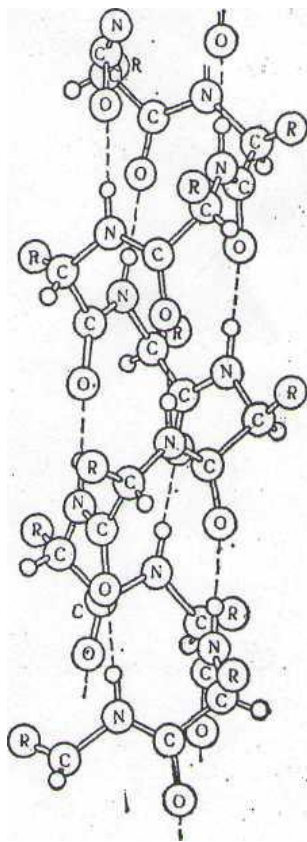


Рис.1. Модель α -спіралі (за Полінгом і Корі)

Слід відмітити, що хоч енергія водневого зв'язку і невелика, однак значна їх кількість зумовлює достатню стійкість і жорсткість спіралі.

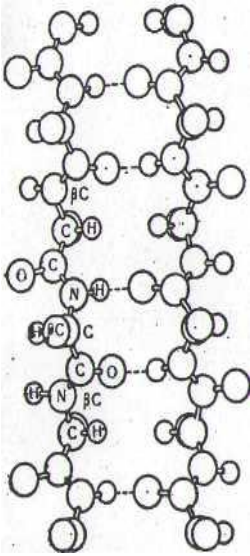


Рис. 2. Модель β-структури поліпептидів

Поряд з цим встановлено, що поліпептидні ланцюги в молекулах білка спіралізовані не повністю. Такі випадки зустрічаються дуже рідко. Для кожного білка характерний певний ступінь спіралізації поліпептидного ланцюга. Наприклад, для білка гемоглобіну ступінь спіралізації становить 75, альбуміну курячого яйця - 45, а для рибонуклеази тільки 17%. Наведені дані свідчать про те, що в білкових молекулах поряд із спіралізованими ділянками поліпептидного ланцюга існують і лінійні.

В останні роки встановлено, що крім α-спіралі може існувати інша впорядкована конфігурація поліпептидних ланцюгів, відома під назвою β-структури (рис. 2). Для її утворення поліпептидні ланцюги повинні бути до певної міри витягнутими і розміщеними паралельно. Стабілізація β-структури, як і α-спіралі, відбувається за рахунок водневих зв'язків. Ця структура властива для таких білків, як: фіброїн (білок шовку), кератин (білок сполучної тканини), міозин (білок м'язів) та деяких інших.

Зараз відомо ряд білків, які в одній молекулі містять ділянки α- і β-структури.

Отже, розглянуті вище α-спіраль і β-структура складають другий порядок або рівень організації структури білкової молекули, тобто вторинну структуру, важливу роль в утворенні якої відіграють водневі зв'язки.

1.6.3. Третинна структура. Вона характеризується певною конфігурацією спіралізованих і лінійних ділянок поліпептидних ланцюгів у просторі. Іншими словами, третинна структура – це укладання вторинних структур поліпептидних ланцюгів з утворенням клубків різної форми.

Для кожного білка властива своя третинна структура, від якої і залежать його специфічні біологічні властивості. Слід відмітити, що поліпептидні ланцюги не просто укладаються з утворенням

структури, яка близька до сферичної, а укладання її проходить через цілий ряд точно визначених станів з утворенням унікальної конфігурації молекули білка. Про це свідчить той факт, що незначне порушення третинної структури білка, як правило, приводить до втрати його біологічних властивостей. В утворенні і стійкості третинної структури білка важливу роль відіграють водневі, дисульфідні, гідрфобні та іонні зв'язки. Особливо велике значення в формуванні третинної структури білкової молекули мають перші три види зв'язків. Серед них високою міцністю відзначається дисульфідний зв'язок, який є ковалентним.

Важливу роль в утворенні третинної структури відіграють і гідрофобні зв'язки, тобто взаємодія неполярних гідрофобних білкових груп. При формуванні третинної структури білка поліпептидні ланцюги укладаються так, щоб максимальна кількість гідрофільних груп залишків амінокислот була назовні, тобто повернута до водного середовища, а гідрофобних - захована всередині структури (глобули). Тепер вважають, що для збереження третинної структури білка і певної просторової конфігурації поліпептидних ланцюгів гідрофобні зв'язки мають більше значення, ніж водневі.

У наш час з'ясовано третинну структуру багатьох білків. Вперше була розшифрована третинна структура білка міоглобіну англійським вченим Кендрю в 1957 р. Крім міоглобіну з'ясована третинна структура таких білків, як гемоглобіну, рибонуклеази, лізоциму, хімотрипсिनогену та деяких інших.

1.6.4. Четвертинна структура. Ряд білків складається із двох, чотирьох і більшої кількості індивідуальних поліпептидних ланцюгів. Такі ланцюги з власною третинною структурою називають субодинамиціями. Взаємне просторове розміщення субодинамиць у білковій молекулі і становить четвертинну структуру білка.

Класичним прикладом білка з четвертинною структурою може бути гемоглобін, який побудований із чотирьох субодинамиць (двох α - і двох β -поліпептидних ланцюгів). Субодинамиці, представлені α -ланцюгами, містять по 141 амінокислотному залишку, а β -ланцюгами – 146. Ці субодинамиці, сполучаючись між собою, утворюють молекулу гемоглобіну. Молекулярна маса гемоглобіну дорівнює 68 000, а кожної субодинамиці - 17 000.

Четвертинна структура білків стабілізується за рахунок сил слабкої взаємодії – водневих, іонних, гідрофобних зв'язків, які

утворюються між субодинаціями, що контактують.

1.7. Фізико-хімічні властивості білків

Молекулярна маса білків. Білки – високомолекулярні сполуки. Молекулярна маса їх, поряд з амінокислотним складом, є досить важливою характеристикою молекули білка. Вона коливається від кількох тисяч до десятків мільйонів. Середні значення молекулярної маси білків наведено в таблиці 2.

Досить поширеними визначення молекулярної маси білків є ультрацентрифугування, гель-фільтрація, гель-електрофорез, осмометричний, методи рентгеноструктурного аналізу і електронної мікроскопії та ряд інших.

Таблиця 2. Молекулярна маса деяких білків

Білок	Молекулярна маса	Білок	Молекулярна маса
Рибонуклеаза підшлункової залози	12 700	Альбумін сироватки крові	69 000
Міоглобін м'язів	16900	Гексокіназа дріжджів	90 000
Лактальбумін	17 500	Глобулін сироватки крові	176 000
Гордеїн ячменю	27 500	β -Ліпопротеїд плазми крові	1 300 000
Едестин конопель	31000	Нуклеопротейд вірусу тютюнової мозаїки	40 000 000
Яечний альбумін	46 000		

Амфотерні властивості білків. Природа білків як амфотерних поліелектролітів визначається наявністю в складі їх макромолекул різних функціональних груп, здатних до іонізації в водних розчинах. До таких груп належать карбоксильні групи бічних радикалів аспарагінової та глутамінової кислот, аміногрупи залишків лізину та аргініну. Іонізація інших функціональних груп у молекулах білка суттєвого значення не має, оскільки α -амінні і α -карбоксильні групи

утворюють пептидні зв'язки, а кількість С- і N-кінцевих груп залишків амінокислот незначна в зв'язку з великими розмірами молекул білка.

Ступінь іонізації функціональних груп залежить від величини значення рН. У кислому середовищі іонізуються групи —NH_2 , а в лужному середовищі групи —COOH . Отже, білки у водному середовищі подібні до амінокислот, мають властивості амфолітів. У кислому середовищі вони реагують як основи, а в лужному – як кислоти. При зниженні значення рН (у кислому середовищі) пригнічується дисоціація карбоксильних груп, і молекула білка набуває сумарного позитивного заряду, тобто реагує як катіон; при підвищенні значення рН (у лужному середовищі) іонізація груп —NH_2 пригнічується, білок набуває сумарного негативного заряду і реагує як аніон.

Залежно від знака заряду молекула білка в електричному полі буде переміщатися відповідно до катода або анода. При доливанні до розчину білків певної кількості іонів H^+ і OH^- можна змінювати рН середовища, внаслідок чого дисоціація одних груп пригнічується, а іонізація інших посилюється. При певному значенні рН середовища кількість позитивно і негативно заряджених груп ускладі молекули білка врівноважується, тобто молекула стає електронейтральною. Значення рН середовища, при якому молекула білка містить однакову кількість позитивно і негативно заряджених груп, має назву ізоелектричної точки білка. Ізоелектрична точка білка характеризується рядом особливостей. По-перше, в ізоелектричній точці білок має найменшу розчинність і легко випадає в осад (внаслідок відсутності одного з факторів стабілізації білкової молекули – заряду). Нейтралізація заряду білкової молекули приводить до того, що електростатичні сили між різнойменно зарядженими часточками майже відсутні, внаслідок чого молекули білка «злипаються» і випадають в осад. Відсутність заряду молекул білка зумовлює і те, що в ізоелектричній точці білок втрачає здатність рухатися в електричному полі до позитивно чи негативно зарядженого полюса.

Розчинність білків. Розчинність різних білків у воді та в різних розчинниках неоднакова і залежить від природи білка та розчинника, значення рН, температури, іонної сили тощо. Багато білків розчиняється у воді (альбуміни) або в сумішах спиртів (проламіни). Білки опірних тканин взагалі нерозчинні у воді. У воді вони лише набрякають і можуть зв'язувати таку її кількість, яка в багато разів

перевищує їх масу.

Розчинність білків значною мірою залежить від значення рН та присутності солей, причому присутність солей може або зменшувати, або збільшувати їх розчинність. Це явище пов'язане не з концентрацією розчину, а з його іонною силою. При низьких значеннях іонної сили розчинність білків збільшується, а при високих – зменшується. Навіть невеликі зміни іонної сили зумовлюють значну зміну розчинності білків.

Деякі білки з високими дипольними моментами (глобуліни, міозин) у звичайній воді нерозчинні (в зв'язку з тим, що електростатичні сили білкового диполу не знімаються дипольним моментом води), але розчинні при доливанні невеликої кількості розчинів нейтральних солей. Присутність іонів з протилежним знаком (у цьому випадку вони стабілізують заряджені групи) екранує заряди білкових молекул, що призводить до руйнування молекулярних агрегатів і підвищення розчинності білків. Процес підвищення розчинності білків при доливанні невеликої кількості розчинів нейтральних солей має назву сольового розчинення, або засолювання. При значному збільшенні іонної сили розчину спостерігається протилежне до засолювання явище – розчинність білків різко знижується і вони випадають в осад. Цей процес має назву висолювання і пояснюється, очевидно, конкуренцією між білком та іонами солі за іони води. Число молекул води, які можна використати для гідратації білка, значно зменшується, що і призводить до осадження білків. Отже, висолювання – це осадження білків концентрованими розчинами нейтральних солей. Висолювання має зворотний характер - при видаленні з розчину іонів солі білок знову переходить у розчин.

Найчастіше для висолювання використовують розчини таких солей, як NaCl, KCl, Na₂SO₄. Здатність білків до висолювання використовується для розділення та добування білків у чистому вигляді, виділення їх з тканинних екстрактів.

Колоїдні властивості білків. Оскільки білки є високомолекулярними сполуками, то при розчиненні у воді вони утворюють розчини, що мають колоїдні властивості. Ці властивості зумовлені тим, що розміри білкових молекул наближаються до розмірів міцел (0,001-0,1мкм).

Подібно до колоїдів білки мають значну спорідненість з водою. У воді білки набувають, утворюючи різної густини еластичні гелі.

Особливістю гідрофільних колоїдів (золів) є здатність і при певних умовах утворювати гелі. Прикладом може бути система вода

- желатина, де розчинник і білок утворюють гомогенну еластичну масу, що має сітчасту структуру – драглі. Ця система містить велику кількість води. У складі гелів є два види води

- одна частина її зв'язана з білком іонними або полярними групами, утворюючи гідратні оболонки, інша частина води утримується між молекулами білка.

При певних умовах вода може відокремлюватися від гелю, тому явище, обернене до набрякання, називається синерезисом. Здатність білкових розчинів переходити із золю в гель має важливе значення в утворенні різних субклітинних структур та в забезпеченні і підтриманні процесів життєдіяльності. Висушений гель поглинає велику кількість води, при цьому він набрякає і збільшується в об'ємі. Наприклад, це явище спостерігається при замочуванні желатини, проростанні зерна, випіканні хліба. При цьому важливе значення має рН середовища, концентрація солей (мінімально виявляються в ізоелектричній точці).

Для розчинів білків характерні усі властивості колоїдних систем. Вони мають здатність розсіювати промені світла, що невласне для істинних розчинів. Це явище можна спостерігати, якщо крізь розчини білка пропускати пучок світла, сконцентрований за допомогою лінзи. При цьому промені стають добре помітними (конус Тіндала) внаслідок розсіювання світла молекулами й агрегатами молекул білка.

Для білків характерним є також те, що вони не проходять крізь напівпроникні оболонки, або мембрани, – целофан, пергамент, тканинні мембрани, тоді як низькомолекулярні сполуки досить легко проходять крізь них, тому що величина молекул цих речовин менша, ніж розміри пор в мембранах. Це явище використовують для очищення білків від низькомолекулярних домішок, одержання лікарських препаратів (імунних сироваток, γ -глобуліну). Метод такої очистки білкових речовин називається діалізом. З явищами напівпроникності пов'язані важливі фізіологічні процеси в організмі людини і тварин.

Денатурація білків. Це досить складний процес, який пов'язаний з порушенням (руйнуванням) нативної структури молекул білка, головним чином, четвертинної, третинної і вторинної.

Денатурація білків може відбуватися під впливом різних факторів – фізичних і хімічних. Відомо, що всі білки є досить

термолабільними сполуками, тому нагрівання розчинів білків вище 50-60°C викликає їх денатурацію. Аналогічно діють на білки високий тиск, зміна рН середовища, ультразвук, іонізуюче випромінювання, органічні та неорганічні кислоти, луги, солі важких металів. При денатурації відбуваються зміни в структурі і властивостях молекул білка. Найбільш типовими ознаками денатурації білків є такі:

- 1) зниження гідрофільності і розчинності білків, внаслідок чого зменшується стійкість їх розчинів;
- 2) збільшення в'язкості розчинів – білки втрачають здатність до кристалізації;
- 3) зменшення молекулярної маси і зміна форми молекул білка;
- 4) молекула білка переходить у хаотичний стан – поліпептидні ланцюги спочатку розгортаються, проходячи стадію нитки, а потім знову звертаються, але вже по-іншому, тобто проходить зміна конформації молекули білка. При цьому збільшується здатність білків до розщеплення їх ферментами.

Інколи після розгортання молекула білка залишається в такому стані, при якому білки виявляють підвищену реакційну здатність, тому що в результаті денатурації відкриваються хімічно активні групи, які були заховані в середині білкової молекули.

На основі сказаного вище можна зробити висновок про те, що зміни, які відбуваються з молекулою білка в результаті денатурації, в першу чергу впливають на вторинну і третинну структури. При цьому втрачається просторове розміщення поліпептидних ланцюгів і форма білкової молекули – конформація білка, що і призводить до втрати ним нативних властивостей. Крім того, усі види зв'язків у молекулі білка руйнуються (крім ковалентних зв'язків остова поліпептидного ланцюга). Отже, спостерігається певна закономірність – чим вищий структурний рівень молекули білка, тим слабкіші зв'язки, які його стабілізують. Тому зв'язки, які стабілізують вторинну, третинну і четвертинну структури, досить чутливі до зміни фізико-хімічних умов середовища – температури, рН, тиску тощо. Оскільки при денатурації у більшості випадків первинна структура білка не порушується, було зроблено припущення, що причиною денатурації є розгортання поліпептидного ланцюга. Вважають, що розгортання ланцюга проходить у кілька стадій. Спочатку під впливом денатуруючого агента відбувається розпушування молекули білка, розрив внутрішньомолекулярних зв'язків, далі поліпептидний ланцюг

розкручується, функціональні групи демаскуються (стадіянітки). На наступній стадії поліпептидний ланцюг знову скручується, утворюються нові зв'язки між функціональними групами різних ділянок одного поліпептидного ланцюга, а також між різними ланцюгами, так звана агрегація молекул білка, або стадія безладного клубка, білок переходить у хаотичний стан і випадає в осад.

Необхідно зазначити, що денатурація не завжди є необоротним процесом – при недовготривалій дії денатуруючого агента білок можна повернути в попередній, нативний, стан. Цей процес має назву ренатурації, або пептизації. Для цього процесу характерним є те, що при ренатурації відновлюється фізіологічна активність білків.

З явищами денатурації білків часто зустрічаємося у повсякденному житті. Так, застосування деяких ліків – протарголу, таніну тощо – ґрунтується на тому, що вони викликають денатурацію поверхневого прошарку білків слизової оболонки, що до деякої міри захищає дихальний апарат від різних подразнень. Результатом денатурації є також втрата насінням деяких рослин здатності до проростання, особливо при тривалому його зберіганні за несприятливих умов. З явищами денатурації пов'язані процеси переробки продуктів харчування і виготовлення кондитерських виробів, консервування та сушіння плодів і овочів та ін.

1.8. Класифікація білків та коротка характеристика їх груп

У природі існує велика кількість білків рослинного і тваринного походження, різних за хімічним складом і структурою, фізико-хімічними та біологічними властивостями. Незважаючи на успішний розвиток хімії і біохімії білків, єдиної науково обґрунтованої системи їх класифікації поки що немає.

Зараз існує декілька видів класифікації білків. В основі їх лежать різні критерії. Так, за хімічним складом білки поділяють на прості і складні; за формою молекул – глобулярні і фібрилярні; за розчинністю в окремих розчинниках – водорозчинні, розчинні в слабких сольових розчинах, в розчинах лугів і т.д.

В даний час найбільш поширена класифікація білків за хімічним складом.

1.8.1. Прості білки. Їх поділяють на такі класи: альбуміни, глобуліни, протаміни, гістони, проламіни, глютеліни і протеїноїди.

Альбуміни. Ці білки досить розповсюджені у тваринному і рослинному світі. Вони входять до складу цитоплазми клітин та різних рідин організму – сироватки крові, лімфи, ліквору. У вищих тварин альбуміни становлять основну частину плазми крові (>50%). Альбуміни входять також до складу продуктів харчування рослинного і тваринного походження – молока, яєць, зерна злакових і бобових культур.

Залежно від локалізації альбумінів їх називають: молочний альбумін – лактоальбумін (*lact* – молоко), ячний альбумін – овоальбумін, сероальбумін (*serum* – сироватка крові). Найбільш розповсюдженими рослинними альбумінами є лейкозин (виділений із зародків пшениці) і легумелін (виділений із бобових). Певна частина альбумінів міститься також у вегетативних частинах рослин.

Молекулярна маса альбумінів 35-70 тис. Молекули їх мають еліпсоїдну форму, яка більш компактна і симетрична, ніж у глобулінів. Альбуміни належать до гідрофільних білків, вони добре розчиняються у воді і розчинах солей. Для їх осадження необхідне 100%-не насичення розчинів нейтральними солями. За хімічним складом альбуміни характеризуються високим вмістом лейцину (15%), а також значним вмістом сірковмісних амінокислот, лізину, аспарагінової і глутамінової кислот та незначним вмістом гліцину.

Глобуліни. Дані білки, як і альбуміни, досить розповсюджені у складі тваринних і рослинних тканин. Особливо велика кількість їх входить до складу зерна злаків, насіння соняшника, льону, бавовнику та бобових рослин. Широко відомі, наприклад, такі глобуліни, як фазеолін квасолі, легумін гороху, гліцидин сої. У тваринних тканинах найбільш розповсюдженими є лактоглобулін молока, фібриноген крові тощо. На відміну від альбумінів глобуліни у концентрованих розчинах нейтральних солей не розчиняються. Із тваринних і рослинних тканин їх виділяють при екстрагуванні 10%-м розчином солей. При підвищенні концентрації солей розчинність глобулінів зменшується, – а у 50%-му розчині вони випадають в осад.

Молекулярна маса глобулінів 0,9-1,5 млн. Вони більш грубодисперсні і менш гідрофільні, ніж альбуміни, що пояснюється меншою стійкістю їх розчинів. За хімічним складом глобуліни дещо відрізняються від альбумінів – містять більше гліцину (~5%) і меншу кількість сірковмісних амінокислот. Співвідношення між альбумінами і глобулінами в організмі людини і тварин завжди є важливою характеристикою його фізіологічного стану; воно знаходиться у

визначених межах і має назву альбумін-глобулінового коефіцієнта. Для здорового організму альбумін-глобуліновий коефіцієнт (А/Г-коефіцієнт) дорівнює 1,7-2,3.

Протаміни. Це група простих білків з характерним складом амінокислот. Вони відзначаються високим вмістом діаміномонокарбонічних кислот, тому розчини їх мають лужні властивості. Ці білки добре розчиняються у воді і не осаджуються при кип'ятінні.

Значна кількість протамінів входить до складу паренхіматозних органів та залоз внутрішньої секреції, які містять велику кількість ядерної речовини. У ядрах протаміни утворюють нуклеопроотеїнові комплекси. До протамінів належить клумін, що міститься у спермі (молоках) оселедців. Його молекулярна маса 5000, він має різко виражені лужні властивості. Поліпептидний ланцюг цього білка містить 30 залишків амінокислот, із них 21 залишок аргініну, решта припадає на аланін, валін, пролін, серин. Іншим представником протамінів є сальмін, виділений із молоків семги. Він також містить у своєму складі в основному аргінін, пролін, валін, серин і дуже мало містить інших амінокислот.

Гістони. Подібно до протамінів, гістони містяться в паренхіматозних тканинах, багатих ядрами, – печінці, селезінці, нирках, зобній залозі. Значна кількість гістонів міститься також у рослинах. Уперше їх було виділено у 1910 р. А. Косселем. Гістони теж містять велику кількість діаміномонокарбонічних кислот, хоча і значно менше, ніж протаміни. Так, до їх складу входить у середньому 26% аргініну, 8-10% лізину, що зумовлює їх лужний характер.

Проламіни. Ця група простих білків досить розповсюджена у рослинному світі. Вони входять до складу насіння злакових культур. Представниками їх є гліадин пшениці, орозеїн рису, гордеїн ячменю, зеїн кукурудзи, авенін вівса тощо. Назва «проламіни» була запропонована в зв'язку з тим, що до їх складу входить значна кількість проліну. Крім проліну проламіни містять також глютамінову кислоту і незначну кількість інших амінокислот. Для проламінів характерним є те, що вони зовсім не містять лізину.

Компонентний склад проламінів (гліадину) генетично детермінований і визначає сорт рослин. Для виділення проламінів їх екстрагують із подрібнених тканин 70%-м розчином спирту, який потім відганяють під вакуумом, а в'язку масу розчиняють у спирті і добавляють подвійний об'єм ацетону. Проламіни при цьому

випадають в осад, який відокремлюють і висушують.

Глютеліни. Дані білки, як і проламіни, – рослинного походження, значна кількість їх міститься в зелених частинах рослин та насінні. Характерною особливістю білків є те, що до їх складу входить велика кількість глютамінової кислоти і лізину. Ці білки погано розчинні у воді і добре розчинні в розбавлених розчинах лугів. Молекулярна маса їх коливається в досить широких межах.

Протеїноїди. Ці білки входять до складу тваринних тканин і виконують в основному механічну та опірну функції. Вони не розчиняються у воді, розчинах солей та розчинах кислот і лугів. Для цих білків характерним є високий вміст сірковмісних амінокислот. Протеїноїди входять до складу білків волосся, рогів, хрящів, покривних тканин. Усі вони відзначаються високою міцністю і еластичністю. Протеїноїди повільно розщеплюються ферментами травного каналу, тому погано засвоюються і сприяють процесам гниття у кишечнику.

До протеїноїдів належать фіброїн шовку, кератин, колаген, еластин тощо.

1.8.2. Складні білки. Вони складаються з простого білка і сполуки небілкової природи – простетичної групи (від грец. *prosteto* – приєднує, додає). Залежно від хімічної природи простетичної групи складні білки поділяють на нуклеопротейні, хромопротейні, металопротейні, глікопротейні, фосфопротейні і ліпопротейні.

Нуклеопротейні – це складні білки, простетичною групою яких є нуклеїнові кислоти. Встановлено, що вони входять до складу всіх клітин організму. Залежно від природи нуклеїнової кислоти нуклеопротейні поділяють на рибонуклеопротейні (РНП), якщо до їх складу входить рибонуклеїнова кислота – РНК, і дезоксирибонуклеопротейні (ДРНП), якщо до їх складу входить дезоксирибонуклеїнова кислота – ДНК. Перша група нуклеопротейнів міститься в основному в цитоплазмі, друга – в ядрі клітин. У більшості організмів білкова частина нуклеопротейнів представлена такими простими білками, як гістони або протаміни. Однак нуклеопротейні, виділені із рослинних тканин, бактерій і вірусів, характеризуються певним вмістом білків – альбумінів і глобулінів.

Молекулярна маса нуклеопротейнів коливається від кількох десятків тисяч до мільйонів. Розчини їх мають високу в'язкість.

Хромопротейні. До цього класу належать складні білки, які

побудовані з простого білка і забарвленої простетичної групи. Простетичною групою хромопротеїнів є похідні ізоалоксазину (флавінові ферменти), каротину (родопсин), порфірину (гемоглобін, міоглобін, гемінові ферменти – каталаза, пероксидаза, цитохромоксидаза). Похідне порфірину, що містить магній, утворює зелений пігмент рослин – хлорофіл, який забезпечує процеси фотосинтезу у рослинах.

Досить важливим хромопротеїном в організмі людини і вищих тварин є гемоглобін, який становить ~94 % сухої маси еритроцитів і забезпечує дихальну функцію крові – постачання тканин організму киснем, необхідним для протікання метаболічних процесів, і видалення вуглекислого газу. При підвищеному парціальному тиску (у легенях) кисень зв'язується з гемоглобіном, а при зниженні цього тиску (у тканинах) відбувається дисоціація комплексу і виділення кисню.

Глікопротеїни – це складні білки, які у складі простетичної групи містять залишки вуглеводів та їх похідних. Ця група білків досить різноманітна за структурою і складом вуглеводних компонентів, які входять до складу олігосахаридної частини їх молекул. Залежно від якісного і кількісного складу вуглеводного компонента усі природні білково-вуглеводні комплекси поділяють на істинні, або нейтральні, глікопротеїни і кислі амінополісахариди (мукопротеїни).

Металопротеїни – це складні білки, до складу простетичної групи яких входять залізо, мідь, кобальт, цинк та інші елементи. Відмінність між метало- і хромопротеїнами полягає в тому, що в металопротеїнах метал сполучається безпосередньо з білком, а в хромопротеїнах він сполучається з білком через порфіринове ядро, яке входить до складу простетичної групи хромопротеїнів, чи в іншу групу.

До металопротеїнів належить велика кількість ферментів, які каталізують різні біохімічні процеси в організмі. Це, зокрема, карбоангідраза і карбоксипептидаза (містять у своєму складі атоми цинку), поліфенолоксидаза А (містить мідь) та ін.

Фосфопроїтеїни – це складні білки, які містять у вигляді простетичної групи залишки ортофосфорної кислоти, зв'язані з білковою частиною складноєфірним зв'язком. Цей зв'язок утворюється між залишками фосфорної кислоти і гідроксильними групами оксиамінокислот – серину, треоніну і тирозину.

Наявність залишків фосфорної кислоти надає білкам кислотного характеру. При гідролізі фосфопротеїнів утворюється велика кількість серинфосфатів, оскільки з фосфорною кислотою найчастіше зв'язаний серин.

До фосфопротеїнів належить велика кількість білків організму, які виконують важливі функції, – входять до складу тканин, які забезпечують ріст і розвиток організму, беруть участь в обмінних процесах. Велика кількість фосфопротеїнів входить до складу тканин, які є поживним середовищем для ембріонів і молодих організмів, що характеризуються високою інтенсивністю обміну речовин і швидким ростом. Це, зокрема, білки яйця – овоальбумін, вітелін, вітеленін, фосфовітин, білок молока – казеїн та ін.

До фосфопротеїнів належать також білки яєчного жовтка – вітелін, вітеленін, які становлять 30% сухої його маси. Ці білки є важливим джерелом поживних речовин для ембріона, що розвивається, особливо цінним серед них є фосфовітин, до складу якого входить ~10% фосфору.

Зараз виявлено велику групу фосфопротеїнів, які мають каталітичні властивості. Це, зокрема, ферменти фосфорилази (А, В, С, D), пепсин та ін.

Ліпопротеїни – білки, до складу простетичної групи яких входять ліпіди та їх похідні (тригліцериди, фосфатиди, холестерин тощо). Найчастіше простетичною групою є нейтральні жири – триацилгліцериди. Ліпопротеїни досить розповсюджені в тканинах рослин і тварин як складова частина цитоплазми і клітинних структур. Вони є основою біологічних мембран і різних органів клітини. Комплекси білків з ліпідами містяться також у різних рідинах організму – крові, лімфі, синовіальній рідині, а також у нервовій тканині та тканинах внутрішніх органів – нирок, легень, слизовій оболонці шлунка і т.д.

Утворення комплексів білків з ліпідами – ліпопротеїнів – сприяє розчинності і стабілізації ліпідів та забезпечує їх транспорт до різних органів і тканин організму, причому в комплексі з білками ліпіди набувають нових властивостей. Так, на відміну від ліпідів, які не розчиняються у воді і розчиняються в органічних розчинниках, ліпопротеїни набувають здатності розчинятися у воді і втрачають здатність розчинятися в органічних розчинниках.

1.9. Біологічна цінність білків

Біологічна цінність білків в першу чергу зумовлена наявністю в них незамінних амінокислот та їх співвідношенням із замінними амінокислотами. Разом з цим важливе значення має також здатність білків до перетравлювання та засвоєння утворених продуктів організмом.

Існує цілий ряд методів визначення біологічної цінності білків. Серед них найпоширенішим є метод Комітету ФАО/ВООЗ. Він запропонував стандартну амінокислотну шкалу, з якою співставляють амінокислотний склад досліджуваного білка (табл. 3). Для цього в ньому вираховують процентний вміст кожної з амінокислот по відношенню до її вмісту в білку, який прийнятий за стандарт («ідеальний білок»). Дана величина має назву амінокислотний скор (скор – рахунок). Її вираховують за такою формулою:

$$\text{Амінокислотний скор} = \frac{\text{мг АК в 1г досліджуваного білка}}{\text{мг АК в 1г ідеального білка}} \cdot 100.$$

Біологічну цінність білка лімітує та амінокислота, скор якої має найменше значення. Тому для оцінки будь-якого білка необхідні дані про вміст в ньому окремих амінокислот.

Високу біологічну цінність мають переважно білки тваринного походження. Ідеальними еталонними білками вважають білки жіночого і коров'ячого молока та курячих і гусячих яєць.

Таблиця 3. Амінокислотна шкала для розрахунку амінокислотного скор

Амінокислота	Кількість мг на 1г білка	Амінокислота	Кількість мг на 1г білка
Ізолейцин	40	Фенілаланін +тирозин	60
Лейцин	70		
Лізін	55	Треонін	40
Метіонін + цистеїн	35	Триптофан	10
		Валін	50
		Всього	360

Біологічна цінність більшості рослинних білків лімітована рядом незамінних амінокислот, зокрема таких як треонін, лізин, ізолейцин та деяких інших. Основною лімітуючою амінокислотою білків зернових культур є лізин. Білки бобових культур, в порівнянні із білками злакових, мають кращу збалансованість незамінних амінокислот.

Біологічна цінність білків може бути підвищена шляхом додавання до раціону лімітуючої амінокислоти або відповідних продуктів з високим її вмістом. Так, наприклад, біологічна цінність білка пшениці може бути істотно підвищена при додаванні певної кількості лізину, білка кукурудзи при додаванні амінокислот лізину і триптофану і т.д.

Добова потреба людини в незамінних амінокислотах наведена в таблиці 4.

Таблиця 4. Добова потреба людини в незамінних амінокислотах (у грамах по відношенню до триптофану)

Назва амінокислоти	Чоловіки	Жінки	Діти
Триптофан	1,0	1,0	1,0
Лізин	3,2	3,2	4,8
Метіонін	0,8-4,4	2,2	3,5
Лейцин	4,4	3,8	6,8
Ізолейцин	2,8	2,9	4,1
Валін	3,2	4,1	4,2
Треонін	3,0	1,9	2,7
Фенілаланін	1,2-4,4	1,4	4,1

Проблему підвищення біологічної цінності білка та білкової недостатності часто розв'язують шляхом збагачення харчових продуктів відповідними білково-амінокислотними препаратами. Усі білкові збагачувачі, які застосовують в даний час, умовно поділяють на дві групи: аналоги і розріджувачі. Для виробництва аналогів використовують вторинну сировину молочної та м'ясної промисловості. Розріджувачі – це гідролізати, які отримують з різних видів сировини - м'яса низького сорту, субпродуктів II категорії та ін.

Біологічна цінність білків має досить важливе значення для нормальної життєдіяльності організму. Динаміку обміну білків в організмі часто характеризують балансом азоту, оскільки основна його маса потрапляє в організм з білками їжі.

Баланс азоту може бути позитивним, негативний і дорівнювати нулю, тобто перебувати в динамічній рівновазі. Позитивний баланс азоту має місце тоді, коли в організм азоту вводиться більше, ніж виводиться. Процес позитивного балансу азоту характерний для дитячих організмів (інтенсивний розвиток, ріст), вагітних жінок, а також при швидкому рості пухлин і при інших станах організму, пов'язаних з інтенсивним синтезом білка. Негативний баланс азоту простежується тоді, коли в організм з їжею надходить менше азоту, ніж його виділяється. Такий стан організму може мати місце при білковому голодуванні, деяких інфекційних захворюваннях, порушенні діяльності травного каналу і при старінні. І, нарешті, баланс азоту може дорівнювати нулю, тобто кількість азоту, яка надходить до організму, дорівнює кількості азоту, яка виділяється. Цей вид азотного балансу властивий переважно здоровим дорослим організмам при нормальному повноцінному білковому харчуванні.

Вивчення балансу азоту має важливе значення при складанні раціонів для тих або інших видів організмів, зокрема включення до його складу необхідної кількості білка. Кількість білка в раціоні, необхідна для підтримування балансу азоту організму, дістала назву фізіологічного мінімуму.

Визначення добової потреби в білку для організму людини показало, що вона в середньому становить 1-1,5 г на кг маси тіла і залежить від різних факторів: амінокислотного складу, віку людини, виду трудової діяльності тощо (табл. 5).

Таблиця 5. Добова потреба людини в білку

Групи людей за трудовою діяльністю	Стать	Вміст білка, г
Групи людей, діяльність яких не пов'язана з фізичною працею	Жінки	78
	Чоловіки	92
Групи людей, діяльність яких пов'язана з механізованою працею	Жінки	80
	Чоловіки	95
Групи людей, діяльність яких пов'язана з важкою не механізованою працею	Жінки	132
	Чоловіки	-
Студенти	Жінки	113
	Чоловіки	96

Потреба дітей у білку значно вища і становить в середньому 1,5-4 мг/кг маси тіла.

1.10. Функціональні властивості білків

Білки – високомолекулярні сполуки. Молекулярна маса їх, поряд з амінокислотним складом, є досить важливою характеристикою молекул білка. Вона коливається від кількох тисяч до десятків мільйонів. Саме висока молекулярна маса та амінокислотний склад білків, їхня структура, здатність взаємодіяти з іншими компонентами обумовлюють цілий комплекс їх функціональних властивостей. Під поняттям функціональні властивості білків розуміють фізико-хімічні характеристики, які визначають їхні перетворення у процесі зберігання, переробки харчової сировини, напівфабрикатів та забезпечують відповідну структуру і споживчу якість продуктів.

До найважливіших функціональних властивостей білків відносяться: розчинність, водопоглинаюча і жиропоглинаюча здатність, здатність стабілізувати дисперсні системи (емульсії, піни, суспензії), утворювати гелі і плівки, адгезійні і реологічні властивості (в'язкість, еластичність), здатність до текстурування.

Всі функціональні властивості білків оцінюються певними показниками, як емульгуюча здатність, піноутворююча здатність, стабільність емульсій, піни тощо. У різних умовах білки мають різні значення цих властивостей, вони виражаються в цифрових показниках і в профілях залежності від технологічних факторів.

Розчинність – характеризується коефіцієнтами розчинного азоту (КРА) і деструкції білків (КДБ), які визначають кількість відповідно азоту і білка, яка перейшла в розчин (у % від загальної кількості). Розчинність білків залежить від наявності в молекулі не ковалентних взаємодій: гідрофобних, електростатичних і водневих зв'язків. При меншій взаємодії глобул білка між собою і більшій силі відштовхування розчинність білків, тобто їхня взаємодія з молекулами розчинника буде більшою. Отже, при зміні рН у розчині відбувається взаємодія заряджених іонів (H^+ або OH^-) з протилежно зарядженими білковими частинками. У кислому середовищі білок набуває позитивного заряду внаслідок подавлення дисоціації карбоксильних груп, а в лужному – негативного за рахунок подавлення дисоціації аміногруп. Молекули білка відштовхуються, отже білок набуває більшої розчинності.

Невелика кількість іонів солей теж підвищує розчинність білка, перешкоджаючи електростатичній взаємодії бокових груп білків.

Високі концентрації солей знижують гідратацію поліпептидних ланцюгів і відповідно знижується розчинність білків.

Різниця в розчинності є основою для технологічних процесів виділення ізолятів і концентратів білка, впливає на якість тих продуктів, де передбачається гідроліз (автоліз) білків і їх денатурація, сушіння і зберігання продуктів. Це виробництво напоїв, де застосовуються розчинні білки, хлібобулочних і макаронних виробів, де необхідна навпаки низька розчинність цих сполук.

Водопоглинаюча здатність білка зумовлена адсорбцією води з участю гідрофільних залишків амінокислот. *Жиропоглинаюча здатність* зумовлена адсорбцією жиру за рахунок гідрофобних ділянок. Білки здатні утримувати на поверхні близько 0,2-0,4г води і жиру на 1г білків.

Ця здатність білків залежить також від рН, способу обробки, температури, наявності інших фракцій (вуглеводів, ліпідів). Висока здатність білків утримувати воду збільшує вихід, покращує структуру м'ясних, хлібобулочних виробів, збільшує час зберігання продукту.

Додавання соєвого білка або клейковини підвищує водопоглинаючу здатність борошна. Денатуровані білки знижують водопоглинаючу здатність. Висока жиропоглинаюча здатність забезпечує ніжну однорідну текстуру, виключає відділення жиру, зморщування, знижує втрати при тепловій обробці напівфабрикатів з м'яса, борошна.

Жироемульгуюча і піноутворююча здатність білків широко застосовується у виробництві харчових продуктів завдяки наявності в білках гідрофобних і гідрофільних груп, які розподіляються певним чином на межі розподілу фаз вода-жир або вода-газ.

Широко розповсюджені емульсії, олія у воді і вода в олії у виробництві хлібобулочних, кондитерських виробів, низькокалорійних маргаринів, майонезів, соусів, паст, м'ясних продуктів, де застосовуються рослинні і тваринні білки. Використовуючи добавки рослинних і тваринних білків, одержують стійкі емульсії механічно перемішуючи рідини з допомогою мішалок, міксерів, гомогенізаторів. У таких системах білки відіграють роль емульгатора, стабілізатора і загусника.

Піноутворююча здатність білків - утримувати газове середовище є основою виробництва збивних кондитерських виробів (бісквітів, кремів). Білки клейковини формують піну у дріжджовому тісті з участю CO₂, утвореного при бродінні. У кондитерських

виробах піна утворюється при збиванні яєць (білків), під дією хімічних розрихлювачів при виділенні CO_2 з соди та CO_2 і NH_3 з вуглекислого амонію. Утримують бульбашки газів всередині тіста тонкі, щільні плівки білкових полімерів, утворені за рахунок адсорбції та поверхневої денатурації (розгортання молекул).

Емульгуюча і піноутворююча властивості білків залежать від наявності гідрофобних і гідрофільних груп, тобто амінокислотного складу, а також температури, рН середовища. Ці функціональні властивості можна поліпшити шляхом часткової теплової денатурації, ферментативного гідролізу, введення заряджених груп.

Гельутворююча здатність білків обумовлена формуванням просторової сітки взаємодіючих молекул білків і залежить від мінімальної їх концентрації, від рН, температури, наявності солей, полісахаридів, інших білків.

Утворені білками гелі повинні відповідати певним вимогам, мати необхідні фізико-хімічні властивості, а саме: міцність, еластичність, тіксотропію (здатність переходити в рідкий стан), широкий діапазон рН, здатність до сорбції барвників і ароматизаторів при мінімальній концентрації білка. Наприклад, такими властивостями володіє желатин.

Розрізняють такі гелі як: наповнені (містять інші розчинні або суспензовані білки); змішані (у яких сітка складається з різних видів білків); комплексні (сітка з білків, з'єднаних з іншими сполуками); анізотропні (сітку утворюють орієнтовані молекули білка); ксерогелі (сухі, зберігаються довгий час).

Реологічні властивості. Білки з низьким рівнем полярності утворюють комплекси з властивими їм реологічними властивостями (в'язкістю, еластичністю, пружністю). Такими характерними властивостями володіють білки клейковини, які визначають структуру хліба, створюючи безперервну фазу у виробі з наповнювачами (висівки, родзинки тощо) і крохмальними зернами борошна.

Для підвищення якості і розширення асортименту виробів здійснюють регулювання функціональних властивостей білків, що досягається зміною умов виділення, сушіння, фізико-хімічною дією на ці сполуки, ферментативною і хімічною їх модифікацією. При цьому змінюється склад амінокислот і окремих фракцій, відбувається денатурація, взаємодія між білками, білків з ліпідами, вуглеводами, тощо.

виду зернових культур (табл. 6). Разом з тим білки злаків характеризуються низьким вмістом амінокислоти лізину та деяких інших амінокислот. Краще збалансовані за амінокислотним складом білки жита, вівса і рису.

Основна кількість білків у зернівці припадає на ендосперм (65-75%), менше – на алейроновий шар (до 15,5%) і зародок (до 22%).

Таблиця 6. Вміст білкових фракцій у зернових культурах

Культура	Азот фракцій (у %від білкового азоту)				
	Альбуміни	Глобуліни	Проламіни	Глютеліни	Склеропротеїни
Пшениця м'яка	5,2	12,6	35,6	28,2	8,7
Жито	24,5	13,9	31,1	23,3	7,2
Ячмінь	6,4	7,5	41,6	26,6	17,9
Кукурудза	9,6	4,7	29,9	40,3	15,5
Овес	7,8	32,6	14,3	33,5	11,8
Рис	11,2	4,8	4,4	63,2	16,4

Білки зародку й алейронового шару виконують в основному каталітичну функцію при проростанні зерна, вони представлені в більшості випадків альбумінами і глобулінами. Ці білки входять також до складу мембран, рибосом, мітохондрій переважно у складі нуклеопротеїнів, ліпопротеїнів, фосфопротеїнів. До 80% запасних білків ендосперма складають проламіни і глютеліни.

Білкові фракції зернових – це суміш компонентів, які схожі за фізико-хімічними властивостями, але відрізняються між собою за молекулярною масою, амінокислотним складом, швидкістю руху при електрофорезі, здатністю взаємодіяти між собою та з іншими речовинами. Наприклад, сорти фуражної м'якої пшениці, на відміну від твердої, яка використовується в харчовій промисловості і кулінарії, містять 12-14 компонентів альбумінної водорозчинної фракції з молекулярною масою близько 11 і 20 кД.

Найбільш вивчені, так звані, клейковинні білки пшениці – гліадин і глютенін, які багато глютамінової кислоти і мають важливе значення для виробництва продукції з борошна. За допомогою

іонообмінної хроматографії, гелхроматографії, електрофорезу та інших методів гліадинова фракція пшениці розділена на велику кількість компонентів, які умовно об'єднані за зменшенням їхньої електрофоретичної рухливості в кислому середовищі в 4 групи: α -, β -, γ - та ω -гліадини. Більшість із них складаються з одного поліпептидного ланцюга з молекулярною масою 30-45 кД і внутрішньомолекулярними дисульфідними зв'язками.

Глютенін пшениці – більш гетерогенна фракція і складається з багатьох компонентів з молекулярною масою 50-3000 кД. Цей білок без розриву дисульфідних зв'язків не рухається в гелі при електрофорезі. Причиною є те, що окрім внутрішньомолекулярного дисульфідного зв'язку, на кожний поліпептидний ланцюг припадає 2-3 таких зв'язків з сусідніми ланцюгами.

Складністю при вивченні будови глютеніну була здатність його до утворення полімерних структур. Більшість учених дійшли думки, що глютенін в основному складається з білкових субодиниць з молекулярною масою від 100 до 300 кД.

Здатність білків клейковини утворювати полімерні структури є дуже важливою для виробництва продукції з борошна. Питання формування клейковинного комплексу до кінця не вияснене. Запропоновано декілька гіпотез щодо взаємозв'язку будови і пружно-еластичних властивостей пшеничного тіста.

Клейковина являє собою складний комплекс що має тривимірну сітчасту структуру, основу якої складають поліпептидні ланцюги гліадину і глютеліну, сполучені між собою та з іншими компонентами дисульфідними (- S - S -) і водневими зв'язками. Міцність і рухливість, пружність і еластичність цієї структури визначають так звані реологічні властивості і пояснюються наявністю великої кількості нековалентних зв'язків, які легко розриваються і знову виникають. Глютеніни зернових культур, які утворюють клейковину мають лінійну структуру на відміну від розгалуженої у культур, які її не утворюють (овес, кукурудза). Еластичність виникає внаслідок здатності розтягнутих поліпептидних ланцюгів повертатись до попереднього спіралеподібного стану, а також внаслідок постійного зміщення (ковзання) лінійних молекул одна відносно одної. Відсутність пружно-еластичних властивостей вівсяного і кукурудзяного тіста обумовлена розгалуженим, трьохмірним способом з'єднання поліпептидних ланцюгів.

Найбільш виражений вплив на якість клейковини має наявність

50-60% високомолекулярних субодиниць глютеніну з молекулярною масою близько 100 кДа. Взаємодія фракцій глютеніну, який надає клейковині міцність та пружність і гліадину, що обумовлює еластичність і здатність розтягуватись, створює клейковинний білковий полімер з властивими йому особливостями.

Властивості клейковинного комплексу залежать не лише від будови і взаємодії білкових фракцій. У структурі трьохвимірної сітки комплексу гліадину і глютеніну, окрім ковалентних дисульфідних зв'язків, значну роль відіграють нековалентні: водневі, електростатичні, гідрофобні взаємодії. Висока реакційна здатність молекул білка сприяє взаємодії їх з ліпідами і вуглеводами, утворенню відповідно ліпопротеїнових і глікопротеїнових комплексів, які теж впливають на структуру і властивості клейковини. Загально визнана гіпотеза: ліпопротеїн забезпечує листову структуру тіста і процес «ковзання» між білковими пластинами.

Білки, які виконують функції ферментів, теж впливають на якість клейковини і виробів з тіста. Так, протеази, розщеплюючи білки, послаблюють клейковину. Ліпоксигеназа сприяє взаємодії продуктів окиснення жирних кислот з -SH групами білків і цим зміцнює клейковину. Помірна активність амілаз необхідна для процесів бродіння і газоутворення.

Клейковина інших зернових культур відрізняється від пшеничної за амінокислотним складом, фізичними і хімічними властивостями. Вона значно слабкіша, має погану пружність і гідратаційні властивості. Найбільш вивчені глютелінова фракція та спирторозчинний авенін вівса. Його білки містять у два рази більше лізину, ніж білки пшениці. Білки зерен рису теж переважно представлені глютеліном, який називають орзіном (оризеніном). Вони, як і білки вівса мають більшу біологічну цінність у порівнянні з іншими зерновими, так як містять всі незамінні амінокислоти.

У зернах кукурудзи, які містять близько 40% глютелінів і зеїн (проламін), недостатньо проліну, лізину і триптофану. Білки жита (секалін), ячменю (гордеїн) бідні на метіонін.

1.11.2. Білки бобових і олійних культур. Бобові містять від 20 до 40% білка від їх загальної маси. Основну частину сім'ядолей сої, гороху, квасолі складають запасні білки, які за класифікацією Т. Осборна є в основному глобулінами (60-90% всіх білків). Виявлена також незначна кількість альбумінів (4-22%) і ще менше глютелінів

(0-20). Глобуліни бобових розділені на дві основні білкові фракції – віциліни і легуміни. Вони мають неоднакові назви у різних бобових культур, основною відмінністю таких білків є різний вміст метіоніну. Лімітуючими амінокислотами для бобових є метіонін і цистеїн, яких досить багато у білках злаків.

Серед бобових культур, як джерело повноцінного харчового білка найбільше значення має соя. Організоване виробництво соєвого борошна, концентратів та ізолятів (табл. 7).

Таблиця. 7. Амінокислотний склад і кількість сумарного білку у продуктах із бобів сої

Характеристика	Продукт			
	Соєві боби	Знежирене соєве борошно	Концентра-ти сої	Ізоляти сої
Склад білку, % на с.м.	39,6	57,0	68,0	91,0
Склад амінокислот, г на 100 г. білка				
Лізин	6,5	6,3	6,3	6,0
Метіонін + цистин	1,3	2,9	2,8	2,2
Треонін	4,6	4,0	4,3	3,5
Лейцин	8,5	7,7	7,9	7,8
Ізолейцин	5,2	4,4	4,6	4,5
Фенілаланін + тирозин	5,2	8,6	8,9	8,7
Валін	5,6	4,8	4,8	4,6

До складу насіння бобових культур входять також сполуки білкової природи, які є інгібіторами протеаз шлунково-кишкового тракту, а також лектини.

У насінні сої міститься близько 5 інгібіторів трипсину, що становить 5-10% від загальної кількості білка. Це добре вивчені інгібітор Кунітца та інгібітор Баумана-Бірк. Вони знижують активність ферментів шляхом взаємодії з їх активними центрами і утворенням стійких білкових комплексів. Відрізняються між собою інгібітори специфічністю дії. Так, інгібітор Кунітца із сої знижує активність трипсину і фермента крові плазміну і майже не діє на активність хімотрипсину. Інгібітор Баумана-Бірк знижує каталітичну активність як трипсину, так і хімотрипсину.

У технологічному процесі при виготовленні продукції з сої

передбачається інактивація інгібіторів.

Лектини – глікопротеїни здатні викликати аглютинацію (склеювання) еритроцитів крові, клітин шляхом взаємодії з вуглеводними компонентами поверхні клітин. У бобових їх кількість досягає 10% від загального білка. Зниження їх активності відбувається при нагріванні продуктів до температури 80°C.

У складі білків сої містяться також ферменти ліпооксигеназа і β -амілаза. Їх застосовують у хлібопекарській промисловості для покращення якості хліба. β -Амілаза сої більш термостабільна, ніж пшенична і довше інтенсифікує гідроліз крохмалю до простих цукрів і відповідно утворення CO₂, ароматичних і смакових речовин у процесі бродіння і випікання хліба. Ліпоксигеназа, окиснюючи ненасичені жирні кислоти сприяє їхній взаємодії з клейковинними білками, зміцнюючи комплекс, який відповідає за газотримуючу здатність тіста.

Вміст білків у насінні олійних культур складає від 14 до 37% сухої речовини: у насінні соняшника до 15%, арахісу і бавовни близько 30%. У їх складі 10-30% альбумінів і до 90% глобулінів. Зосереджені вони в паренхімі сім'ядолей і ендоспермі. Ці білки є складною гетерогенною системою, до якої входять як запасні білки, так і ферменти. Як і в бобових виділені і найбільш вивчені глобулінові фракції. Всі компоненти фракцій відрізняються між собою за амінокислотним складом. *Серед олійних культур більшу кількість незамінних амінокислот виявлено у насінні соняшника.*

Таблиця 8. Склад незамінних амінокислот насіння олійних культур (мг/1г білка)

Амінокислоти	Соняшник	Арахіс	Ріпак	Кунжут	Бавовна
Валін	52	50	52	46	45
Ізолейцин	37	36	40	40	35
Лейцин	67	70	74	69	57
Лізін	38	37	60	28	41
Треонін	47	30	42	40	39
Метіонін + цистин	42	25	51	45	25
Фенілаланін + тирозин	80	95	86	83	83
Триптофан	17	11	18	15	10

Із сировини олійних культур після вилучення олії одержують білкову продукцію. Білки олійних культур багаті на триптофан, тирозин, фенілаланін та інші незамінні амінокислоти (табл.8). Як і в бобових, тут містяться інгібітори трипсину, рицин, уреаза, ліпоксигеназа, протеази. Рицин, як і в сої викликає агрегацію крові, цьому запобігають інактивацією фермента при підвищених температурах.

У процесі гідротермічної обробки насіння при одержанні олії відбувається денатурація білків, а також їх взаємодія з іншими компонентами, особливо поліфенольними сполуками. За цих умов біологічна цінність сировини знижується.

1.11.3. Білки овочів і плодів. Відносно низький вміст азотистих речовин у плодах і овочах (0,4-2%) свідчить про те, що вони не відіграють великої ролі в забезпеченні білком організму людини (табл.9).

Таблиця 9. Вміст білка у плодах і овочах (у % на суху масу)

Плоди і овочі	%	Плоди і овочі	%
Капуста білоголова	1,8	Огірки	0,8
Морква	1,3	Кавун	0,7
Бурак	1,5	Абрикоси	0,9
Цибуля	1,4	Яблука	0,4
Баклажани	1,2		

Виключення складає картопля, оскільки, вживаючи її близько 330г на день, людина одержує 6-8% добової потреби білка. Співвідношення білкового і небілкового азоту (вільних амінокислот, амінного і нітратного азоту) в овочах різне, у картоплі останнього 15-30%, білків до 70%, у капусті відповідно 60 і 40, у винограді - 90 і 7, у всіх плодах і овочах білкового азоту менше 50%.

Біологічна цінність білка картоплі 85% по відношенню до білка яйця і 70% - до ідеального. Лімітуючі амінокислоти: метіонін, цистеїн, лейцин. 30% білків картоплі складають альбуміни, 70% - глобуліни. Різниця складу фракцій білків, яка виявлена при електрофорезі є ознакою сорту і використовується при виведенні нових сортів картоплі з підвищеною урожайністю, стійкістю до хвороб і шкідників.

Серед овочевих культур великий вміст білка характерний для

таких продуктів як зелений горошок (28- 32%), цукрова кукурудза (10-15% на суху речовину). Це білки віцилін і легумін у горошку і спирторозчинний зеїн у кукурудзі. У молодих зернах більше легкорозчинних фракцій білків: альбумінів і глобулінів, у стиглих - збільшується відсоток інших фракцій. Значну кількість амінокислот у горошку складають лейцин та ізолейцин, аргінін, фенілаланін, валін, метіонін, треонін; у кукурудзі - теж лейцин, ізолейцин, аргінін, а також, глутамінова кислота, аланін, серин, гістидин.

Азотисті речовини картоплі, плодів і овочів мають суттєве значення при формуванні смаку, аромату й кольору у процесі дозрівання. Наприклад, вільні амінокислоти беруть участь в утворенні ароматичних сполук за реакцією Майяра.

Ферменти відіграють велику роль при досяганні і зберіганні овочів. Створені умови зберігання спрямовані на пригнічення діяльності анаеробних дегідрогеназ, які каталізують дихальні процеси плодів і овочів, і як результат втрату кислот і цукрів у цьому процесі. Швидка інактивація ферментів при переробці сировини (консервуванні, сушінні, одержанні соків) і тепловій обробці напівфабрикатів сприяє високій якості, збереженню природного кольору, аромату і смаку одержаної продукції.

1.11.4.Білки м'яса. Білки м'ясопродуктів, на відміну від рослинних, більш збалансовані за амінокислотним складом. Їх вміст коливається від 10 до 20%.

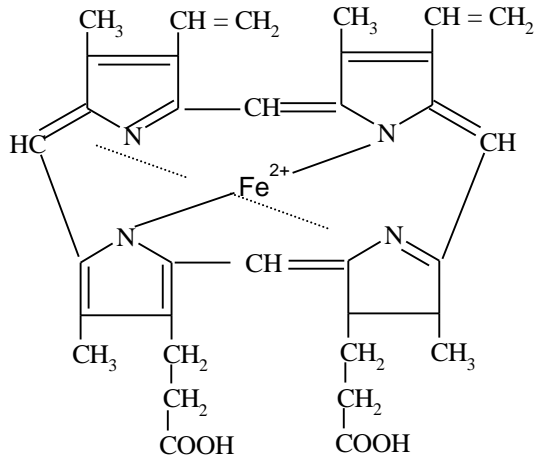
Харчова цінність м'яса залежить від співвідношення м'язової, сполучної, жирової та інших тканин, які входять до його складу.

Найбільш повноцінними є білки м'язової тканини – міозин (40-55%) і актин (15-25%). Їх функція полягає у забезпеченні механізму м'язового скорочення, що базується на їх фібрилярній природі.

Міозин – повноцінний білок, який має ферментативні властивості. Наприклад, він каталізує розпад АТФ до АДФ і фосфатної кислоти, з виділенням енергії, яка використовується для скорочення м'язів. Цей білок містить багато глютамінової й аспарагінової дикарбонових кислот, що надає йому здатність зв'язувати йони Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} за рахунок вільних карбоксильних груп. Ізоелектрична точка міозину при $\text{pH} = 5,4-5,5$, температура денатурації $45-50^\circ\text{C}$. Молекули міозину легко взаємодіють між собою та іншими білками, ліпідами, компонентами клітини, актином і глікогеном.

Актин, як і міозин є основним компонентом міофібрил. У м'язових волокнах він може переходити з глобулярної у фібрилярну форму і навпаки. На цей процес впливають концентрація солей, температурні умови.

У м'язових клітинах містяться також міоген (15-20%), глобулін Х (15-20%), глобулярний, водорозчинний хромопротеїд міоглобін (у крові-гемоглобін), який має простетичну групу – гем – циклічний тетрапірол із йоном заліза у центрі кільця. Він надає м'ясу червоного кольору.



Гем

Біологічна функція міоглобіну – запасання кисню. Складається білок з одного ланцюга, 153 залишків амінокислот. Зміна кольору м'яса у процесі переробки пов'язана зі зміною міоглобіну. Поверхня свіжого м'яса (на межі з повітрям) яскраво – червоного кольору – характерного для окисненого міоглобіну – оксиміоглобіну (MbO_2). Внутрішній шар – темно-червоного кольору, типовий для пігментів без кисню. Зміна забарвлення м'яса до коричневого, сірого, або зеленого обумовлена окисненням гемопротеїнів.

При тепловій денатурації білка втрачається здатність міоглобіну зв'язувати кисень, колір м'яса стає непривабливим сірим. Для покращення товарних властивостей м'ясних виробів застосовують нітрити, які взаємодіючи з міоглобіном утворюють нітрозоміоглобін (NOMb), що забезпечує пігменту стійкий до температури рожевий

колір.

При оцінюванні якості м'яса використовують спектрофотометричні методи аналізу, які базуються на визначенні різних спектрів похідних Mb.

За амінокислотним складом одні й ті ж м'язи різних тварин аналогічні. Помітно відрізняються різні частини м'яса, особливо ті, до яких входить багато сполучної тканини. Це пояснюється амінокислотним складом її білків. Так, колаген м'язів містить більше гліцину, проліну і оксипроліну, у ньому відсутні триптофан, цистин, цистеїн і дуже мало тирозину і метіоніну. Колаген найбільш розповсюджений білок у тваринному світі – головна макромолекула шкіри, сухожилля.

Близьким за властивостями до колагену у сполучній тканині є еластин. У його молекулі немає оксипроліну, мало аргініну і лізину, багато гліцину. Харчова цінність сполучної тканини нижча ще і тому, що протеази кишкового тракту гірше перетравлюють ці білки, ніж м'язові. М'ясо, яке містить багато сполучної тканини тверде, але при необхідності посилення моторики шлунково-кишкового тракту вживання таких продуктів бажане.

Крім перелічених білків у м'ясі також містяться й інші білки. Серед них: міоальбуміни, нуклеопротеїни саркоплазми, які мають здатність до гелеутворення, тропоміозин, α - і β -актинін, десмін-білок та інші.

1.11.5. Білки риби. Білки риби схожі з білками м'яса. Основний білок м'язової тканини, названий іхтуліном, схожий з міозином м'яса теплокровних тварин. Переважна частина білків риби це глобуліни, менше альбумінів, а також фосфоровмісних нуклеопротеїдів.

М'ясо риби містить у п'ять разів менше сполучної тканини, ніж м'ясотварин. Серед білків, які входять до її складу, не має еластину, колаген менш термостабільний і при 45⁰C перетворюється в глютин. Тому м'ясо риби більш ніжне і не потребує тривалої теплової обробки.

1.11.6. Білки молока. Загальний вміст білків у молоці коливається в межах від 2,9 до 4%. Вони характеризуються досить високою біологічною цінністю, яка зумовлена складом і збалансованістю незамінних амінокислот та високою засвоюваністю організмом.

Молоко містить більше 20 різних білків, які відрізняються між собою молекулярною масою, співвідношенням амінокислот, особливостями хімічного складу та структурою. Їх поділяють на дві групи – казеїни і білки сироватки (табл. 10).

Казеїн є комплексом цілого ряду білкових фракцій – α , β і т.д. Він відноситься до складних білків – фосфоропротеїнів, тобто містить залишки фосфорної кислоти, які зв'язані ефірним зв'язком з амінокислотами серином і треоніном.

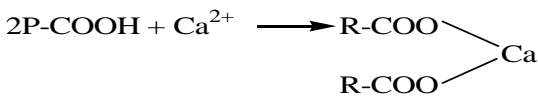
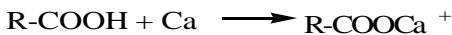
Молоко – колоїдний розчин, в якому стійкість колоїдних частинок казеїну обумовлена зарядом груп NH_3^+ , COO^- і гідрофільністю всіх інших складових. Гідрофільні властивості казеїну не лише визначають стійкість білкових частинок у молоці, але і впливають на хід технологічних процесів, наприклад на здатність згустку утримувати і виділяти вологу.

Таблиця 10. Склад і молекулярні характеристики білкових компонентів молока

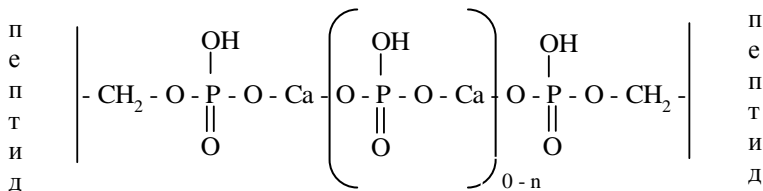
Компоненти	Вміст		Молекулярна маса, кД	ІЕТ (ізоелектрична точка)
	% від загальних білків	г/л		
Казеїн:	78-85			4,6
α_{s1} -казеїн	45-55	27,2	23	5,1
β -казеїн	25-35	8,2	24	5,3
κ -казеїн	8-15	4,1	19	4,1
γ -казеїн	3-7	1,4	30,6	5,8
γ_1 -казеїн	-	-	20,5	-
γ_2 -казеїн	-	-	11,8	-
γ_3 -казеїн	-	-	11,5	-
Білки сироватки:	15-25	6-8		
β -лактоглобулін	7-12	3,6	18,3	5,3
α -лактоальбумін	2-5	1,7	14,2	5,1
імуноглобуліни альбумін	1,5-2,5	0,6	150-1000	4,6-6,0
сироватки крові	0,7-1,3	0,4	69	4,7
протеозопептони	2-6	0,7	4-41	3,7

Внаслідок наявності великої кількості залишків фосфату молекули α - і β -казеїну у присутності іонів Ca^{2+} об'єднуються у комплекси (міцели) з утворенням кальцієвих містків.

Кількість вільних карбоксильних груп в казеїні більша ніж в інших білкових молекул, тому він має кислу реакцію. У молоці казеїн міститься у вигляді казеїнатів кальцію, з'єднаних також з неорганічним кальцій фосфатом. Іони Ca^{2+} можуть приєднуватися до карбоксильних груп казеїну.



Але в першу чергу вони взаємодіють із залишками фосфатної кислоти казеїну.



При виготовленні молочних продуктів коагуляцію казеїну здійснюють за допомогою кислот (кислотна), реніну (сичужна) і CaCl_2 (кальцієва коагуляція). Суть кислотної коагуляції – це нейтралізація негативних зарядів казеїну позитивно зарядженими іонами H^+ кислоти, кальцієвої коагуляції – іонами Ca^{2+} . Механізм дії сичужного ферменту – відщеплення від α - казеїну негативно заряджених глікомакропептидів. Стійкість системи порушується при ослабленні сил відштовхування, молекули зближаються і коагулюють.

Для одержання казеїну у промисловості на обезжирене молоко діють солями Ca , Na , кислотами, молочною сироваткою, реніном та іншими ферментами, залежно від подальшого його використання.

Після осадження казеїну в сироватці залишається 0,6% білків які являються більш цінними за амінокислотним складом і виконують важливі фізіологічні функції. Їх виділяють з допомогою сушіння,

осадження, гель – фільтрації, електродіалізу і використовують як білкові добавки до харчових продуктів.

Серед них – β -лактоглобулін – коагулює при t 85-100° С. При пастеризації разом з Ca_3PO_4 утворює комплекси з α - казеїном і випадає в осад у складі «молочного каменя» на стінках посуду.

α -лактоальбумін стійкий до температури, не звертається при сичужній ферментації і не коагулює в ізоелектричній точці. Це обумовлено наявністю в молекулі великої кількості S-S зв'язків. Цей білок виконує роль фермента – бере участь у синтезі лактози і галактози.

Імуноглобуліни – глікопротеїди, володіють властивостями антитіл. Виділено 3 групи: G, A M-антитіла, якими особливо багате жіноче молоко. Вони денатурують при температурі до 70° С.

Лактоферин (червоний протеїн) – глікопротеїд (містить Fe) має антибіотичну активність до кишкової палички. У жіночому молоці його в 10 разів більше ніж у коров'ячому (0,2 мг/мл)

Також молоко містить лізоцим – фермент, який руйнує пептидоглікан бактеріальних оболонок та інші ферменти; ліпопротеїди оболонок жирових шариків, небілкові азотисті сполуки - амінокислоти, пептиди, сечовину, креатин, пуринові основи.

1.11.7. Білки яєць. Яйця містять повноцінні білки, збалансовані за амінокислотним складом, які легко засвоюються організмом (табл.11).

Таблиця 11. Основні протеїни білка курячого яйця

Білок	% від загальної кількості білків
Овоальбумін	54
Кональбумін	12
Овомукоїд	11
Овомуцин	3,5
Лізоцим (овоглобулін G ₁)	3,4
Овоглобулін G ₂	4
Овоглобулін G ₃	4

Ячний білок добре розчиний у воді і при збиванні утворює стійку піну. Ця властивість широко використовується у харчових технологіях при виготовленні кондитерських виробів. Емульгуюча здатність яєць використовується для приготування майонезу.

Овоальбумін – основний білок яйця, глікофосфопротеїн засвоюється більше ніж на 95%. Під час зберігання нативний овоальбумін (t коагул. = $84,5^{\circ}\text{C}$) перетворюється на більш термостабільний S-овоальбумін за рахунок внутрішньо молекулярного перегрупування сульфгідрильних груп і дисульфід них зв'язків.

Кональбумін- глікопротеїд, володіє антибактеріальною дією, більш стійкий до механічного впливу, температура його денатурації $55-60^{\circ}\text{C}$.

Лізоцим є розповсюдженим у продуктах харчування ферментом, який руйнує оболонки бактерій. При зберіганні яєць навіть при низьких температурах його активність знижується, при 63°C білок денатурує.

Овомукоїд містить у своєму складі глюкозу, галактозу і манозу. Цей білок тормозить дію трипсину. Авідин теж глікопротеїд, володіє антибактеріальними властивостями, але утворює в організмі комплекс з біотином. Цістатин теж є інгібітором ендопептидаз. Тому сирі яйця важче засвоюються, ніж термічно оброблені, часто викликають алергічні реакції. Вживання яєць повинно бути помірним. Особливо дітьми, людьми похилого віку та із захворюваннями травної системи.

Розділ 2. ВУГЛЕВОДИ

2.1. Біологічна роль і класифікація вуглеводів

Вуглеводи – це група природних органічних речовин, які досить поширені у природі.

Термін «вуглеводи» вперше було запропоновано у 1844 р. К. Шмідтом. Ці речовини, які мають емпіричну формулу $C_n(H_2O)_m$, за складом можна розглядати як сполуки вуглецю з водою. Тепер відомо багато речовин, які відносять до вуглеводів, але вони не відповідають наведеній вище формулі. Хоч назва «вуглеводи» і не сссповністю відповідає хімічному складу речовин, які до них відносять, вона збереглася до цього часу і стала тривіальною. Ці сполуки ще часто називають цурками.

Вуглеводи є невід'ємною складовою частиною клітин і тканин всіх організмів. Біологічна роль вуглеводів визначається насамперед тим, що вони є основним джерелом енергії, необхідної для забезпечення метаболічних реакцій організму, та важливим резервним енергетичним фондом, який здатний досить швидко мобілізуватись, задовольняючи певні потреби організму, що визначаються його функціональним станом та рівнем метаболічних процесів. У тканинах організмів людини і тварин роль резервного вуглеводу виконує глікоген, наявність якого дає змогу забезпечити організм енергією в період недостатнього надходження вуглеводів із продуктами харчування. Під час окислення 1 г вуглеводів до кінцевих продуктів виділяється 17,2 кДж енергії. Всього за рахунок вуглеводів забезпечується 60-70% добової енергетичної цінності харчового раціону людини. Особливо важлива роль вуглеводів в енергозабезпеченні клітин головного мозку, де глюкоза є основним енергетичним джерелом, без якого неможливе нормальне функціонування центральної нервової системи.

Досить важливою є також пластична, або структурна, функція вуглеводів. Вуглеводи та їхні похідні становлять основу структури рослинних організмів і є обов'язковими компонентами мембранних систем та внутрішньоклітинних включень організмів людини і тварин. Вони входять до складу основної речовини кісткової та сполучної тканин, виконуючи важливу опірну функцію.

На частку вуглеводів припадає ~80% сухої маси рослинних та ~2% сухої маси тваринних організмів. Вуглеводи, зокрема глюкоза,

є обов'язковим компонентом біологічних рідин організму, їй належить важлива роль у забезпеченні протікання осмотичних процесів. Важлива роль належить вуглеводам також у знешкодженні токсичних продуктів обміну та хімічних речовин, у підтримуванні сталості внутрішньоклітинного середовища – гомеостазу.

Вуглеводи необхідні також для синтезу багатьох біополімерів – нуклеїнових кислот, нуклеотидних коферментів, глікопротеїнів, мукополісахаридів, гліколіпідів та глікопептидів, які відіграють важливу роль у забезпеченні міжклітинних контактів, мембранної проникності та імунних реакцій організму.

Деякі окремі вуглеводи володіючи біологічною активністю виконують в організмі спеціалізовані функції. Наприклад, гепарин запобігає звертання крові в судинах, гіалуронова кислота запобігає проникненню бактерій через оболонки клітин та ін.

Відповідно до існуючої класифікації всі вуглеводи залежно від їх складу поділяють на моносахариди, олігосахариди і полісахариди.

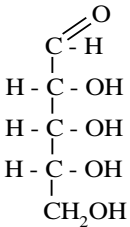
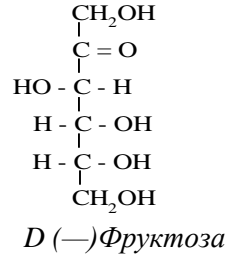
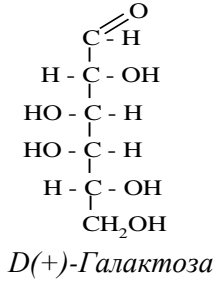
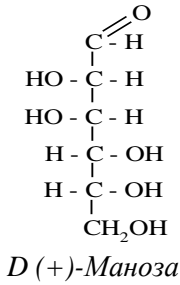
За харчовою цінністю вуглеводи поділяють на засвоювані та не засвоювані.

2.2. Моносахариди

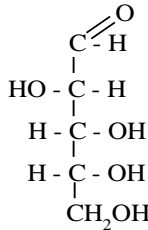
Моносахариди – це група вуглеводів, які не піддаються гідролізу з утворенням більш простих сполук. Їм відповідає загальна формула $C_nH_{2n}O_n$, де $n = 4, 5, 6, 7, 8$ і т. д. Це кристалічні, безбарвні, добре розчинні у воді, солодкі на смак речовини.

Залежно від наявності певних функціональних груп моносахаридів поділяють на альдози (містять альдегідну групу) і кетози (містять кетогрупу). Залежно від числа атомів карбону в ланцюзі розрізняють тетрози $C_4H_8O_4$, пентози $C_5H_{10}O_5$, гексози $C_6H_{12}O_6$, гептози $C_7H_{14}O_7$ і т. д. Найпоширенішими серед моносахаридів є альдози і кетози, що належать до пентоз (рибоза, дезоксирибоза, ксилоза, арабіноза) і гексоз (глюкоза, маноза, галактоза, фруктоза).

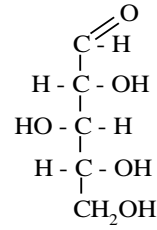
У природі поширені в основному D-ізомери моносахаридів, серед яких крім D(+)-глюкози найчастіше трапляються такі альдо- і кетогексози, як маноза, галактоза, фруктоза та альдопентози – рибоза, арабіноза, ксилоза.



D (-)-Рибоза

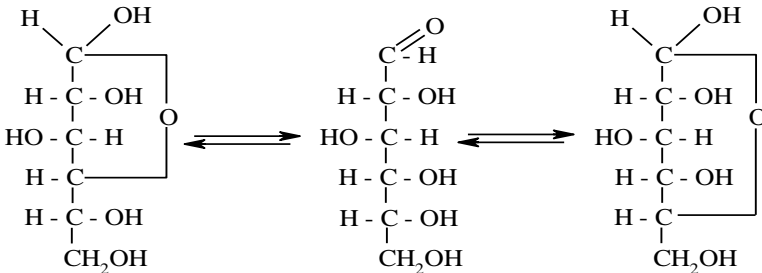


D(-)-Арабіноза



D(+)-Ксилоза

У розчинах моносахариди перебувають одночасно в ациклічній (ланцюговій) і циклічній формах з шестичленним (піранозним) або п'ятичленним (фуранозним) циклом. Обидві форми є структурними ізомерами – таутомерами, оскільки перебувають у стані рівноваги:



*Фуранозна форма
D-глюкози*

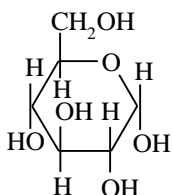
*Ациклічна форма
D-глюкози*

*Піранозна форма
D-глюкози*

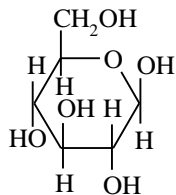
Рівновага, як правило, зміщена в бік циклічної форми, у вигляді якої моносахариди вступають у реакції конденсації при утворенні полісахаридів, нуклеїнових кислот, глікозидів та інших

сполук. У кристалічному стані моносахариди мають циклічну форму.

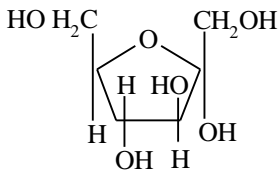
Однак ці формули ще не дають повного уявлення про просторове розміщення всіх частин молекули моносахариду. Щоб передати просторову конфігурацію функціональних груп англійський дослідник Н. Хеуорс запропонував для циклічних структур моносахаридів перспективні формули, у яких атоми й атомні групи, розміщені в проекційних формулах праворуч, зображують знизу площини кільця, а ті, що знаходяться ліворуч – зверху площини кільця. Атоми карбону, що утворюють цикл, часто не зображують. Н. Хеуорс також запропонував називати моносахариди з шестичленним кільцем піранозами, а з п'ятичленним – фуранозами (назви походять від назв кисневмісних гетероциклічних сполук – фурану і пірану з додаванням префіксу, що вказує назву моносахариду). Для прикладу наведемо циклічні формули деяких гексоз і пентоз та їх назви.



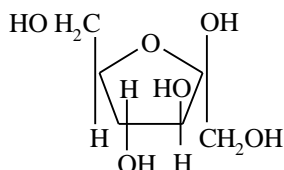
α-D-Глюкоза
(*α-D-глюкопіраноза*)



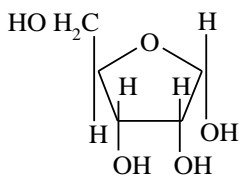
β-D-Глюкоза
(*β-D-глюкопіраноза*)



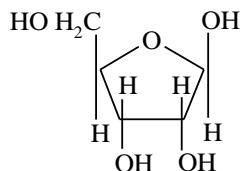
α-D-Фруктоза
(*α-D-фруктофураноза*)



β-D-Фруктоза
(*β-D-фруктофураноза*).

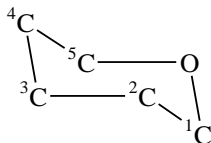


α-D-Рибоза
(*α-D-рибофураноза*)

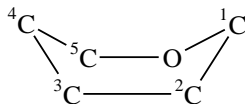


β-D-Рибоза
(*β-D-рибофураноза*)

Слід зазначити, що проєкційні формули Н. Хеурса, зокрема гексоз, також не в повній мірі відображають їхню справжню конфігурацію. Дослідженнями Рівса та інших авторів встановлено, що піранозне кільце, подібно до циклогексану, може набувати форму крісла або ванни:



Форма крісла



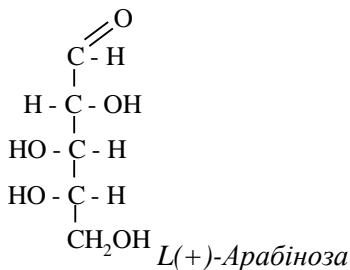
Форма ванни

Конформація у формі крісла більш стійка, тому вона характерна для більшості природних моносахаридів.

Окремі представники моносахаридів

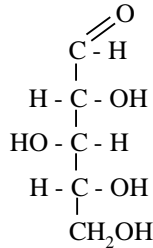
З моносахаридів у природі найпоширенішими є пентози і гексози. Вони зустрічаються у вільному стані, а також входять до складу різних цукрів, глікозидів, глікопротеїнів, гліколіпідів та багатьох інших речовин, які відіграють важливу роль у процесах життєдіяльності організму.

L(+)Арабіноза. Арабіноза – це пентоза, яка належить до групи альдоз.



Вона досить поширена в природі, зокрема трапляється в складі слизу, геміцелюлози, пектинових речовин рослин. Отримують її при гідролізі вишневого клею і цукрових буряків, вона виявлена також у полісахаридах, виділених з туберкульозної палички.

D(+)Ксилоза. За хімічним складом ксилоза також належить до альдоз:



D (+)-Ксилоза

Вона є складовою частиною багатьох рослинних полісахаридів – пентозанів (C₅H₈O₄)_n. Значна кількість ксилози міститься у складі полісахаридів деревини, соломи і кукурудзяних качанів. Використовується ксилоза як поживне середовище при вирощуванні кормових дріжджів, а також у кондитерській галузі.

D(+)Рибоза. Вона, як і попередні представники пентоз, є альдозою. Рибоза входить до складу нуклеотидів і рибонуклеїнових кислот, окремих коферментів і деяких інших біологічно активних сполук. В організмі людини і тварин рибоза утворюється у процесі перетворення вуглеводів.

D(+)Дезоксирибоза. Дезоксирибоза також є альдозою, але вона відрізняється від рибози відсутністю атома кисню біля другого атома карбону. Дезоксирибоза входить до складу ДНК. В організмі вона утворюється під час відновлення рибози.

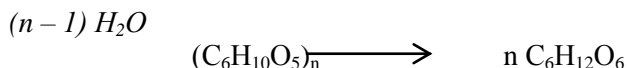
D (+)Глюкоза (виноградний цукор). Глюкоза надзвичайно поширена у природі і відіграє важливу роль у життєдіяльності організмів. У вільному стані значна кількість глюкози (17-20%) міститься у винограді (звідси назва виноградний цукор) та в інших солодких плодах. Глюкоза є складовою багатьох олігосахаридів. Із залишків глюкози побудовані полісахариди – крохмаль, глікоген, целюлоза.

Глюкоза кристалізується з однією молекулою води, температура плавлення її +146°C, добре розчиняється у воді.

Розчини глюкози різної концентрації (10, 20, 40%) досить широко використовують в медицині.

Глюкоза має здатність до відновлення й окиснення, в результаті чого утворюються відповідні спирти і кислоти.

Добувають глюкозу гідролізом крохмалю за участю різних амілаз:



Глюкоза – обов'язкова складова частина крові людини і тварин, лімфи, церебральної рідини,. У незначній кількості вона присутня в сечі. Глюкоза – основна форма циркуляції вуглеводів у крові, та енергетичне джерело усіх клітин і тканин організму. Нормальний вміст глюкози 80-100 мг/100 мл крові. Надлишок її в організмі перетворюється у глікоген. Якщо підшлунковою залозою виробляється недостатньо гормону інсуліну, то процеси утилізації глюкози уповільнюються і рівень глюкози підвищується до 200-400 мг/100 мл, що перевищує нирковий бар'єр, тому цукор з'являється в сечі. Розвивається цукровий діабет.

D(+) **Галактоза.** Галактоза, як і глюкоза, належить до альдогексоз. Відрізняється вона від глюкози характером розміщення атома гідрогену і гідроксилу біля четвертого атома карбону.

В організмі людини і тварин галактоза зустрічається в складі дисахаридів: лактози (молочного цукру) і мелібіози, трисахариду – рафінози. Вона входить також до складу ліпідів нервової системи і головного мозку. Міститься галактоза і в складних білках – глікопротеїнах.

Галактоза в організмі людини і тварин за участю ферментних систем може перетворюватися на глюкозу, вона міститься в молочних продуктах, складає 1/3 сухих речовин і сприяє розвитку у кишківнику молочнокислих бактерій – антагоністів патогенної мікрофлори і процесів гниття.

D (-) **Фруктоза.** Фруктоза, або плодовий цукор належить до кетогексоз. Вона обертає площину поляризації світла вліво, тому її ще називають левульозою.

Фруктоза досить поширена у природі. Вона входить до складу дисахариду цукрози (бурякового або тростинного цукру). Суміш фруктози і глюкози складає основну частину меду. Вона входить також до складу рослинного полісахариду – інуліну.

Фруктоза добре розчинна у воді, може утворювати кристали складу $2C_6H_{12}O_6 \cdot H_2O$. Серед усіх моносахаридів фруктоза найсолодша. Вона в 2,5 рази солодша за глюкозу і в 1,7 рази – за цукрозу.

Фруктоза при нагріванні з кислотами піддається деструкції з утворенням 5-оксиметилфурфуролу.

В невеликих кількостях фруктоза міститься у крові людини і тварин. Її фосфатні ефіри є проміжними сполуками обміну вуглеводів в організмі. Засвоєння фруктози не залежить від інсуліну, тому може вживатись хворими на цукровий діабет, вона більше затримується печінкою і швидше вступає в обмінні процеси. Проте в організмі людини і тварин фруктоза може перетворюватися на глюкозу.

2.3. Олігосахариди

Це вуглеводи, молекули яких утворюються з двох – десяти залишків моносахаридів, які зв'язані між собою глікозидними зв'язками. Це кристалічні, добре розчинні у воді, часто солодкі на смак речовини. Їх ще називають цукроподібними вуглеводами. Серед олігосахаридів найбільше значення мають дисахариди.

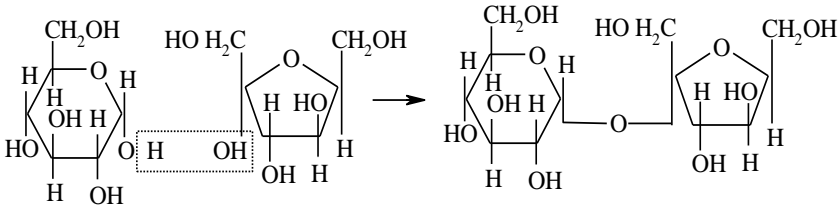
Дисахариди – складні вуглеводи, молекули яких побудовані з двох молекул моносахаридів. Існують два способи сполучення моносахаридів з утворенням дисахаридів і виділенням молекули води. Перший – взаємодія глікозидних гідроксилів обох молекул моносахаридів. Дисахариди, в молекулах яких глікозидні гідроксиди зв'язані, існують лише в циклічній формі і не можуть ізомеризуватись в альдегідну форму. Вони не мають відновних властивостей і їх часто називають невідновлюючими.

Другий спосіб утворення дисахаридів – взаємодія глікозидного гідроксилу однієї молекули моноцукру з одним із чотирьох неглікозидних гідроксилів другої молекули моносахариду. У молекулі такого дисахариду зберігається один глікозидний гідроксил, який легко ізомеризується в альдегідну групу. Такі дисахариди існують у двох таутомерних формах – циклічній і альдегідній, які знаходяться в динамічній рівновазі. Вони мають відновні властивості і тому їх називають відновлюючими дисахаридами.

Серед дисахаридів найбільш поширені і мають важливе

значення у харчуванні людини цукроза, лактоза, мальтоза і целобіоза.

Цукроза містить залишки α -D(+)-глюкози і β -D(-)-фруктози, глікозидний зв'язок між якими утворений між двома напівацетальними гідроксилами. Раціональна назва цукрози – α -D-глюкопіранозил-(1 \rightarrow 2)-(β -D-фруктофуранозид:



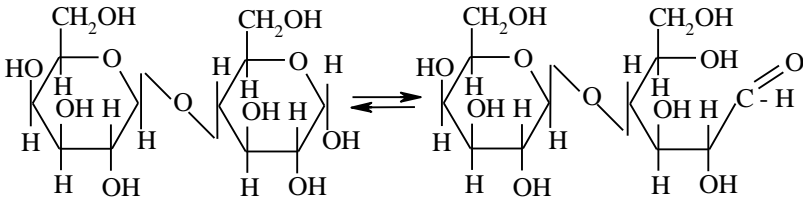
α -D(+)-Глюкоза

β -D(-)-Фруктоза

Цукроза

Цукроза – кристалічна речовина, солодка на смак, добре розчинна у воді. У промисловості добувають переробкою цукрових буряків (містять до 27% цього вуглеводу) чи цукрової тростини. При гідролізі, що відбувається під впливом слабких кислот або ферментів, гідролізат набуває лівого обертяння, тоді як вихідний розчин сахарози має праве обертяння. У зв'язку з цим гідроліз цукрози дістав назву інверсії (від лат. *inversio* – перевертання), а суміш однакових кількостей α -D-глюкози і β -D-фруктози, що утворюється після гідролізу, має назву інвертного цукру. Природним інвертним цукром є мед.

Лактоза. Цей дисахарид міститься в молоці. У коров'ячому молоці вміст лактози складає 4-5%. При гідролізі лактози утворюються β -D-галактопіраноза і α -D-глюкопіраноза. У молекулі лактози є один глікозидний гідроксил, тому в кристалічному стані вона має циклічну будову, а в розчинах існує у двох таутомерних формах – циклічній і альдегідній, які знаходяться в динамічній рівновазі:



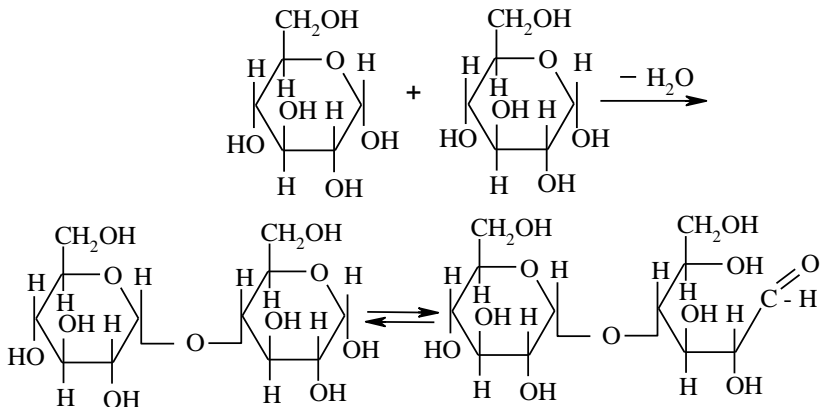
Лактоза (циклічна форма)

Лактоза (альдегідна форма)

Лактоза має відновні властивості, вона менш солодка, ніж сахароза. Рациональна назва лактози – β -D-галактопіранозил-(1 \rightarrow 4)-D-глюкопіраноза. Велике значення для людини лактоза має в період грудного вигодовування немовлят. Вона сприяє розвитку кишкової молочнокислої мікрофлори, яка пригнічує діяльність патогенних бактерій.

Мальтоза, або солодовий цукор. Мальтоза – продукт неповного гідролізу крохмалю, що відбувається під впливом фермента амілази. У результаті гідролізу молекули мальтози утворюються дві молекули α -D-глюкопіранози. Мальтозу називають ще α -D-глюкопіназил-1 (1 \rightarrow 4)-D-глюкопіранозою.

У молекулі мальтози є один глікозидний гідроксил, тому в кристалічному стані вона має циклічну форму, а в розчинах існує у вигляді двох таутомерів: циклічній і альдегідній формі:

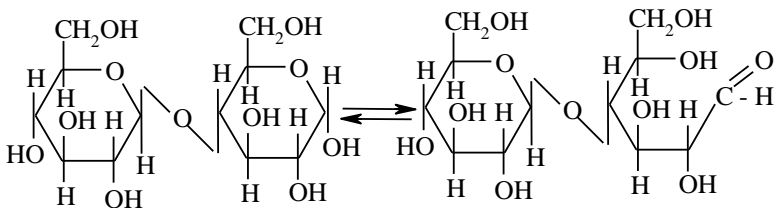


Мальтоза (циклічна форма)

Мальтоза (альдегідна форма)

Мальтоза має відновні властивості, вона менш солодка, ніж цукроза.

Целобіоза – це проміжний продукт гідролізу целюлози. При гідролізі целобіози утворюються дві молекули β -D-глюкопіранози. У молекулі целобіози є один глікозидний гідроксил, тому в розчинах вона існує у двох таутомерних формах:



Целобіоза (циклічна форма)

Целобіоза (альдегідна форма)

Целобіоза має відновні властивості, добре розчинна у воді, майже не має солодкого смаку. Раціональна назва – β-D-глюкопіранозил-(1→4)-D-глюкопіраноза.

2.4. Полісахариди

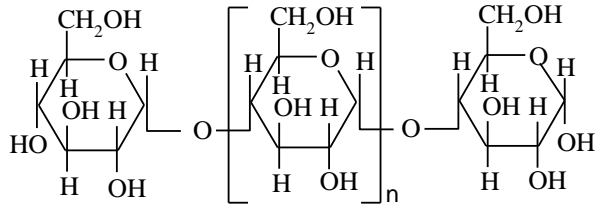
Це природні високомолекулярні сполуки, молекули яких складаються з сотень або навіть тисяч залишків моносахаридів, зв'язаних між собою глікозидними зв'язками, які розщеплюються при гідролізі. На відміну від олігосахаридів, полісахариди не солодкі на смак, у воді не розчиняються (целюлоза) або утворюють колоїдні розчини (крохмаль, глікоген), при нагріванні, не плавлячись, розкладаються.

Полісахариди поділяють на гомополісахариди (побудовані з однакових залишків моносахаридів) і гетерополісахариди (побудовані з різних залишків моносахаридів).

Найважливішими серед полісахаридів є крохмаль, глікоген, целюлоза. Ці гомополісахариди складаються з залишків D(+)-глюкози і відповідають загальній формулі $(C_6H_{10}O_6)_n$. Відмінність у властивостях цих сполук зумовлена особливостями їх будови.

Крохмаль – біла аморфна речовина. У гарячій воді набрякає і поступово розчиняється з утворенням колоїдного розчину, який при охолодженні перетворюється на клейстер. З розчином йоду дає темно-синє забарвлення. Крохмаль – продукт фотосинтезу, резервна поживна речовина. Він відкладається в різних органах рослин у вигляді зерен. Крохмаль складається із залишків α-D-глюкози, з'єднаних між собою глікозидними зв'язками, і містить два полісахариди: амілозу (25%) і амілопектин (75%).

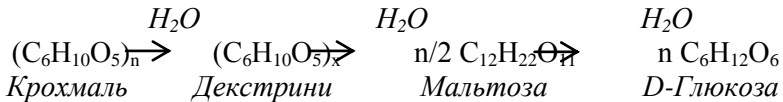
Амілоза – це в основному лінійні макромолекули, в яких залишки α-D-глюкози зв'язані (як і в мальтозі) 1,4-глікозидними зв'язками:



Молекули амілози містять 200-1000 мономерних одиниць. Амілоза розчиняється в гарячій воді, з розчином йоду дає темно-синє забарвлення.

Молекули амілопектину відрізняються від амілози значною розгалуженістю своїх ланцюгів. У місцях розгалуження залишки α -D-глюкози зв'язані 1,6-глікозидними зв'язками. Ступінь поліконденсації для амілопектину 600-6000, але може досягати 36 тис. У воді утворює клейстер, з розчином йоду дає слабе фіолетове забарвлення.

Гідроліз крохмалю проходить за такою схемою:



Декстрини – полісахариди з меншою молекулярною масою, ніж у крохмалю, добре розчиняються у воді, мають відновні властивості і дають забарвлення з розчином йоду. Крохмаль – основне джерело вуглеводів. Широко використовується в харчовій, текстильній промисловості, у медицині тощо.

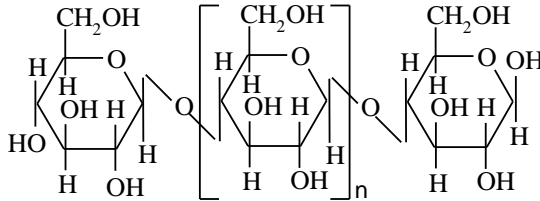
Глікоген, або тваринний крохмаль. Глікоген, як і крохмаль, побудований із залишків глюкози і має таку ж загальну формулу $(C_6H_{10}O_5)_n$. Це білий аморфний порошок, добре розчиняється навіть у холодній воді. При розчиненні він утворює колоїдні розчини.

В організмах людини і тварин він відіграє роль резервного поліцукру. Особливо багато його в печінці (2-5%) і м'язах (0,5-2%). Всі процеси життєдіяльності, і в першу чергу робота м'язів, проходять одночасно з розщепленням глікогену.

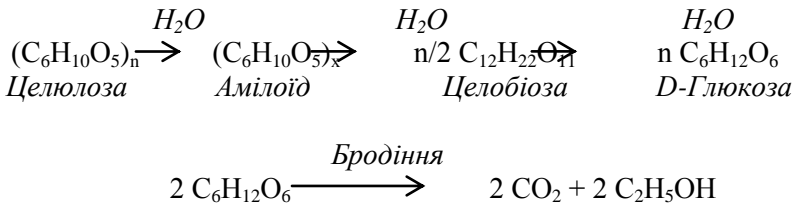
Поліфруктозани – резервні полісахариди побудовані переважно із залишків фруктози, замінюють у багатьох рослинах крохмаль. Із них найбільше вивчений інулін, який міститься у часнику, бульбах топінамбура, артишоку. Також його багато у

коренях цикорію, кульбаби.

Целюлоза, або клітковина. Це високомолекулярний полісахарид, складається із залишків β -D-глюкози, сполучених між собою 1,4-глікозидними зв'язками:



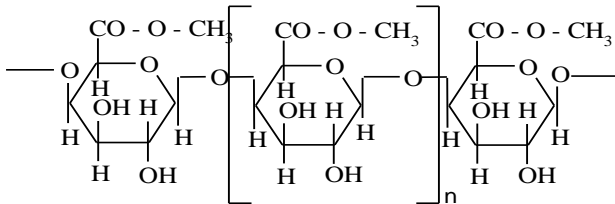
Ниткоподібні молекули целюлози, орієнтуючись паралельно одна одній, укладаються в пучки, між якими утворюються водневі зв'язки у результаті взаємодії гідроксильних груп. Певна кількість пучків з'єднується і утворюють волокна. Ці особливості будови і є причиною нерозчинності целюлози у воді й органічних розчинниках та механічної міцності її волокон. Для целюлози є спеціальні розчинники, зокрема аміачний розчин гідроксиду міді (II) (реактив Швейцера), з яким вона утворює комплексну сполуку типу гліцерату міді. Концентрована сульфатна кислота перетворює целюлозу на амілоїд (частково гідролізована целюлоза), що використовується при виготовленні пергаментного паперу. Гідроліз целюлози (кислотний або ферментативний) відбувається з утворенням проміжних сполук і має важливе значення у виробництві гідролізованого етанолу:



Целюлоза майже не виявляє відновних властивостей. Як багатоатомний спирт утворює прості і складні ефіри. Целюлоза, як і крохмаль, – продукт фотосинтезу, виконує в рослинах структурні функції, надає її тканинам механічної міцності й еластичності. Прикладом майже чистої целюлози є бавовняне волокно і папір.

Під назвою «пектинові речовини» розуміють групу сполук,

основою полімерного ланцюга яких є залишки похідного галактози - галактуронової кислоти з'єднані α -(1,4)-глікозидними зв'язками. Карбоксильні групи галактуронової кислоти з різною частотою етерифіковані метиловим спиртом: у молекулах пектинових кислот мала ступінь етерифікації, у пектинів – до 100%.



У молекулах протопектину ланцюг полігалактуронової кислоти з'єднаний з іншими полімерами: целюлозою, арабаном, галактаном, білковими речовинами, тощо. Він належить до гетерополісахаридів, у воді не розчинний.

Пектинові речовини містяться у плодах і рослинах, розчинні у воді, утворюють колоїдні розчини, а також гелі за наявності у розчині цукру і кислоти. Ця здатність широко використовується у кондитерському виробництві при виготовленні джемів, драглів, мармеладу, начинок для цукерок.

2.5. Добова потреба людини у вуглеводах та їх харчова цінність

Вуглеводи в харчуванні людини відіграють досить важливу роль. Вони є основним джерелом енергії, яка необхідна для нормальної життєдіяльності всіх органів і тканин організму, особливо для мозку і серця.

Вуглеводи є основними компонентами хліба, різних видів круп, борошняних, макаронних та кондитерських виробів, картоплі, фруктів та багатьох інших продуктів. Добова потреба організму людини у вуглеводах визначається її віком та характером трудової діяльності (табл. 12).

Доросла людина масою 60-70 кг при фізичному навантаженні середньої важкості повинна споживати 500-600 г вуглеводів. Ця кількість становить $\frac{2}{3}$ всієї енергії, яка використовується організмом для забезпечення метаболічних процесів.

Однак за умов легкого фізичного навантаження частка

вуглеводів повинна становити в середньому $\frac{1}{2}$ добової потреби організму в енергії, оскільки надмірне споживання вуглеводів сприяє перетворенню частини їх на жири і розвитку ожиріння. Із кожних 100 г надлишкової кількості вуглеводів, особливо цукру та кондитерських виробів, синтезується 30 г жиру.

Таблиця 12. Добова потреба людини у вуглеводах

Вік людини, роки	Кількість вуглеводів, г
Діти	
до 1 року	110
2-3 роки	160
7-11 років	300
15-18 років	470
Дорослі	
при розумовій праці	430
при фізичній праці	
легкій	490
середньої важкості	560
важкій	630

Досить важливим є також збалансованість окремих вуглеводів та подібних до них речовин у добовому раціоні. В середньому на частку полісахаридів (крохмалю) в добовому раціоні повинно припадати 75%, цукру – 20%, пектинових речовин – 3%, клітковини – 2%.

Основна маса вуглеводів (70%), які надходять до організму з продуктами харчування, окислюється до кінцевих продуктів (CO_2 і H_2O), 20-25% – перетворюється на жири, 2-5% – використовується для синтезу резервного полісахариду – глікогену. При надмірному споживанні вуглеводів на жири може перетворюватись до 35-40% вуглеводів і до 9-12% резервуватись у вигляді глікогену.

Щодо харчової цінності вуглеводи поділяють на засвоювані та не засвоювані. До першої групи вуглеводів відносять моно- та олігосахариди, глікоген, декстрини і крохмаль, а до другої групи – целюлозу, геміцелюлозу, інулін, пектин, гумі і слизи.

Засвоювані вуглеводи при надходженні у травний тракт піддаються розщепленню (крім моносахаридів), всмоктуються в кров, і далі включаються в обмінні процеси організму.

Не засвоювані вуглеводи організмом людини не

використовуються. Однак вони мають досить важливе значення для нього. Вступаючи у взаємодію з лігніном, не засвоювані вуглеводи утворюють так звані харчові волокна. Останні виконують в організмі людини цілий ряд функцій: стимулюють моторну функцію кишківника, нормалізують склад його мікрофлори, виводять токсини, позитивно впливають на ліпідний обмін та ряд інших процесів в організмі людини.

2.6. Вуглеводи харчової сировини

2.6.1. Вміст вуглеводів у харчових продуктах. Вуглеводи містяться у продуктах рослинного і тваринного походження. Вони складають $\frac{3}{4}$ сухої маси рослин і водоростей, містяться у зернових культурах, картоплі, фруктах і овочах.

Близько 80% усіх вуглеводів, що надходять до організму людини – це крохмаль. Основним джерелом його є зернові культури, бобові і картопля. Вміст крохмалю в зернових складає 45-55%. Значно менше в них міститься моно- і олігосахаридів та інших груп вуглеводів.

Таблиця 13. Вуглеводи зерна і продуктів його переробки (%)

Продукт	Крохмаль	Цукри	Клітковина	Разом:
Пшениця	52-55	2-3	8-14	60-70
Борошно пшеничне	67-68	1,7-1,8	0,1-0,2	73-74
Макарони	62-69	1,7-4,6	0,1-0,2	72-75
Рис	55	3	4-10	63-64
Гречка	63-64	2	1-2	67-68
Кукурудза	57	2,5-3	6-10	67-70

Серед моносахаридів найбільшу харчову цінність мають глюкоза, фруктоза, галактоза і маноза. Споживання глюкози і фруктози складає біля 15% від загальної кількості вуглеводів.

Із олігосахаридів у харчуванні людини важливе значення мають сахароза і лактоза. Основним джерелом сахарози є буряк, цукрова тростина, мед, плоди та овочі. Сахароза надходить до організму з солодощами, морозивом, напоями, але це менш цінний для організму вуглевод. За надлишкового її вживання і малих

енергетичних витратах організму цукроза швидко перетворюється в жир. Лактоза міститься в молоці та молочних продуктах. У молоці її вміст складає 4,8-5,8%, у кисломолочних продуктах – 1,8-5%, у сухому молоці – 37,5%.

Джерелом корисних для організму харчових волокон є пшеничні і житні висівки, овочі і фрукти. Вуглеводи плодів представлені в основному глюкозою, фруктозою, сахарозою, а також пектиновими речовинами (у шкірці яблук їх 8-20%, у цитрусових 20-30%, у ягодах близько 1%).

Таблиця 14. Вміст цукрів у плодах і овочах (у %)

Види плодів або овочів	Крохмаль	Цукри				Пектинові речовини	Клітковина
		Цукроза	Фруктоза	Глюкоза	Всього		
Картопля	17,7	0,6	0,2	0,1	0,9	0,7	1,0
Капуста білокачан.	0	0,1	2,6	1,6	4,3	0,3	1,2
Морквка	0	3,7	2,9	слід	6,6	0,4	1,0
Цибуля ріпчаста	0	6,3	1,3	1,2	8,8	0,3	0,8
Помідори	<0,1	0,2	1,5	1,0	2,7	0,1	0,9
Горошок зелений	5,1	0,4	0,1	4,7	5,2	0,3	0,8
Кавуни	0	1,5	2,4	4,3	8,2	0,7	0,5
Дині	0	3,7	2,2	2,8	8,7	0,6	0,8
Виноград	0	0	8,0	7,6	15,6	0,6	0,6
Яблука	0,2	3,0	3,8	8,1	14,9	1,1	0,6
Груші	0	1,5	2,3	7,8	11,6	0,8	0,6
Айва	0	1,0	2,2	6,3	9,5	1,1	1,7
Вишня	0	0,4	4,5	3,8	8,7	0,5	0,5
Слива	0	5,4	3,4	0,8	9,6	0,6	0,6
Абрикоси	0	6,0	2,2	1,7	9,9	0,7	0,8
Персики	0	6,3	5,1	4,4	15,8	0,6	1,0
Суниця	0	0,4	2,8	3,3	6,5	1,6	1,4
Мандарини	0	4,9	1,0	1,5	7,4	0,7	0,3
Апельсини	0	3,6	1,3	1,5	6,4	0,9	0,5
Лимони	0	0,9	0,6	0,6	2,1	1,1	0,5
Хурма	0	1,2	9,1	7,8	18,1	0,9	0,8

Тваринні продукти містять значно менше вуглеводів, ніж рослинні. Глікоген м'яса і печінки за будовою подібний до амілопектину. Крім того при зберіганні продуктів тваринного

походження проходить ферментативний гідроліз 1-4 та 1-6 глікозидних зв'язків глікогену й утворення продуктів за структурою подібних до крохмалю.

2.6.2. Перетворення вуглеводів при виробництві харчових продуктів. Гідроліз вуглеводів. Гідроліз вуглеводів є основним процесом, який застосовують у харчових технологіях і залежить від багатьох факторів: рН середовища, температури, наявності ферментів, конфігурації молекул. Він відбувається не лише у процесі виробництва харчових продуктів, але і при їх зберіганні.

Із дешевої крохмальної сировини і крохмалю шляхом гідролізу одержують різну продукцію: патоку, мальтозу, глюкозу, фруктозні сиропи. Ступінь конверсії крохмалю в D-глюкозу у розчині вимірюється в одиницях глюкозного еквівалента (ГЕ) – це вміст (у%) редукуючих цукрів, виражений у кількості глюкози на суху речовину.

Кислотний гідроліз вуглеводів тривалий час був основним при одержанні глюкози із крохмалю. Недоліком його є використання концентрованих кислот і високих температур, які негативно впливають на вуглеводи, зумовлюють їх дегідратацію і трансглікозилування.

Під дією кислоти спочатку послаблюються і розриваються асоціативні зв'язки між молекулами амілози і амілопектину. Це призводить до руйнування крохмальних зерен і утворення гомогенної маси. Далі відбувається розрив α -D-(1,4)- та α -D-(1,6)- зв'язків з приєднанням молекул води.

Змінюючи тривалість перебігу процесу, та його умови можна отримати різне співвідношення компонентів гідролізу (олігосахаридів, декстринів, мальтози, три- і тетрасахаридів), що відповідає певному значенню ГЕ, що видно з рис. 3.

У наш час для гідролізу крохмалю використовують комплекс амілолітичних ферментів. До них належать α - і β -амілаза, що відносяться до ендоамілаз (гідролізують внутрішньо молекулярні зв'язки у молекулах крохмалю), глюкоамілаза та ряд інших.

Продуктами гідролізу крохмалю є декстрини, і невелика кількість мальтози і глюкози:



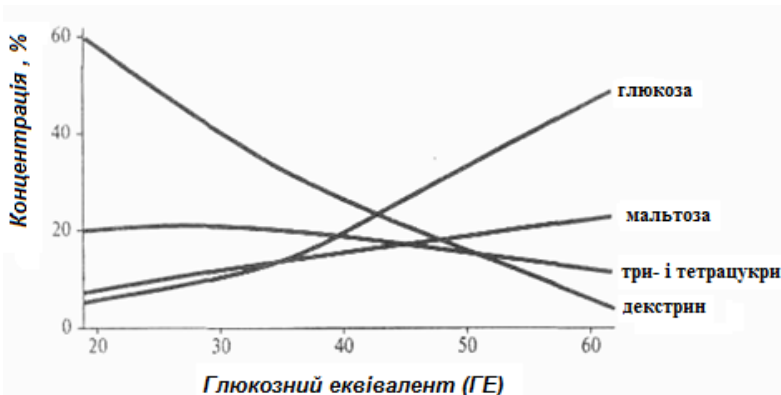
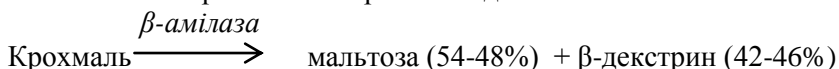


Рис.3. Зміна вмісту різних груп вуглеводів при кислотному гідролізі крохмалю

β -Амілаза і глюкоамілаза атакують молекули крохмалю з передуючого кінця. β -Амілаза гідролізує передостанні α -(1,4)-зв'язки клейстеризованого крохмалю до мальтози:



Глюкоамілаза є екзоферментом, вона відщеплює послідовно кінцеві молекули α -D-глюкози, гідролізує так же швидко і α -1,6-зв'язки, якщо за ними йде α -1,4. Глюкоамілаза здатна в десятки разів швидше гідролізувати високополімерний субстрат, ніж оліго- і дицукри.

Ферментативний гідроліз крохмалю застосовують у багатьох харчових технологіях: приготування тіста і випікання хліба, виробництві пива (одержання пивного суслу, сушіння солоду), квасу, спирту, органічних кислот, глюкози, патоки, цукрових сиропів.

Гідроліз сахарози може відбуватися у присутності харчових кислот, при незначному нагріванні. Утворені за цих умов глюкоза і фруктоза беруть участь в реакціях дегідратації, карамелізації, меланоїдиноутворення, утворюючи ароматичні і забарвлені продукти.

Ферментативний гідроліз сахарози з участю β -фруктофуранозидази (інвертази, сахарози) застосовують у кондитерському виробництві для одержання глазури, карамельних

цукерок, у хлібопекарській промисловості для покращення аромату хліба, виробництві вин, соків та безалкогольних напоїв.

Ферментативний гідроліз інших полісахаридів використовується в харчових технологіях для більш повної переробки сировини і покращення якості продукції.

Основою клітинних оболонок рослин є геміцелюлоза і пектинові речовини. У виробництві соків і вина для збільшення виходу і покращення фільтрації, кращого освітлення діють комплексом ферментів: геміцелюлазних, пектолітичних (пектинестераза, протопектиназа, полігалакторуназа), целюлолітичних (ендоглюконаза, целобіогідролаза, целобіаза) та ін. Гідроліз пентозанів при виробництві солоду має важливе значення для утворення ароматичних речовин.

Гідроліз целюлози відбувається набагато складніше, що пов'язано з її молекулярною структурою і наявністю β -D (1,4) зв'язків між мономерами.

2.6.3. Дегідратація вуглеводів. Реакції дегідратації вуглеводів каталізуються кислотами і лугами при високих температурах. З пентоз утворюється токсичний фурфурол, з гексоз – оксиметилфурфурол та інші продукти такі як ізомальтол, мальтол.

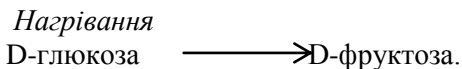
Даний процес досить важливий при переробці харчової сировини у харчові продукти. Як каталізатори для дегідратації використовують кислоти і луги та відповідну температуру. З пентоз утворюється фурфурол, а з гексоз – оксиметилфурфурол та інші сполуки. Подальші перетворення продуктів дегідратації зумовлюють утворення цілого ряду карбонових кислот – леулінової, молочної, оцтової, мурашиної та деяких інших сполук, які можуть надавати продуктам необхідний або небажаний аромат.

Реакції, що відбуваються при температурній обробці цукрів поділяють на такі, що відбуваються без розриву C–C зв'язків, і з розривом вуглецевого ланцюга. До перших відносять реакції аномеризації:

Плавлення

α - або β -глюкоза \longrightarrow рівновага α/β -форм глюкози

і внутрішньої альдо-кетоконверсії:



При високих температурах ($\sim 200^{\circ}\text{C}$) відбуваються реакції трансглікозилювання: кількість (1,4)- α -D-зв'язків зменшується, та утворюються (1,6)- α -D-зв'язки і навіть (1,2)- β -D-зв'язки. При кислотному гідролізі крохмалю утворюються ізомальтоза, гентіобіоза. При термічній обробці сухих продуктів можуть утворюватись ангідроцукри (рис.4).

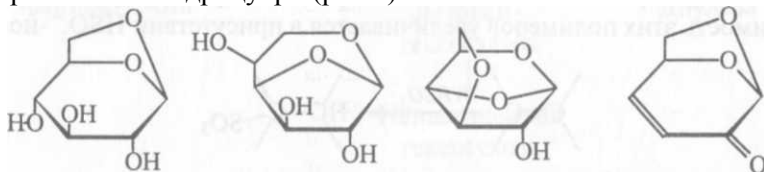


Рис. 4. Продукти термічної деструкції глюкози

Реакції з розривом С-С-зв'язків призводять до утворення летких кислот, кетонів, фуранів, спиртів, ароматичних сполук, оксидів карбону. Всі ці процеси знижують якість харчових продуктів.

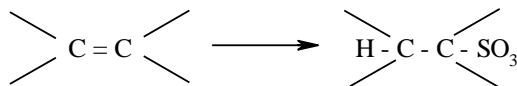
2.6.4. Реакції утворення коричневих продуктів. Потемніння харчових продуктів пов'язане з реакціями перетворення вуглеводів, їх взаємодії з білками або амінокислотами. Вони представлені реакціями карамелізації і меланоїдиноутворення.

Карамелізація – комплекс реакцій, які відбуваються при прямому нагріванні вуглеводів. Каталізують ці реакції невисокі концентрації кислот, лугів і деяких солей. Утворюються коричневі продукти з карамельним ароматом.

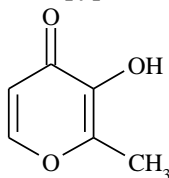
Нагрівання спричиняє розрив зв'язків і утворення нових глікозидних зв'язків. Але основними є процес дегідратації, у результаті якого відбувається утворення подвійних зв'язків, формування циклопентанолонів і циклогексанолонів. Спряжені подвійні зв'язки адсорбують світло певної довжини хвилі і надають продуктам коричневого забарвлення.

Нагріванням розчину сахарози у присутності сульфатної кислоти або кислих солей амонію одержують інтенсивно забарвлені полімери (цукровий колор) для застосування у виробництві напоїв, карамелі. У присутності HSO_3^- -йонів підвищується стабільність і

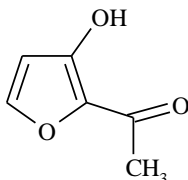
розчинність цих полімерних сполук.



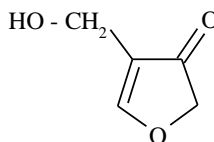
Комплекс реакцій карамелізації призводить до утворення різних сполук з унікальним смаком і ароматом. Так, сполуки мальтол та ізомальтол мають запах печеного хліба, 2-Н-4-гідрокси-5-метилфуранон - аромат смаженого м'яса.



Мальтол



Ізомальтол



2-Н-4-гідрокси-5-метилфуранон

Реакція меланоїдиноутворення (реакції Майєра) – це процес взаємодії відновлюючих вуглеводів з амінокислотами, пептидами і білками з утворенням темно-зabarвлених продуктів – меланоїдинів (від грецького меланос – темний).

Активність вуглеводів і амінокислот в реакції Майєра можна показати так:

вуглеводи: ксилроза > арабіноза > глюкоза > лактоза > мальтоза > фруктоза;

амінокислоти: лізин > гліцин > метіонін > аланін > валін > глутамін > фенілаланін > цистин > тирозин.

Реакція меланоїдиноутворення починається з конденсації альдози й аміну в глюкозиламін, енамінольна форма якого може реагувати далі у двох напрямках.

У результаті перегрупування Аматорі енольний водень переміщується до атому С₁, утворюється 1- дезокси-1-аміно-2-кетоза. Цей шлях веде через 2,3-ендіол після відщеплення аміну, до утворення α-β-дикарбонільних сполук і редуцтонів. Дуже реакційоздатні α і β-ненасичені кетони можуть полімеризуватись у високомолекулярні коричнево-чорні меланоїдини або розщеплятись на прості легкі сполуки.

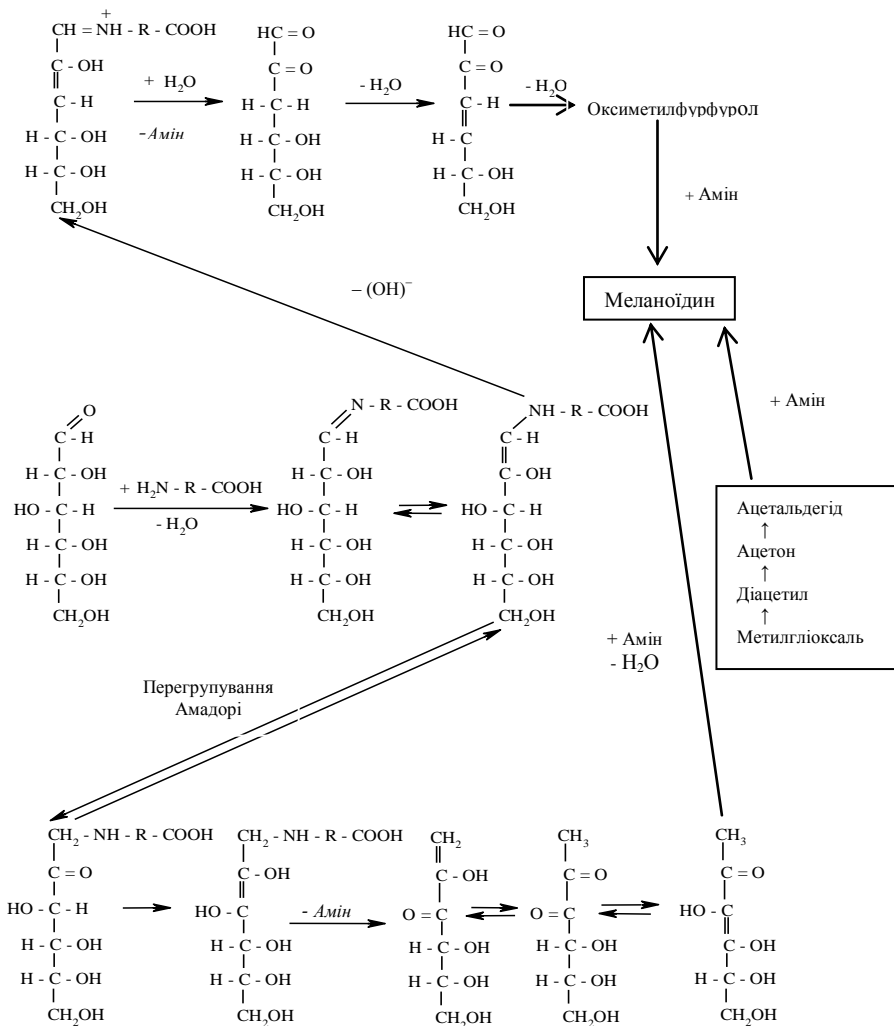


Рис. 5. Основні шляхи реакції Майяра (меланоїдиноутворення)

При цьому, наприклад, утворюються такі речовини як метилглюксаль, діацетил, ацетон, ацетальдегід, завжди присутні у хлібі при випіканні і після. Ці речовини можуть вступати в реакцію

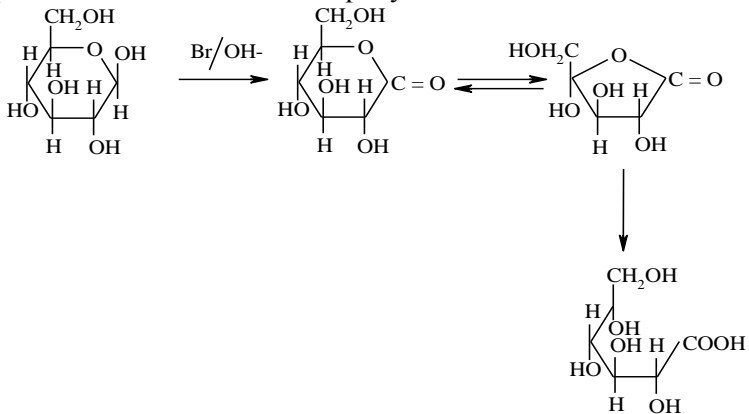
з амінами, утворюючи меланоїдини. Останні це високомолекулярні забарвлені в коричнево-чорний колір речовини структура яких не виявлена.

Другий шлях веде через відщеплення гідроксильної групи при атомі C₃ до утворення дезоксиозонів. Останні відщеплюючи воду і утворюючи п'ятичленне кільце перетворюються у фурфурол (у випадку пентоз) або 5-гідроксиметилфурфурол (гексози), дуже активні ароматичні сполуки.

Найбільш інтенсивно процес мелаїдиноутворення відбувається в нейтральному і лужному середовищах. Його гальмують NaHSO₃, H₂SO₄, H₂O₂ та деякі інші сполуки.

Реакції мелаїдиноутворення мають важливе значення при переробці харчової сировини і помітно впливають на якість готових продуктів. Вони інтенсивно проходять при підвищених температурах, зокрема при випіканні хліба, сушінні овочів і фруктів, одержанні сухого молока та ін. З реакціями мелаїдиноутворення пов'язане потемніння фруктових соків при їх зберіганні, зовнішній вигляд, смак і аромат м'ясних продуктів тощо.

2.6.5. Окиснення вуглеводів. У харчових технологіях відбувається і широко використовується окиснення альдоз. Продуктом цього процесу за певних умов є р-лактони, γ-лактони, вільні форми альдонових кислот. Окиснення альдоз відбувається при виробництві кисломолочних продуктів.

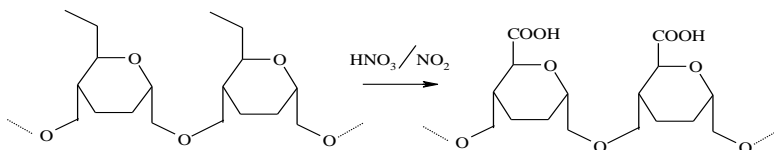


Глюконова кислота

Окиснення глюкози під дією ферментів застосовують для видалення кисню з напоїв (соків, пива), оскільки кисень може бути причиною потемніння і зміни запаху продуктів при зберіганні.

Перед герметизацією тари до напоїв додають глюкозооксидзу, яка, за участю O_2 перетворює глюкозу у D-глюконову кислоту.

Окиснення вуглеводів, зокрема крохмалю використовують для одержання уронових кислот, зокрема глюкуронової:



Уронові кислоти поширені у природі, вони є структурними компонентами мікробних і рослинних полісахаридів, які використовують у харчових технологіях як загусники. Це пектин, мономером якого є D-галактуронова кислота, альгінати із морських водоростей (D-мануронова кислота, α -гулурунова кислота).

2.6.6. Бродіння вуглеводів дуже поширений у природі процес, який є основою виробництва багатьох харчових продуктів: хлібобулочних і молочнокислих виробів, алкогольних напоїв і харчових кислот.

У результаті бродіння, яке відбувається завдяки життєдіяльності певних мікроорганізмів, утворюються різноманітні спирти, кислоти, альдегіди, кетони, від кількості і співвідношення яких залежить аромат, смак і якість продукту.

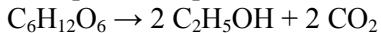
Найпоширенішими є спиртове і молочнокисле бродіння. Для забезпечення спиртового бродіння на практиці застосовують один вид дріжджів родини сахароміцетів – *Sacharomyces cerevisiae*, окремі штами якого дуже різняться за особливостях ферментних систем.

Ця чисельна ферментна система і здійснює процес анаеробного перетворення вуглеводів з утворенням етилового спирту і вуглекислого газу.

Дріжджі зброджують лише гексози. Легше піддаються бродінню глюкоза і фруктоза, повільніше маноза і ще гірше – галактоза. Дисахариди зброджуються лише після попереднього гідролізу до моноцукрів ферментами дріжджів. Полісахариди

крохмалю потребують попереднього гідролізу мікробними амілазами, або солодом. Цей процес застосовують при виробництві алкогольних напоїв із крохмалевмісної сировини: пшениці, ячменю, кукурудзи, рису, картоплі та ін.

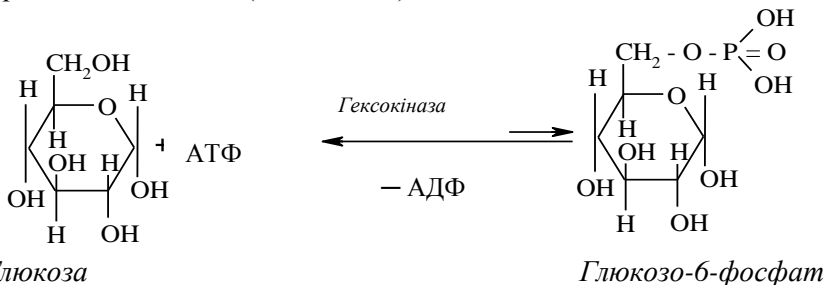
Сумарне рівняння спиртового бродіння можна подати так:



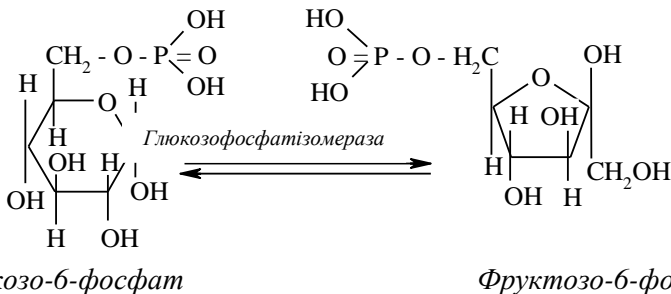
Гексоза Етиловий спирт

Однак біохімічний шлях спиртового бродіння складний і багатостадійний.

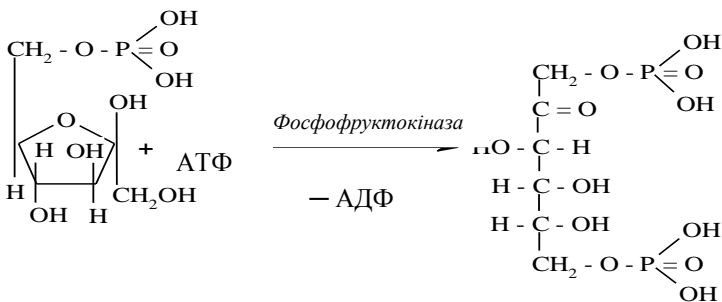
1. Перша стадія цього процесу – фосфорилування глюкози за участю аденозинтрифосфornoї кислоти. Цей процес каталізує фермент глюкокіназа (гексокіназа).



2. Утворений глюкозо-6-фосфат піддається ізомеризації під дією ферменту глюкозо-фосфат-ізомерази у фруктозо-6-фосфат:



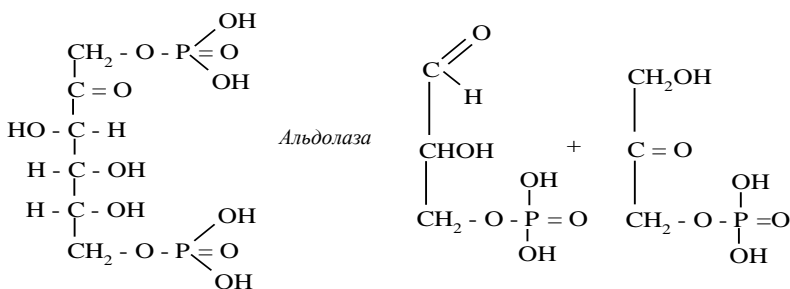
3. Утворений фруктозо-6-фосфат далі фосфорилується за рахунок АТФ з участю ферменту фосфотруктокінази, утворюється фруктозо-1,6-дифосфат:



Фруктозо-6-фосфат

Фруктозо-1,6-дифосфат

4. На наступній стадії фруктозо-1,6-дифосфат розпадається на дві молекули фосфотріоз: фосфогліцериновий альдегід і фосфодиоксиацетон за участю ферменту альдолази:

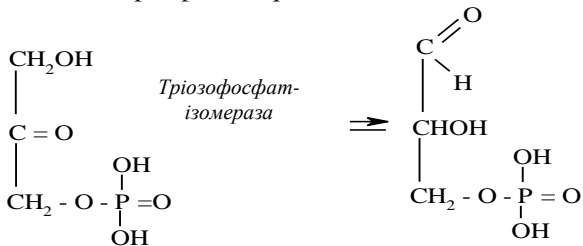


Фруктозо-1,6-дифосфат альдегід

3-Фосфогліцериновий диоксиацетон

3-Фосфо-

5. Далі частина диоксиацетонфосфату, що утворилася, перетворюється на 3-фосфогліцериновий альдегід:



3-Фосфодиоксиацетонфосфат

3-Фосфогліцериновий альдегід

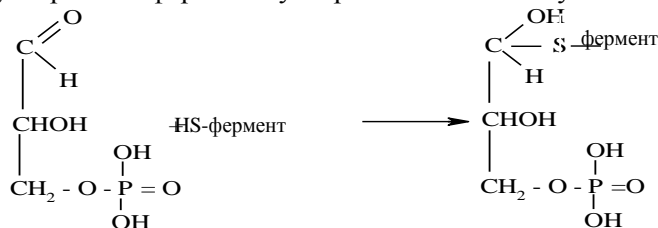
Отже, з кожної молекули глюкози утворюються дві молекули 3-фосфогліцеринового альдегіді. На цьому завершується перша

стадія спиртового бродіння, для якої характерне використання енергії АТФ. Її називають підготовчою стадією.

Далі розпочинається друга стадія, що супроводжується вивільненням енергії.

6. На наступній стадії спиртового бродіння 3-фосфогліцериновий альдегід починає перетворюватись на 3-фосфогліцеринову кислоту. Реакція проходить у кілька етапів за участю специфічної дегідрогенази та неорганічного фосфату.

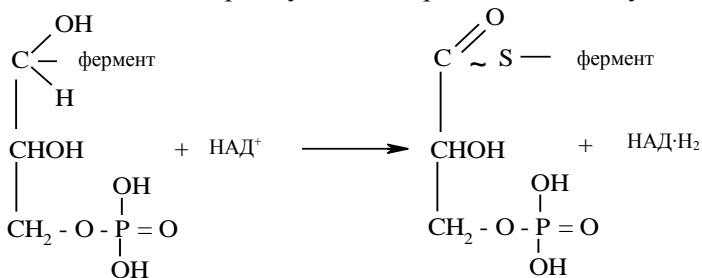
Молекула ферменту 3-фосфогліцеринальдегіддегідрогеназа складається з 4 субодиниць, кожна з яких містить 1 молекулу НАД⁺ і 4 вільних тіолових групи (SH-групи) залишків цистеїну, які входять до складу активного центра ферменту. У процесі каталітичної реакції на першому етапі 3-фосфогліцериновий альдегід зв'язується з молекулою ферменту за участю його тілової групи з утворенням фермент-субстратного комплексу:



3-Фосфогліцериновий альдегід

Фермент-субстратний комплекс

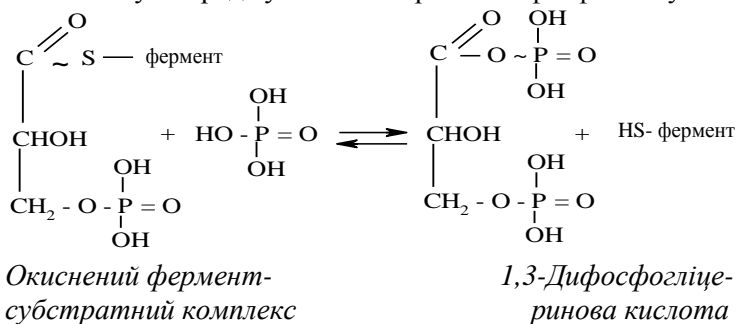
На наступному етапі при наявності неорганічного фосфату 3-фосфогліцеринальдегіддегідрогеназа за участю НАД⁺ окиснює фермент-субстратний комплекс. Енергія, що виділяється внаслідок реакції окислення, зосереджується в карбоніл-тіоловому зв'язку:



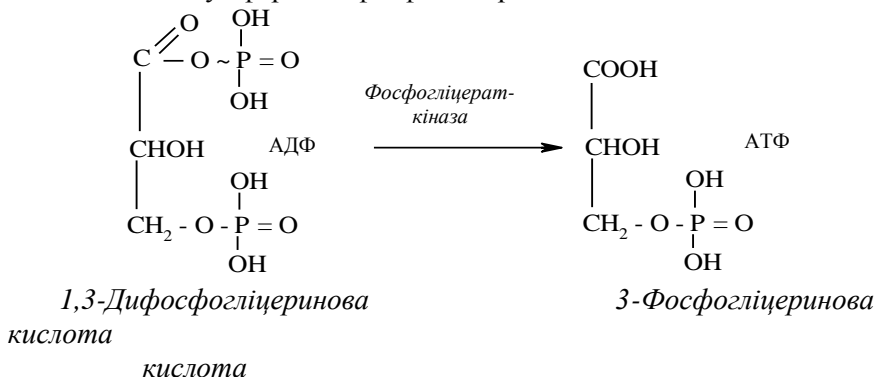
Фермент-субстратний комплекс

Окислений фермент-субстратний комплекс

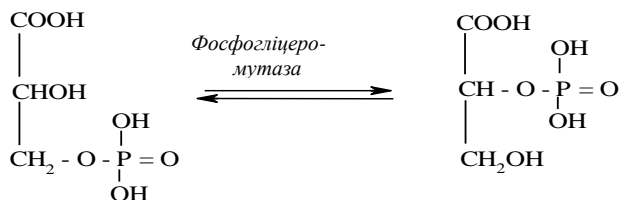
Окиснений фермент-субстратний комплекс нестійкий, він взаємодіє з фосфорною кислотою, внаслідок чого утворюється 1,3-дифосфор-гліцерина кислота. При цьому енергія карбонільного зв'язку осереджується на карбоксил-фосфатному зв'язку:



7. Наступна стадія перетворення 1,3-дифосфогліцерина кислоти — перенесення від неї залишку фосфорної кислоти і енергії, зосередженої на карбоксил-фосфатному зв'язку, на АДФ. Внаслідок реакції утворюється 3-фосфогліцерина кислота і АТФ. Реакцію каталізує фермент фосфогліцераткіназа:



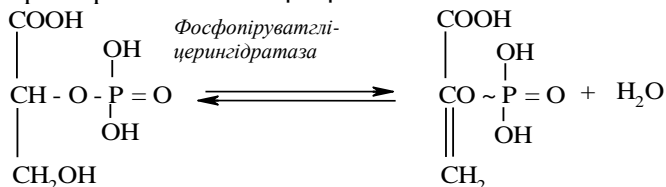
8. 3-Фосфогліцерина кислота, що утворилась, внаслідок каталітичної дії ферменту фосфогліцеромутази перетворюється на 2-фосфогліцерина кислоту:



3-Фосфогліцеринава кислота

2-Фосфогліцеринава кислота

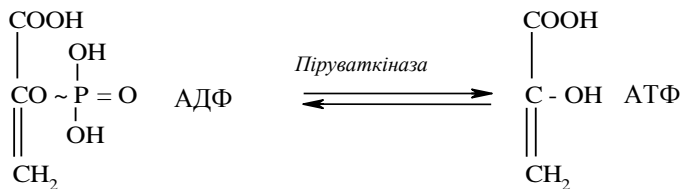
9. 2-Фосфогліцеринава кислота, втрачаючи молекулу води, під впливом ферменту фосфопіруватгідратази перетворюється на 2-фосфоенолпірвіноградну кислоту. Ця реакція важлива в зв'язку з енергетичними змінами, які відбуваються під час її перебігу. Залишок фосфорної кислоти, що входить до складу 3-фосфогліцеринавої кислоти, сполучений з останньою простим енергетично бідним ефірним зв'язком. Внаслідок енолізації відбувається перерозподіл внутрішньомолекулярної енергії і цей зв'язок перетворюється на макроергічний:



2-Фосфогліцеринава кислота

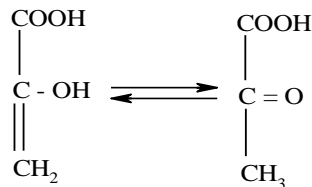
2-Фосфоенолпірвіноградна кислота

10. Далі 2-фосфоенолпірвіноградна кислота дефосфорилюється за участю АДФ, внаслідок чого енергетично багатий фосфатний залишок переходить до АДФ. Продуктом реакції є енольна форма пірвіноградної кислоти, яка спонтанно перетворюється на пірвіноградну кислоту і АТФ:



2-Фосфоенолпірвіноградна кислота

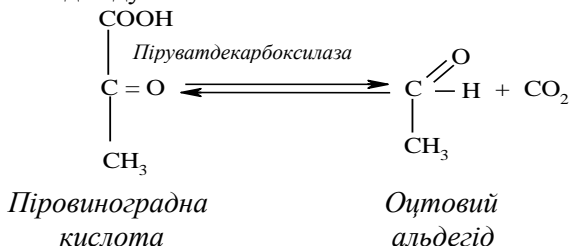
Пірвіноградна кислота (енольна форма)



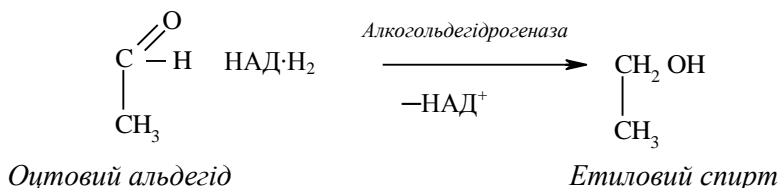
Піровиноградна кислота

Реакцію каталізує фермент піруваткіназа, яка активується іонами Mg^{2+} , Mn^{2+} або іонами лужних металів.

11. Далі піровиноградна кислота за участю ферменту піруваткарбоксилази піддається карбоксилюванню з утворенням оцтового альдегіду:



12. Утворений оцтовий альдегід далі за участю $\text{НАД}\cdot\text{Н} + \text{Н}^+$ відновлюється до кінцевого продукту спиртового бродіння – етилового спирту:

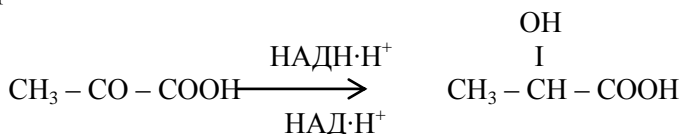


Реакцію каталізує фермент алкогольдегідрогеназа.

За наведеною вище гліколітичною схемою відбувається не лише спиртове бродіння. Подібний шлях анаеробного перетворення вуглеводів до утворення піровиноградної кислоти властивий іншим видам бродіння: пропіоновокислому, бутилгліколевому, ацетоноетилового, ацетонобутилового, маслянокислому. 3

пірвіноградної кислоти різними шляхами може утворюватися янтарна, лимонна, масляна кислота, суміш амілового, ізоамілового, бутілового спиртів, ацетон, гліцерин, оцтовий альдегід та інші сполуки.

Наприклад, гомоферментативне молочнокисле бродіння під дією *Streptococcus lactis*, *S. thermophilus*, *S. cremosis*, *Lactobacillus bulgaricum*, *L. acidophilus*. відбувається теж за гліколітичною схемою Ембдена-Мейергофа. З пірвіноградної кислоти за цих умов утворюється молочна.

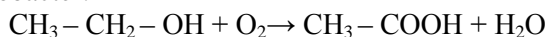


Пірвіноградна кислота

Молочна кислота

Гетероферментативне зброджування глюкози молочнокислими бактеріями (*S. diacetylactis*, *S. acetoinicus*) відбувається іншим шляхом – пентозофосфатним. При цьому бродінні крім молочної утворюється така ж кількість оцтової кислоти. Здатність молочнокислих бактерій зброджувати пентози відіграє важливе технологічне значення при бродінні житнього тіста, яке містить багато пентозанів і продуктів їхнього гідролізу.

Продукти анаеробного живлення мікроорганізмів можуть надалі окиснюватися з утворенням нових речовин. Прикладом є окиснення етилового спирту в оцтову кислоту і воду з участю *Acetobacter*.



Етиловий спирт *Оцтова кислота*

На цьому процесі базується виробництво харчової оцтової кислоти.

2.7. Функції вуглеводів у харчових продуктах

2.7.1. Функції моно- й олігосахаридів у харчових продуктах. Гідрофільність – основна фізико-хімічна властивість вуглеводів, необхідна для харчових продуктів, яка зумовлена взаємодією ОН-груп з молекулами води, що обумовлює розчинність і сольватацію цукрів.

Для різних цукрів ця властивість є індивідуальна, у зв'язку з чим можливим є регулювання кількості адсорбованої вологи у

напівфабрикатах, при добавлянні до них глюкози, фруктози або мальтози. Це особливо важливо для заморожених кондитерських і пекарських виробів.

Таблиця 15. Абсорбція води різними цукрами

Цукри	Абсорбція води (20 °С), % при відносній волозі і часу.		
	60 %, 1год.	60 %, 9 днів	100%, 25 днів.
Глюкоза	0,07	0,07	14,5
Фруктоза	0,28	0,63	73,4
Цукроза	0,04	0,03	18,4
Мальтоза - ангідро	0,80	7,0	18,4
Мальтоза – гідрат	5,05	5,1	---
Лактоза – ангідро	0,54	1,2	1,4
Лактоза - гідрат	5,05	5,1	---

Завдяки наявності ОН-груп вуглеводи також є добрими фіксаторами ароматичних речовин і барвників. Здатність зв'язувати леткі і нестійкі речовини краща у дисахаридів, особливо у циклодекстринів, ніж у моносахаридів. Циклодекстрини (ЦД), які містять 6-8 мономерів глюкози (рис) одержують з крохмалю ферментативним шляхом, використовуючи для цього амілазу для гідролізу крохмалю і циклоглюкантрансферазу для утворення ЦД. Їх використовують окрім харчової у багатьох галузях: косметології, фармакології, екології тощо.

Ефективними фіксаторами барвників і ароматизаторів є також полімери. Сучасні технології використовують мікрокапсули з суміші гумміарабіку і желатини.

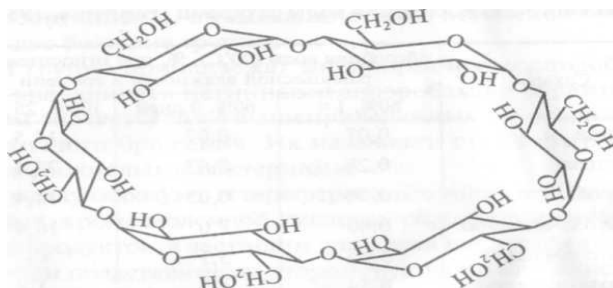


Рис.6. Будова циклодекстринів

Моносахариди беруть участь у реакції меланоїдиноутворення, яка забезпечує колір, смак і запах харчових продуктів, завдяки утворенню багатьох компонентів: імідазолів, піразинів, фуранонів, лактонів, ефірів та ін. Мальтол та ізомальтол мають карамельний аромат і солодкий смак, у останнього він у 6 разів сильніший. При взаємодії D-глюкози з амінокислотами при 100°C може виникати карамельний аромат, якщо амінокислота – гліцин, аромат житнього хліба, якщо валін, шоколаду – глутамін, смаженої картоплі – метіонін, смаженого м'яса – сірковмісні цистин і цистеїн.

Утворення ароматичних сполук залежить від температури. Наприклад, при взаємодії глюкози з валіном при 100°C утворюється запах житнього хліба, а при 180°C – шоколаду; з проліном при 100°C утворюється запах смаженого білка, а при 180°C – печених виробів; з гістидином при 100°C немає аромату, а при 180°C утворюється запах горілого цукру.

Солодкий смак вуглеводів тонізує нервову систему. Співвідношення солодкого смаку вуглеводів і штучних підсолоджувачів представлена у таблиці 16.

Таблиця 16. Відносний солодкий смак вуглеводів і штучних підсолоджувачів (у% до цукрози)

Цукроза	100	α -D-лактоза	16
β -D-фруктоза	180	β -D-лактоза	32
α -D-глюкоза	74	Ксилол	40
β -D-глюкоза	82	Сорбіт	63
α -D-галактоза	32	Ксиліт	90
β -D- галактоза	21	Цикламат	500
α -D-манноза	32	Аспартам	180
β -D-манноза	гірка	Сахарин	500

2.7.2. Функції полісахаридів у харчових продуктах.

Полісахариди, присутні у харчових продуктах, виконують важливу функцію – забезпечення їх якості і текстури, твердості, ламкості, густини, в'язкості, липкості, гелютворючої здатності тощо.

Ці властивості залежать від будови макромолекул, їх розміру, взаємодії між ними. Багато полісахаридів не засвоюються

організмом людини – це целюлоза, геміцелюлоза і пектинові речовини. Вони важливі як харчові волокна, виконують санітарно-гігієнічну функцію.

Погана розчинність полісахаридів пов'язана з обмеженим доступом води і відповідно ферментів травної системи до їхніх молекул. Лінійні розтягнуті молекули целюлози тісно прилягають одна до одної, зв'язуються між собою водневими зв'язками, утворюючи кристалічну структуру.

Найважливіше функціональне значення у харчових технологіях має крохмаль, який переважно виконує роль загусника. Крохмаль широко використовується для приготування киселів, пудингів, кремів, концентратів супів, соусів, приправ, майонезів. Один з компонентів крохмалю – амілоза – використовується для харчових оболонок.

Крохмаль складається з амілози (13-30%) і амілопектину (70-85%), співвідношення яких у крохмалях з різної сировини різне. Вони містяться у рослинній сировині у вигляді крохмальних зерен, структура яких повністю не з'ясована. Непошкоджені крохмальні зерна нерозчинні у холодній воді, але злегка набрякають при поглинанні вологи. При підвищеній температурі і достатній кількості води зерна клейстеризуються внаслідок руйнування міжмолекулярних зв'язків і взаємодії з молекулами води.

Температура клейстеризації залежить від джерела одержання крохмалю: у кукурудзяного 62-70°C, картопляного 58-66°C, пшеничного 53-65°C, рисового 61-78°C.

Великі зерна крохмалю клейстеризуються при нижчій температурі, менші – при вищій. З часом, при високих температурах, набряклі крохмальні зерна розриваються, дезінтегрують і в'язкість клейстерів знижується.

Якщо лінійні молекули амілози в розчині гідратовані, у них за певних умов можуть виникати зони зв'язування, які з часом збільшуються, внаслідок чого утворюється осад. Цей процес дістав назву ретроградації крохмалю (клейстера). Процес витіснення води з гелю називається синерезисом, його можна спостерігати при тривалому зберіганні киселів, соусів, приготовлених з крохмалем. У більшості випадків зони взаємодії не збільшуються у розмірах, а залишаються у вигляді сегментів однієї молекули з 2-3 іншими молекулами. Утворюється трьохвимірна сітка (гель), всередині якої знаходяться молекули води.

Якщо довжина зон зв'язування достатньо велика, щоб протистояти дії температури і тиску, такі гелі називають твердими, термостабільними. Вони не руйнуються при механічних навантаженнях, підвищенні температури, яка прискорює рух молекул. Отже, силу гелів можна контролювати, впливаючи на довжину зон зв'язування молекул лінійних полісахаридів, що є важливим у харчових технологіях.

Розгалужені (амілопектин), а також заряджені (які мають групу –COOH) полісахариди не можуть формувати зони зв'язування і, відповідно, гелі. Вони утворюють в'язкі розчини. В'язкість розчину залежить від розміру молекул, їх форми і заряду, присутності сторонніх речовин. Наприклад, прості цукри, зв'язуючи воду, зменшують її кількість для взаємодії з полісахаридами. Розчини лінійних полімерів мають більшу в'язкість ніж розгалужених.

В'язкість крохмальних розчинів також залежить від ряду присутніх компонентів (цукру, білків, жирів, кислот). Вони, як правило, знижують в'язкість клейстерів, зв'язуючи доступну для клейстеризації воду, внаслідок взаємодії з крохмалем. Цукри уповільнюють кристалізацію і знижують в'язкість, перешкоджаючи формуванню водневих зв'язків крохмалю з водою. Жири можуть взаємодіяти з амілозою і навіть з довгими ланцюгами амілопектину, уповільнюють їх набрякання, підвищують температуру клейстеризації. При виробництві кондитерських виробів додавання до тіста великої кількості жиру надає розсипчастості виробам, перешкоджає набряканню і клейстеризації крохмальних зерен.

Для пшеничного тіста важливе значення має взаємодія білків з крохмалем, оскільки їй належить головна роль у формуванні структури хлібобулочних виробів, що пов'язане з утворенням клейковини, клейстеризацією крохмалю і денатурацією білка. Природа цієї взаємодії повністю не з'ясована.

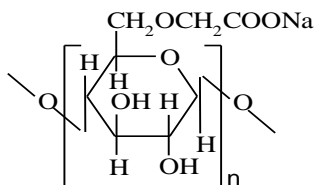
При заморожуванні продуктів харчування необхідно зважати на ретроградацію амілози під час розморожування (молекули втрачають воду, взаємодіють між собою, утворюється зерноподібна волокниста структура). Тому для таких виробів застосовується крохмаль з воскоподібної кукурудзи, який не містить амілози, або модифіковані крохмалі.

Черствіння хлібобулочних виробів теж пов'язане з асоціацією амілозних молекул, а при тривалому зберіганні й амілопектинових.

Для попередження черствіння в тісто додають жири, які утворюють комплекси з амілозою. Змочування водою і нагрівання частково відновлює аморфну структуру молекул крохмалю.

Молекули целюлози складаються з лінійно розміщених зв'язаних β -D-(1,4)-глюкопіранозних кілець. Така структура молекул зумовлює наявність аморфних і щільно укладених кристалічних ділянок. Кислотний гідроліз саме аморфних частин целюлози застосовують для одержання низькокалорійної їжі з наповнювачами, які не засвоюються організмом.

Обробкою целюлози натрій гідроксидом і хлороцтовою кислотою одержують натрієву сіль карбоксиметилцелюлози (Na-КМЦ), яку застосовують для приготування загусників на целюлозній основі.



Завдяки нетоксичності Na-КМЦ широко використовується за кордоном як загусник у начинках, пудингах, м'яких сирах, фруктових желе. Її здатність утримувати вологу застосовують у виробництві морозива, кондитерських виробів, заморожених десертів, де вона уповільнює кристалізацію при зберіганні продуктів. Натрієва сіль карбоксиметилцелюлози сприяє стабілізації емульсії в соусах і заправках, збереженню CO_2 у низькокалорійних напоях. У харчових технологіях застосовують також інші похідні целюлози.

Метилцелюлозу з різним ступенем заміщення (СЗ) одержують дією метилхлориду (CH_3Cl) на целюлозу в лужному середовищі. Регулюючи умови проведення реакції, одержують продукт з різною розчинністю і здатністю до набрякання. Вона не засвоюється організмом і може виконувати водоутримуючу, структуроутворюючу функції, роль інгібітора синерезису у заморожених продуктах, стабілізатора у соусах, наповнювача, їстівної оболонки продуктів.

Клітинна стінка рослин складається з лігніну, целюлози і геміцелюлози. Остання (ксилан – у харчових продуктах) – це полімер, що складається з β -D-(1,4)-ксиланопіранозних ланок з β -L-

арабінозофуранозними боковими ланцюгами біля третього атому карбону деяких D-кілозних циклів.

У випечених виробих геміцелюлоза зв'язує вологу, бере участь у формуванні клейковини, гальмує процес черствіння. Як целюлоза і пектинові речовини вона належить до харчових волокон, які корисні для перистальтики кишківника, видаляють з нього жовчні кислоти і різні токсини, знижують рівень холестерину в крові.

Пектинові речовини містяться у фруктах і овочах, виконують структурну функцію, регулюють водний обмін рослин. Назва походить від грецького слова «пектос» – застиглий, желеподібний. Завдяки таким властивостям пектин широко застосовується у кондитерській промисловості, для приготування джемів, желе, а також у лікувально-профілактичному харчуванні.

Нормальні пектини (ступінь етерифікації 50%) утворюють гелі при концентрації 1%. Гелеутворенню таких високоетерифікованих декстринів сприяє цукор, який зумовлює дегідратацію пектинових молекул і їх зближення; низькі значення рН, які пригнічують дисоціацію карбоксильних груп, цим самим зменшуючи відштовхування молекул. Молекули наближаються між собою, асоціюють, та утворюють трьохвимірну сітку.

Низькоетерифіковані пектини можуть утворювати гелі без цукру, але у присутності йонів Ca^{2+} , які формують кальцієві містки між молекулами. При передозуванні кальцію може утворюватись осад пектинату кальцію. Гелі з низьким вмістом цукру використовують в низькокалорійних дієтичних джемах і желе.

Модифіковані крохмалі виробляють і застосовують, щоб змінити властивості і якість харчових продуктів.

Попередньо клейстеризований крохмаль застосовують як загусник у продуктах, які не потребують нагрівання. Його одержують розпилювальним сушінням крохмального клейстера або пропусканням його між двома циліндрами, які обертаються, нагріваються паром і крохмаль висихає на них у вигляді плівки.

Кислотний гідроліз крохмалю при температурі нижчій за температуру клейстеризації відбувається переважно в аморфних зонах амілопектину, залишаючи кристалічні зерна неушкодженими.

Крохмаль модифікований кислотою одержують дією на суспензію хлоридною або сульфатною кислотою при $t = 25-55^{\circ}C$ протягом 6-24 годин. Температура і термін дії кислоти визначається необхідними показниками в'язкості крохмалю. Для цього крохмалю

характерні гарячі концентровані клейстери, з підвищеною температурою клейстерезації. При охолодженні вони утворюють гель, їх застосовують для виробництва цукерок з желе.

Етерифіковані крохмалі. Приєднання до ОН-груп різних речовин надає крохмалю із різним СЗ інших властивостей. СЗ крохмалю може бути від 0 до 3, оскільки його мономерна ланка містить три вільні гідроксильні групи. Приєднання до них груп гідроксиетилену з низьким СЗ (~0,1) прискорює набухання зерен крохмалю, зменшує здатність до утворення гелю, знижує температуру клейстеризації. Застосовують такі крохмалі як загусники в салатних заправках, фаршах тощо.

Ацетати крохмалю одержують обробкою крохмалю ацетангідридом при $t=25^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=7-11$, (СЗ~0,5). Такі розчини дуже стабільні, оскільки наявність ацетильних груп перешкоджає взаємодії молекул крохмалю між собою. У результаті знижується температура клейстеризації, та здатність до ретроградації, утворюються прозорі клейстери. Використовують такі ацетатні крохмалі у заморожених продуктах, випечених виробках.

Монофосфатні ефіри крохмалю (СЗ ~ 0,07-0,25) одержують дією кислих солей орто-, піро- або триполіфосфату при температурі близько $50-60^{\circ}\text{C}$ протягом однієї години. Властивості таких крохмалів схожі з ацетатним і картопляним крохмалем, який, на відміну від інших, теж містить фосфатні групи. Застосовують як загусник у заморожених продуктах, морозиві, десертних порошкових продуктах.

У поперечно зшитих молекулах крохмалю фосфат етерифікується з двома гідроксогрупами сусідніх ланцюгів крохмалю. Такий крохмаль стабільний і стійкий до високих температур, низьких значень рН, механічної дії, заморожування і танення, зберігання і ретроградації. Поперечно зшиті крохмалі одержують при взаємодії їх з іншими поліфункціональними сполуками (триметафосфатом, змішаними ангідридами оцтової і дикарбонових кислот та ін.). Застосовують їх у дитячому харчуванні, салатних заправках, фруктових начинках, кремах.

Окиснені крохмалі одержують дією окисників (NaClO , KMnO_4 , KBrO_3) при температурах, нижчих від температури клейстеризації. Утворюються карбонільні, а потім карбоксильні групи в результаті окиснення ОН-груп, при розщепленні глікозидних зв'язків. Зазвичай окиснений крохмаль містить одну карбоксильну групу на 25-30

глікозидних одиниць. Окиснені крохмалі використовуються як негусті наповнювачі у майонезах, салатних заправках, у виробництві желейних цукерок. При додаванні їх у хлібобулочні вироби, підвищується пористість і уповільнюється черствіння цих продуктів.

Отже, вуглеводи мають велике значення у харчуванні не лише як основний енергетичний і санітарно-гігієнічний ресурс. Вони вносять значний внесок у органолептичне оцінювання страв і виробів, текстуру (в'язкість, кристалізацію, гелютворення, стабільність), колір і аромат харчових продуктів.

Вуглеводи є основною сировинною базою для фізико-хімічних, біохімічних, мікробіологічних процесів, для одержання різних за властивостями і призначенням харчових продуктів.

2.8. Методи визначення вуглеводів

Для визначення моно- та олігосахаридів використовують їхню відновлюючу здатність. Із харчових продуктів вуглеводи вилучають 80% спиртом. Екстракти упарюють під вакуумом, розбавляють і фільтрують. При аналізі продуктів багатих білками і фенольними сполуками фільтрат додатково обробляють нейтральним розчином ацетату свинцю. Осад відфільтровують, а у фільтраті визначають цукри з використанням гексаціаноферату (III) калію, розчину Фелінга або йодометрично. Для визначення сахарози (разом з редукуючими цукрами) її необхідно попередньо гідролізувати.

Якісний і кількісний аналіз окремих цукрів проводять методами газорідної, іонообмінної хроматографії.

Для визначення крохмалю харчові продукти звільняють від моно- та олігосахаридів екстракцією 80% етанолом. Вивільнення крохмалю з продукта проводять розчиненням спочатку в холодній, а потім у гарячій воді і звільняються від білків обробкою розчинів ацетатом цинку, гексаціанофератом (III) калію або іншими сполуками. Визначення крохмалю проводять після його ферментативного або кислотного гідролізу до глюкози. Для розрахунків використовують відповідні коефіцієнти. Можна використовувати метод поляриметрії, спектрофотометрії, вимірюючи інтенсивність забарвлення йод-крохмального комплексу.

Вуглеводи, що не засвоюються, визначають гравіметрично.

Спочатку розчиняють крохмаль і білки з участю ферментів (α -амілаза, пепсин, панкреатин), нерозчинні харчові волокна осаджують спиртом, фільтрують, осад зважують.

Пектини екстрагують холодною водою з подальшим кип'ятінням (протопектин – кип'ятять з HCl після звільнення від пектину і крохмалю). Для осадження використовують хлорид кальцію. Окрім зважування можна визначати в осаді вміст кальцію (комплекс з трилоном Б) і за цими даними розрахувати вміст пектину.

Геміцелюлозу визначають після видалення пектину шляхом визначення редуруючих цукрів, одержаних при кислотному, або лужному гідролізі. Клітковину визначають зважуванням негідролізованого залишку.

Розділ 3. ЛІПІДИ

3.1. Загальна характеристика і класифікація ліпідів

Ліпіди (від грец. *lipos* – жир) досить широко розповсюджені в природі. Вони об'єднують велику групу різних за хімічною природою органічних речовин, які мають деякі спільні фізико-хімічні властивості. Однією з таких властивостей ліпідів є нерозчинність їх у воді і здатність добре розчинятися в органічних розчинниках – спирті, ефірі, хлороформі, ацетоні, бензолі та деяких інших. Вони, разом з білками і вуглеводами становлять основну масу органічних речовин всіх живих організмів.

Ліпіди в організмі виконують цілий комплекс важливих функцій. Вони є постійними компонентами структури клітин різних органів і тканин. Захищають внутрішні органи від механічних пошкоджень, є добрим термоізолятором, важливим джерелом енергії для організму та субстратом для синтезу цілого ряду біологічно активних сполук.

В організмі є два види жирів – резервний і конституційний (протоплазматичний). Вміст першого в організмі становить 10-15% маси тіла, а при ожирінні може коливатись в межах 30-50%. Щодо конституційного жиру, то вміст його в організмі змінюється в досить вузьких межах.

Ліпіди широко представлені і в рослинному світі. У рослинах ліпіди накопичуються переважно в насінні та плодах. Вегетативні частини рослин містять близько 5% ліпідів.

Жири широко використовуються при виробництві продуктів харчування, є важливим компонентом харчової сировини, напівфабрикатів і готових харчових продуктів, визначають їх харчову, біологічну цінність і смакові якості. Ліпіди потрапляють до організму з їжею разом з білками, вуглеводами та іншими речовинами. Потреба в жирах для організму людини залежить від характеру її трудової діяльності (табл.17).

Для забезпечення збалансованості харчового раціону необхідно також підтримувати належне співвідношення між білками, ліпідами і вуглеводами (1:1:4). Обмеженість жирів у харчуванні призводить до порушення діяльності центральної нервової системи, зниження імунітету, скорочення терміну життя.

Таблиця 17. Добова потреба організму людини в жирах залежно від характеру трудової діяльності

Вид діяльності	Жир	
	Тваринний жир	Рослинний жир
Розумова праця		
чоловіки	87	26
жінки	73	25
Легка фізична праця		
чоловіки	106	36
жінки	90	27
Важка фізична праця		
Чоловіки	143	43

Надмірне споживання призводить до ожиріння, серцево-судинних захворювань, швидкого старіння.

Також досить важливим для організму є співвідношення у продуктах харчування між жирами тваринного і рослинного походження та між вмістом окремих груп ліпідів – фосфоліпідів, ненасичених жирних кислот і стеринів та стеридів.

Вміст жирних кислот у харчовому раціоні повинен бути збалансованим: 10-20% - поліненасичених, 50-60% - мононенасичених і 30% насичених жирних кислот. Це співвідношення забезпечується при використанні 1/3 рослинних і 2/3 тваринних жирів. Для людей похилого віку і хворих на серцево-судинні захворювання вміст лінолевої кислоти у харчовому раціоні повинен бути близько 40%, а співвідношення ненасичених і насичених жирних кислот 2:1.

Вважають, що доросла людина залежно від умов зовнішнього середовища і виду трудової діяльності щодобово повинна одержувати 8-10 г фосфоліпідів, 8-15 г ненасичених жирних кислот і 0,3-0,5 г холестерину.

Важливим джерелом жиру у харчуванні є рослинні олії. У рафінованій олії міститься 99,8 % жиру, у вершковому маслі - 62 – 82%, спредах, маргаринах, комбінованих жирах, молочних продуктах - 3,5 – 30%, у шоколаді - 35 – 40%, печиві - 10 -11%, сирах 25 – 50%, свинині, ковбасі - 10 – 25%, у вівсяній крупі - 6%.

У рослинах ліпіди запасаються переважно у насінні і плодах. У таблиці 18 наведено вміст ліпідів у різних культурах.

У тварин і риб ліпіди концентруються в підшкірній,

мозковій і нервовій тканинах. Вміст ліпідів у жирних видах риби досягає 20-25% , у наземних тварин близько 33% у свинині, баранині, 10 % у яловичині. У молоці оленя 17-18% , кози - 5% , корови - 3,5-4,0 % жирів.

Таблиця 18. Вміст ліпідів у рослинній сировині (у %)

Культура	Вміст ліпідів	Культура	Вміст ліпідів
Кокосова пальма	65-72	Коноплі (сім'янка)	32-38
Тунг (ядро плоду)	48-66	Кедр (ядро горіха)	26-28
Арахіс (ядро)	50-61	Кукурудза	32-37
Какао (боби)	49-57	Бавовна (сім'янка)	20-29
Ріпак (сім'янка)	45-48	Кавун (сім'янка)	14-45
Маслини (м'якоть)	28-50	Овес(зернівка)	7,2
Рицина (сім'янка)	35-59	Кукурудза (зернівка)	5,6
Гірчиця (сім'янка)	25-49	Просо (зернівка)	4,5
Льон (сім'янка)	30-48	Гречка	3,8
Соняшник	47-52	Пшениця (зернівка)	2,7

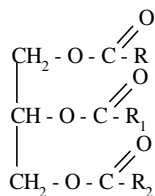
За хімічним складом та фізико-хімічними властивостями ліпіди поділяють на три групи: прості, складні і похідні ліпідів. До простих ліпідів відносять ліпіди, які побудовані з залишків спиртів і вищих жирних кислот. Найпоширенішими з цієї групи ліпідів є нейтральні жири (гліцериди), стериди і воски.

Група складних ліпідів характеризується наявністю в їхній молекулі крім спиртів і вищих жирних кислот, фосфатної або сульфатної кислоти, азотистих речовин, вуглеводів та деяких інших компонентів. Основними представниками цієї групи ліпідів є фосфоліпіди, гліколіпіди.

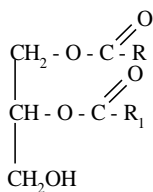
До групи похідних ліпідів відносять каротини та інші жиророзчинні пігменти, жиророзчинні вітаміни, жирні кислоти, вищі спирти, ізопреноїди та ін.

3.2. Прості ліпіди. Вищі жирні кислоти

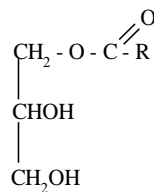
Ацилгліцериди (гліцериди, нейтральні жири). Це найбільш важлива і розповсюджена група простих ліпідів. Вони являють собою складні ефіри гліцерину і вищих жирних кислот. їх ще часто називають просто жирами, або оліями. До складу природних жирів входять триацилгліцериди, дیاцилгліцериди, моноацилгліцериди.



Триацилгліцерид



Диацилгліцерид



Моноацилгліцерид

Чисті ацилгліцериди – речовини без кольору, без смаку і запаху. Забарвлення, запах і смак природних жирів визначаються наявністю в них специфічних домішок, супутніх речовин характерних для кожного виду жиру.

Молекули триацилгліцеринів у кристалах можуть мати різну просторову конфігурацію (рис.7). Це форма виделки (1), крісла (2), стержня (3), вони обумовлюють різну температуру плавлення і загушення жиру.

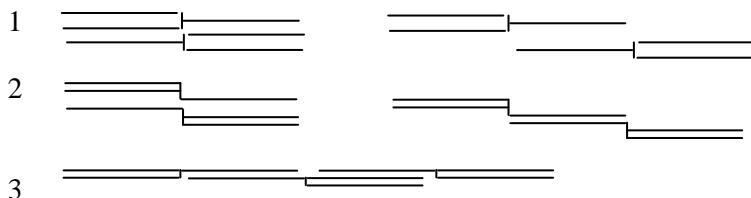


Рис.7. Можливі конфігурації і розташування молекул триацилгліцеринів у кристалах

Вищі жирні кислоти. Вони представлені в жирах головним чином насиченими і ненасиченими ациклічними карбоновими кислотами. В окремих випадках, в складі жирів зустрічаються циклічні карбонові кислоти та оксикислоти. Більшість карбонових кислот, що входить до складу жирів мають парне число вуглецевих атомів.

Насичені жирні кислоти:

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_2 - \text{COOH}$ – масляна кислота

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_4 - \text{COOH}$ – капронова кислота

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_6 - \text{COOH}$ – каприлова кислота

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_8 - \text{COOH}$ – капринова кислота

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{10} - \text{COOH}$ – лауринова кислота

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{12} - \text{COOH}$ – міристинова кислота

$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{14} - \text{COOH}$ – пальмітинова кислота
 $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{16} - \text{COOH}$ – стеаринова кислота
 $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{18} - \text{COOH}$ – арахінова кислота
 $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{20} - \text{COOH}$ – бегенова кислота
 $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{22} - \text{COOH}$ – лігноцерінова кислота

Ненасичені жирні кислоти

$\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH} - \text{COOH}$ – кротонова
 $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_5 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{COOH}$ – пальмітинова
 $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{COOH}$ – олеїнова
 $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_{11} - \text{COOH}$ – ерукова
 $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_7 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_{13} - \text{COOH}$ – нервонова
 $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_4 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{COOH}$ – лінолева
 $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_7 - \text{COOH}$ – ліноленова
 $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_4 - (\text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2)_3 - \text{CH} = \text{CH} - (\text{CH}_2)_3 - \text{COOH}$ – арахідонова

Жирні кислоти відрізняються між собою температурою плавлення і здатністю розчинятися у воді й органічних розчинниках.

Збільшення числа вуглецевих атомів у молекулах насичених жирних кислот супроводжується підвищенням їх температури плавлення. Так, наприклад, температура плавлення каприлової кислоти (C_8) становить $+4-16^\circ\text{C}$, лауринової (C_{12}) $+43,5^\circ\text{C}$, а стеаринової (C_{18}) $+69,6^\circ\text{C}$. Збільшення числа подвійних зв'язків у молекулах ненасичених жирних кислот призводить до зниження їх температури плавлення. Жирні кислоти з довгим вуглецевим ланцюгом практично не розчинні у воді, їх натрієві і калієві солі утворюють у воді міцели.

Доведено, що деякі ненасичені жирні кислоти не синтезуються в організмі людини і тварин або утворюються в недостатній кількості. Тому їх називають незамінними, або есенціальними (від франц. essential - виключний), кислотами. До таких жирних кислот відносять лінолеву, ліноленову, арахідонову та деякі інші вищі ненасичені жирні кислоти. Основним джерелом поповнення ними організму людини є лляна, конопляна, кукурудзяна та соняшникова олія. Ці рослинні жири містять переважно лінолеву і ліноленову кислоти. Вершкове масло багате на арахідонову кислоту. Нестача ненасичених жирних кислот в організмі зумовлює припинення росту, викликає захворювання шкіри, яке нагадує екзему. Є дані про

те, що нестача ненасичених кислот призводить також до порушення обміну речовин, зокрема холестерину, холіну та фосфору.

До складу нейтральних жирів входять кислоти з різним числом вуглецевих атомів і різним ступенем насиченості. Жирині кислоти, значною мірою, визначають фізичні властивості жирів. Так, наприклад, якщо в складі триацилгліцеридів переважають насичені (тверді) жирині кислоти, то такі жири матимуть тверду консистенцію і високу температуру плавлення. Якщо в складі триацилгліцеридів переважатимуть ненасичені жирині кислоти, вони матимуть низьку температуру плавлення і перебуватимуть у рідкому стані.

Вміст у жирах ненасичених жириних кислот можна визначити за допомогою йодного числа, а середню молекулярну масу жириних кислот, що входять до складу жиру – за допомогою числа омилення. З підвищенням у жирах кількості ненасичених жириних кислот значення йодного числа збільшуватиметься..

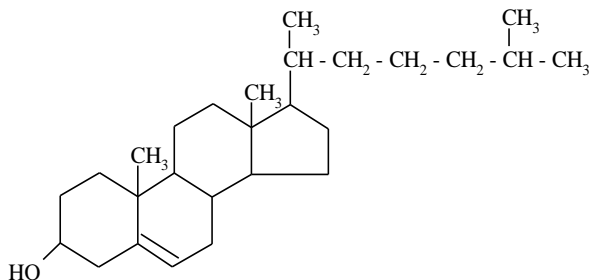
Таблиця 18. Фізико-хімічні властивості деяких жирів

Жир	Йодне число, %	Число омилення, мг КОН/г	Температура плавлення, °С
Жир людини	64		15-17
Вершкове масло	30-50 50-70	191-193 190-200	19-24 34-46
Свинячий жир	38-46	192-200	30-38
Яловичий жир	31-36	192-198	32-45
Баранячий жир	38-46	191-193	31-38
Яловичий жир	119-136	186-194	14-16
Соняшникова олія	120-140 150	191-193 191-193	-18
Соєва олія	94-103	167-181	0-10
Конопляна олія	175-190	191-195	18-27
Ріпакова	72-89	185-200	0-6
Льняна	52-58	196-200	31-41
Оливкова			
Пальмова			

Стерини. Це аліциклічні сполуки, які належать до групи стероїдів. Вони являють собою одноатомні спирти (стероли), або їх ефіри (стериди). Розрізняють зоостерини, які виділяють із тварин;

фітостерини – із рослин, мікостерини – із грибів. Типовими представниками рослинних стеролів, які містяться в сирому жирі, є брасікастерин, стігмастерин, кампестирин, β -сітостерин. У сирому жирі вони зустрічаються у вигляді ефірів пальмітинової, олеїнової, лінолевої, ліноленової кислот.

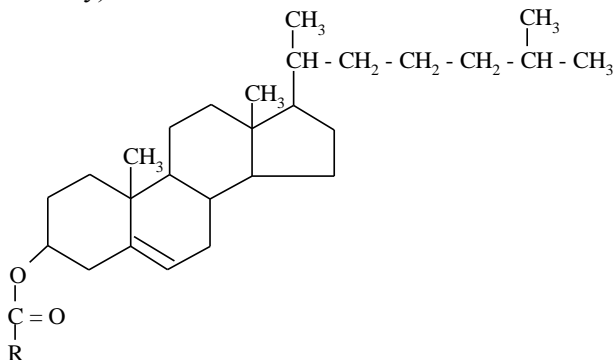
Основним представником тваринних стеринів є холестерин, який є ненасиченим одноатомним циклічним спиртом:



Холестерин

На зовнішній вигляд – це біла кристалічна речовина, яка розчиняється лише у органічних розчинниках. Із жирними кислотами холестерин утворює складні ефіри – холестериди:

Із вищих жирних кислот, виявлених у складі стеридів, є переважно пальмітинова, стеаринова та олеїнова кислоти. В організмах людини і тварин кількість холестерину, яка етерифікована жирними кислотами, коливається в межах 10-20%. Більша частина холестерину в організмі існує у вільному (неетерифікованому) стані.



Холестерид (ефір холестерину)

Холестерин в організмі людини і тварин має двояке походження. Частина його надходить до організму з їжею, а частина синтезується.

Стерини є основою для утворення в організмі біологічно активних сполук – жовчних кислот, статевих гормонів, гормонів кори надниркових залоз та вітамінів групи D.

При надлишковому вживанні тваринних жирів і підвищеному вмісті холестерину в крові виникає небезпека розвитку атеросклерозу. Найбільше холестерину міститься в яйцях і субпродуктах (0,57%), у вершковому маслі 0,2-0,3%, в сирах 0,28-0,61%.

Воски. Це складні ефіри вищих одноатомних спиртів (18-30 атомів С) і вищих жирних кислот ($C_{18}^{\circ}-C_{30}^{\circ}$). За фізико-хімічними властивостями воски близькі до жирів. Вони більш стійкі проти дії світла, окиснювачів, нагрівання, важче піддаються гідролізу.

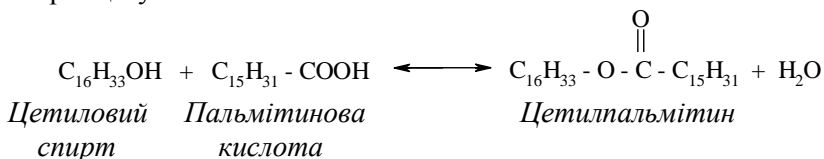
Природні воски, крім складних ефірів, містять у своєму складі певну кількість вільних вищих спиртів і вищих жирних кислот, а також незначну кількість вуглеводів, барвників та ароматичних речовин. Загальна кількість цих домішок може досягати 50%.

Розрізняють воски тваринного і рослинного походження. До першої групи відносять ланолін, спермацет і бджолиний віск. Представником рослинних восків може бути проїїн, карнаубський віск. Рослинні воски відіграють важливу захисну роль, покриваючи листя і плоди тонким шаром.

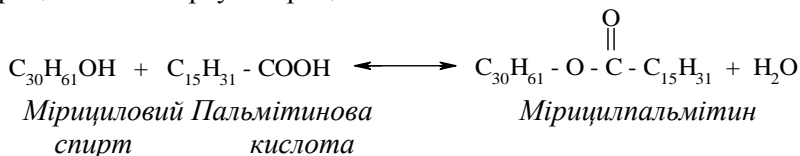
Ланолін – віск, виділений з овечої вовни. Він є сумішшю ефірів жирних кислот (пальмітинової, стеаринової, ліноленої та ін.) і вищих спиртів (цетилового, карнаубового та ін.). Це в'язка маса сіро-жовтого кольору.

Ланолін досить стійкий проти дії кислот, лугів, окиснювачів і є основою для виготовлення різних кремів і мазей.

Спермацет добувають із спермацетового масла, яке є в мозку кашалота. Складний ефір цетилового спирту і пальмітинової кислоти – цетилпальмітин – є основною складовою частиною спермацету:



Бджолиний віск. Виробляється восковими залозами бджіл. Його основу становлять складний ефір пальмітинової кислоти і мірицилового спирту – мірицилпальмітин:



До складу бджолиного воску входять також вільні вищі жирні кислоти, насичені вуглеводні та деякі інші речовини.

Ліпіди, одержані з покривних тканин олійних плодів і насіння відрізняються підвищеним вмістом восків. Присутність їх в оліях небажана насамперед із-за високої температури плавлення (70-81°C). Кристали восків в олії утворюють тонку і стійку суспензію (осад), який погіршує товарний вигляд продукту. Навіть гідратація, лужна рафінація і відбілювання повністю не знищують воски.

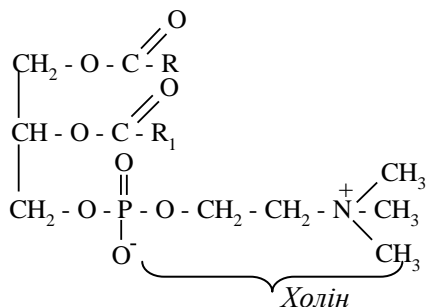
3.3. Складні ліпіди

Складні ліпіди мають дуже важливе значення в життєдіяльності організму. Вони беруть безпосередню участь у біохімічних процесах, побудові клітинних структур, входять до складу мембран клітин і субклітинних структур, утворюючи складні комплекси з білками і вуглеводами. У тканинах і органах складні ліпіди містяться в точно визначених кількостях, їх вміст у клітинах не змінюється навіть при голодуванні.

Складні ліпіди часто називають ліпоїдами. Вони належать до цитоплазматичних ліпідів.

Фосфоліпіди (фосфатиди). Характерною особливістю цієї групи складних ліпідів є наявність в їх молекулах залишків фосфатної кислоти. Важливими представниками фосфоліпідів є фосфатидилхоліні, фосфатидилетаноламіни, фосфатидилсерини, плазмогени, фосфатидилінозити, сфінгомієліні.

Фосфатидилхоліні (холінфосфатиди, лецитини). До складу фосфатидилхолінів входять гліцерин, два залишки молекул вищих жирних кислот, залишок фосфатної кислоти і холін:

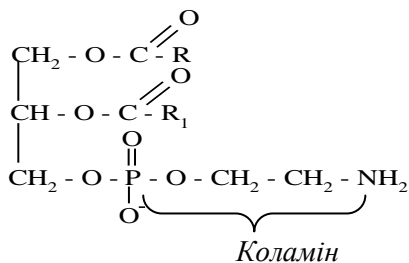


Фосфитидилхолін (лецитини)

В утворенні молекул фосфатидилхолінів беруть участь як насичені, так і ненасичені вищі жирні кислоти. В більшості випадків, до складу лецитинів входить один залишок насиченої та один залишок ненасиченої жирних кислот.

Високий вміст фосфатидилхолінів характерний для спинного і головного мозку (12-35%), жовтка курячого яйця (6-12%), легень, нирок, печінки, надниркових залоз (2-4%) й деяких інших органів.

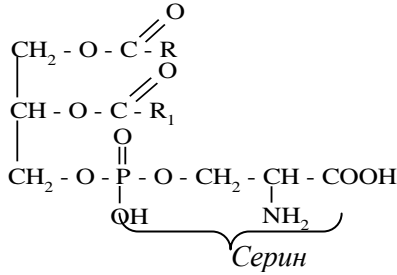
Фосфатидилетаноламіни (коламінфосфати, кефаліни). Ця група фосфоліпідів побудована за тим самим принципом, що й фосфатидилхоліни. Відмінність їх полягає у тому, що до складу фосфатидилетаноламінів замість холіну входить інша азотиста основа – коламін:



Фосфатидилетаноламін (кефаліни)

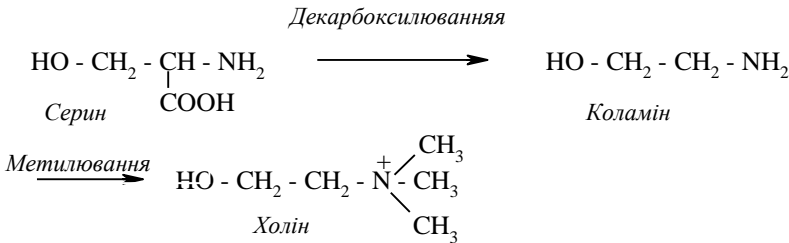
Фосфатидилетаноламіни містяться в тих самих органах і тканинах, що й лецитини. Вони досить тісно пов'язані між собою в процесі обміну і є важливими ліпідними компонентами клітинних мембран.

Фосфатидилсерини (серинфосфоліпід). У молекулах фосфатидилсеринів азотистою основою є залишок амінокислоти серину:

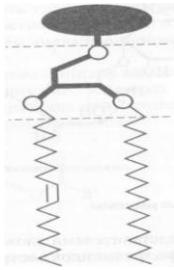


Фосфатидилсерин

Фосфатидилсерини менш поширені, ніж попередні дві групи фосфоліпідів. Вони відіграють важливу роль у синтезі фосфатидилетаноламінів. Взагалі, вважають, що між лецитинами, кефалінами і серинфосфоліпідами існує генетичний зв'язок. Ці групи фосфоліпідів відрізняються між собою лише азотистими основами і в результаті їх взаємоперетворення вони можуть переходити одна в одну: фосфатидилсерини → фосфатидилколаміни → фосфатидилхоліни. Перетворення азотистих основ фосфоліпідів можна показати такою схемою:



У результаті ферментативної і хімічної модифікації у харчовій промисловості одержують різні види окремих фосфоліпідів, зокрема, лецитинів: гідролізовані, гідроксильовані, ацильовані лецитини, з різними гідрофільно-ліпофільними характеристиками. Вони широко застосовуються у харчовій промисловості для одержання емульсій. Завдяки наявності гідрофобних (вуглеводневий радикал) і гідрофільних (залишки H_3PO_4 й азотистої основи) груп молекули фосфоліпідів входять до складу оболонки жирових шариків і забезпечують стійкість жирової емульсії молока, вершків, майонезів, соусів, кремів.



Гідрофільна головка

Гідрофобні хвости

Рис.8 .Схема структури фосфоліпідів

У жирах фосфоліпіди знаходяться у вигляді асоційованих груп молекул – міцел (рис.9), у яких гідрофільні частини утворюють внутрішній, а гідрофобні – зовнішній шар (у водному середовищі навпаки). При збільшенні їхньої концентрації, а також при добавлянні в олію води міцели збільшуються і за певних умов випадають в осад. Цю властивість фосфоліпідів використовують для видалення їх з олії.

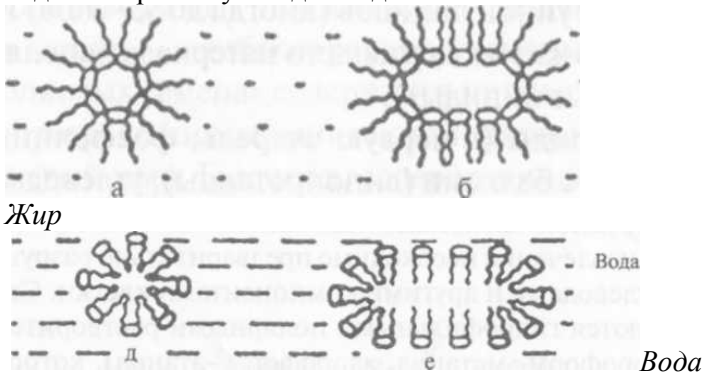


Рис.9 .Структура міцел фосфоліпідів у жировій і водній фазах

У результаті ферментативної і хімічної модифікації у промисловості одержують різні види похідних фосфоліпідів (лецитинів): гідролізовані, гідроксильовані, ацильовані лецитини, з різними гідрофільно-ліпофільними характеристиками. Вони широко застосовуються у харчовій промисловості для одержання емульсій.

До групи фосфоліпідів відносять також такі складні ліпіди, як плазмогени (ацетальфосфоліпіди), сфінгомеліни та ряд інших.

Разом з тим, група складних ліпідів включає ліпіди, які не містять фосфатної кислоти. Прикладом можуть бути гліколіпіди. Вони побудовані із залишків одноатомного ненасиченого спирту

сфінгозину, вищих жирних кислот і вуглеводного компоненту – глюкози, галактози або манози. В окремих випадках до їх складу можуть входити також глюкозамін або нейрамінова кислота.

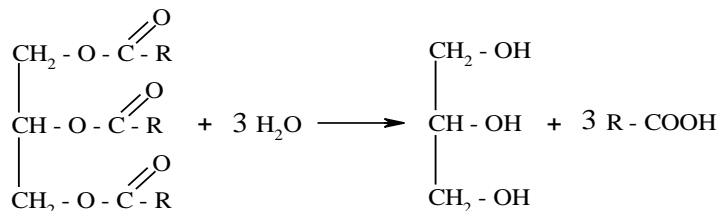
Гліколіпіди, як і фосфоліпіди містяться в усіх живих організмах. Вони беруть участь в побудові мембран, формуванні клейковини в рослин, яка визначає хлібопекарські властивості борошна.

3.4. Основні перетворення ліпідів при зберіганні та в технологічному процесі

Ліпіди є досить нестійкими компонентами харчової сировини і готових продуктів зокрема, при їх зберіганні і переробці. Це зумовлено особливостями їх будови та хімічним складом.

Для ліпідів властиві такі хімічні перетворення як гідроліз, переетерифікація, гідрування, окиснення та ряд інших.

3.4.1. Гідроліз ацилгліцеридів. Це процес розщеплення ацетилгліцеридів на гліцерин і вищі жирні кислоти. Його можна показати такою загальною схемою:



Даний процес проходить поетапно. Спочатку утворюється ди-, потім моноацилгліцериди, і лише після цього, кінцеві продукти. Процес відбувається як під дією ферменту ліпази мікроорганізмів, так і під дією лугів.

Лужний гідроліз ацилгліцеридів одержав назву омилення, оскільки в його результаті утворюються не вільні жирні кислоти, а їх солі – мила.

Гідролітичний розпад жирів і масел, ліпідів зерна і продуктів його переробки, м'яса, риби, а також іншої харчової сировини до певної міри погіршує їх якість, і в кінцевому рахунку призводить до їх псування. Особливо цей процес прискорює волога, підвищена температура, світло та ряд інших

факторів.

Наявність вищих жирних кислот не змінює органолептичні показники продукту. Лише поява таких низькомолекулярних жирних кислот як масляна, капронова, каприлова, які мають неприємний запах, специфічний смак, негативно впливає на властивості олії, особливо масла, тригліцериди якого містять багато таких кислот.

3.4.2. Переетерифікація ацилгліцеридів. Важливе практичне значення мають реакції жирів, при яких відбувається обмін жирних кислот, що призводить до утворення молекул нових ацилгліцеридів.

Триацилгліцериди при температурі 80-90°C у присутності каталізатора (натрій, калій, метилат і етилат натрію) здатні обмінюватися залишками жирних кислот – відбувається реакція переетерифікації. При цьому ацильна міграція проходить як в середині молекули ацилгліцериду (внутрішньомолекулярна переетерифікація), так і між різними молекулами ацилгліцеридів (міжмолекулярна переетерифікація).

Переетерифікація високоплавких тваринних і рослинних жирів з рідкими рослинними оліями дозволяє отримати харчові пластичні жири з високим вмістом ненасичених жирних кислот.

Такі жири застосовуються у хлібопекарській галузі, при виробництві аналогів молочного жиру, кондитерського жиру, комбінованих жирів.

3.4.3. Гідрування і гідратація ліпідів. Процес гідрування – це приєднання водню по місцю подвійних зв'язків залишків жирних кислот в молекулах ацилгліцеридів. У промисловості його проводять при температурі 180-240°C в присутності мідно-нікелевих каталізаторів і участі водню.

За даних умов проведення реакції ненасичені залишки жирних кислот рідких рослинних олій перетворюються в насичені. Продукт стає твердим, підвищується температура плавлення та стійкість до окиснення. Його часто називають саломасом.

Крім гідрування, проводять також і гідратацію олії, тобто обробку водою для видалення водорозчинних сполук. Наприклад, в

олії, одержаній з насіння соняшнику, міститься цілий ряд фракцій фосфоліпідів. Видаляють їх з олій найчастіше шляхом гідратації, в результаті якої вони взаємодіють з водою, стають нерозчинні в олії і випадають в осад.

3.4.4. Окиснення ліпідів. Жири та олії, які містять ненасичені жирні кислоти легко піддаються окисненню киснем повітря. Із збільшенням ступеня ненасиченості жирних кислот, швидкість їх окиснення зростає. За даних умов утворюються пероксиди, альдегіди, кетони, оксикислоти та інші сполуки з неприємним запахом і смаком. У результаті жир набуває прогірклого, сального смаку.

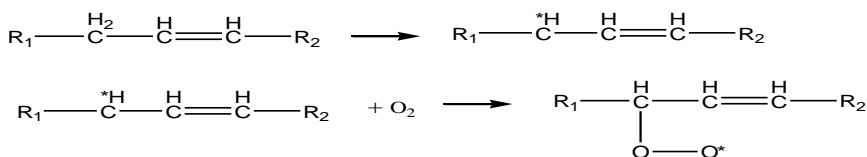
Ацилгліцериди насичених жирних кислот киснем повітря за звичайних умов майже не окиснюються. Крім того, на швидкість даного процесу впливає присутність вологи та металів змінної валентності.

Окиснення жирів починається з утворення вільних радикалів (R^*). Дані радикали утворюються під дією світла або іонізуючої радіації в результаті розриву ковалентного зв'язку між $C - C$, або $C - H$. Далі радикали взаємодіють з атомами кисню і утворюють пероксиди і гідропероксиди, тобто первинні продукти окиснення:

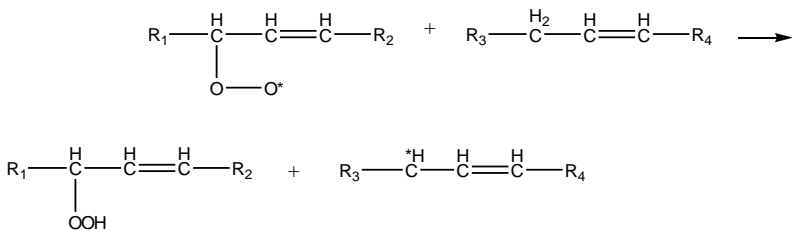


На даній стадії якість жиру та жировмісних продуктів не змінюється, або змінюються дуже мало. Вільні жирні кислоти окиснюються швидше, ніж їхні залишки у складі молекул жиру.

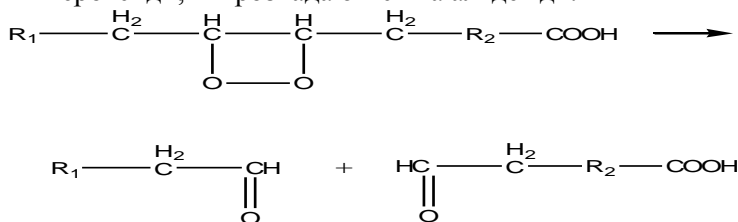
Окиснення ненасиченої жирної кислоти відбувається за схемою:



Пероксидний радикал відриває атом гідрогену від другого від подвійного зв'язка атома вуглецю ненасиченої жирної кислоти, утворюючи гідропероксид і вільний радикал, який дає початок новій ланцюговій реакції:



У процесі окиснення крім гідропероксидів можуть утворюватися циклічні пероксиди, які розпадаються на альдегіди.



Пероксиди, які утворилися при окисненні жирів, є досить нестійкими. При їх руйнуванні та подальшому перетворенні утворюються вторинні продукти окиснення: альдегіди, кетони, кислоти, зокрема масляна, оцтова та ряд інших. Саме ці сполуки зумовлюють погіршення якості жирів та зниження їх харчової цінності.

Псування жиру відбувається не лише під впливом вологи і кисню, але і біохімічним шляхом: під дією ферментів, виділених мікроорганізмами, пліснявою. Ферментативне окиснювальне прогрівання характерне для ліпідного комплексу насіння олійних культур, зернових і продуктів їх переробки (борошно, крупа), які зберігаються тривалий час. Воно протікає за участю ферментів ліпази і ліпоксигінази. Процес гідролізу й окиснення жирів може бути представлений схемою (рис.10).

Як видно з цієї схеми ліпаза і ліпоксигіназа діють кооперативно. Прогрівання настає при накопиченні альдегідів, кетонів, низькомолекулярних кислот. У цьому випадку із звільнених жирних кислот утворюються в основному гіркі метилкетони.

Осалування жиру характеризується утворенням окисполук. Це обумовлено наявністю кисню і підсилюється при дії сонячного світла. З пероксидів ненасичених жирних кислот утворюються оксикислоти, які надають присмак і специфічний запах стеарину.



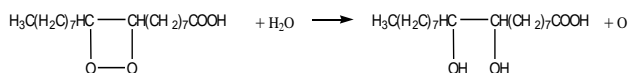
Ліпаза



Ліпоксигеназа

Рис.10. Загальна схема ферментативного псування жиру

Наприклад, при окисненні олеїнової кислоти її пероксид переходить у дигідроксистеаринову кислоту.



Крім прогіркання і осалювання жирів масло може набувати металевий, рибний, мильний запах і присмак, які надають йому леткі жирні кислоти: масляна, капронова та ін.

Якщо поверхня масла стає більш прозорою і набуває темно-жовтого забарвлення - виникає, так званий, «штафф», це обумовлено реакціями полімеризації гліцеридів ненасичених жирних кислот під дією поверхневої мікрофлори.

Псування жиру супроводжується зміною не лише ацилгліцеринів, але й супутніх речовин. Темний колір олії, отриманої із вражених пліснявою зерен, обумовлений окисненням мікотоксинів. Дуже темне забарвлення бавовняної олії обумовлено продуктами окиснення госсіполу. Фосфоліпіди гідролізуються під дією різних фосфоліпаз, їхні полярні групи взаємодіють з полярними групами білків, вуглеводів. З білками і вуглеводами взаємодіють також продукти окиснення і гідролізу жирів.

Швидкість протікання ферментативних і хімічних процесів залежить від природи, складу і властивостей жиру, вмісту у ньому плазми (водного середовища), структури жиру, наявності мікроорганізмів, металів і кисню.

Тому необхідно постійно вживати різні заходи, які запобігають

окисненню жирів і жировмісних продуктів харчового призначення.

Окиснення жирів пригнічують сполуки, які називають антиоксидантами. Суть дії антиоксидантів полягає в тому, що вони активно взаємодіють із вільними радикалами, які утворюються в процесі ланцюгової реакції, у результаті чого ланцюги окиснення обриваються і на певний період псування жирів затримується.

Антиоксидантними властивостями володіє ціла низка природних сполук – окремі вітаміни (Е, С, Р), β-каротини, фосфатиди та деякі інші. Так, наприклад, вітаміни групи Е стабілізують різні види жирів, а також сухі вершки. Властивостями антиоксидантів володіють також речовини, які виділяються з маслянистої сировини, злаків, зрілих олив та їх соку. Антиоксиданти виділяють з шкірки бобів какао, насіння соняшнику та ряду іншої сировини.

Крім природних антиоксидантів, у харчовій промисловості використовують і синтетичні сполуки, які володіють антиокисними властивостями. Застосовують антиоксиданти при зберіганні свинячого, кісткового і деяких інших тваринних жирів. У масло додають сорбінову кислоту.

Результативність дії антиоксидантів підвищується у присутності синергістів – речовин, що посилюють їх дію. До них відносять лимонну і аскорбінову кислоти, сорбіт та ряд інших сполук.

Термічна дія на жири й олії, яка супроводжується інтенсивними окиснювальними процесами приводить до підвищення їх токсичних властивостей. Дослідження показали, що число захворювань тварин, які отримували окиснену олію підвищувалося, із збільшенням в олії концентрації пероксидів.

3.5. Виділення ліпідів із сировини і харчових продуктів та їх аналіз

Вивчення ліпідів починають з визначення їх кількості в харчових продуктах. З цією метою спочатку використовують методи виділення ліпідів з об'єкту дослідження.

Вільні ліпіди з досліджуваного продукту виділяють шляхом екстрагування неполярними розчинниками – гексаном або діетиловим ефіром. Для екстракції зв'язаних ліпідів часто використовують суміш метанолу і хлороформу у відношенні 2:1.

Решта ліпідів, які залишилися (міцнозв'язані), виділяють після обробки продукту кислотою і лугом.

Далі, в ліпідних екстрактах використовуючи відповідні методи, проводять якісний і кількісний аналіз різних груп ліпідів.

Для характеристики властивостей ліпідів часто використовують такі показники, як йодне і кислотне числа.

Йодне число – важлива хімічна константа, яка показує скільки грамів йоду може приєднатися до 100 г жиру. Дане число свідчить про наявність у складі жиру ненасичених жирних кислот, тобто визначає ступінь насиченості жиру, стійкість його до окиснення, полімеризації та інших перетворень.

Важливою константою для жирів є й кислотне число. Воно показує вміст у жирі вільних жирних кислот. Виражають його у мг NaOH (KOH), затраченого на нейтралізацію вільних жирних кислот в 1 г жиру. Між величиною кислотного числа та якістю жиру існує певна залежність. Якісними вважають жири, в яких кислотне число коливається в межах 0,8-2,0.

Таблиця 19. Гранично допустимі норми кислотного числа окремих олій та жирів

Вид харчового жиру		Кислотне число, мг NaOH/г жиру
Соняшникова олія	рафінована	0,4
	нерафінована вищого сорту	1,5
	нерафінована I сорту	2,25
Соева олія	рафінована	0,3
	гідратована I сорту	1,0
Кукурудзяна олія	рафінована	0,4
	нерафінована	5,0
Топлений харчовий жир (баранячий, яловичий, свинячий)	вищого сорту	1,2
	I сорту	2,2
Збірні жири (без покажчика сорту)		3,5

Для визначення ступеня прогіркання жирів визначають

так зване пероксидне число. Це кількість грамів йоду, яка виділена із підкисленого водного розчину йодиду калію пероксидами, що містяться в 100 г жиру. За величиною даного числа можна сказати про початок окиснення жиру. Однак, кількість пероксидів не завжди характеризує глибину окиснення, так, як утворені пероксиди можуть надалі перетворюватися в альдегіди, кетони та інші сполуки, які обумовлюють прогіркання жиру.

Розділ 4. ВІТАМІНИ

4.1. Загальна характеристика вітамінів

Вітаміни – це група низькомолекулярних біологічно активних сполук різної хімічної природи, які синтезуються переважно в рослинних організмах і в невеликих кількостях потрібні для забезпечення нормальної життєдіяльності людини і тварин.

Вчення про вітаміни виникло на початку ХХ ст. на основі тривалих спостережень і досліджень причин виникнення ряду захворювань та вивчення ролі окремих факторів у забезпеченні повноцінного харчування. Дослідники стикалися з симптомами вітамінної нестачі, а під час виявлення причин авітамінозів відкривали нові вітаміни, вивчали їхні властивості і структуру.

Нині вчення про вітаміни – вітамінологія – перетворилося на галузь науки, що має важливе харчове й фізіологічне значення. Під терміном «вітаміни» об'єднано групу речовин різноманітної хімічної природи, які мають певні характерні особливості. Встановлено, що вітаміни є в основному екзогенними факторами. Ендогенний синтез деяких з них, що здійснюється мікрофлорою тонкого кишечника, не може повністю задовольнити потребу організму в вітамінах, тому потрібне постійне надходження їх з продуктами харчування.

При порушенні нормального постачання організму людини вітамінами розвиваються захворювання, що називаються авітамінозами або гіповітамінозами. При недостатці в організмі кількох вітамінів виникає захворювання – поліавітаміноз. Ці захворювання супроводжуються порушенням обміну речовин, зниженням стійкості організму до інфекційних захворювань, зменшенням витривалості до фізичних і нервових навантажень, зниженням працездатності. Крім того для авітамінозу характерні і

певні специфічні захворювання. При недостатчі вітаміну А, наприклад, виникає захворювання очей, вітаміну D - рахіт, вітаміну В₅ – пелагра, вітаміну С – цинга.

Причиною розвитку гіпо- й авітамінозів у людини і тварин можуть бути зовнішні і внутрішні фактори. До зовнішніх факторів належить недостатнє введення вітамінів в організм з продуктами харчування. До внутрішніх факторів відносять різні види захворювань, при яких підвищується потреба у вітамінах, або гальмується засвоєння відповідних вітамінів. Це захворювання органів травлення (виразка шлунку, знижена кислотність), печінки, нервової системи, інфекційні захворювання (дизентерія, червоний тиф, туберкульоз, грип та ін.). Потреба організму у вітамінах змінюється при різних умовах життя і діяльності людини. Так, при посиленні росту, важкій фізичній праці, вагітності, годуванні дитини материнським молоком потреба у вітамінах зростає.

Причиною виникнення авітамінозу може бути одноманітна їжа. Особливе значення має білкова повноцінність раціону. При зниженні в харчуванні норми білків порушується засвоєння цілого ряду вітамінів.

Забезпечення організму людини вітамінами набуває особливого значення наприкінці зими і весною, коли організм максимально використовує свої запаси вітамінів.

Але й надмірне введення вітамінів також негативно впливає на обмін речовин, зумовлює інтоксикацію організму, внаслідок чого розвивається захворювання, що називається гіпервітамінозом. Токсично впливає на організм надлишок жиророзчинних вітамінів, оскільки вони можуть нагромаджуватись у ньому. Надлишок водорозчинних вітамінів менш шкідливий, оскільки вони легше виводяться з організму.

Вітаміни нестійкі проти дії зовнішніх факторів – високої температури, іонізуючого випромінювання, рН середовища, дії кислот і лугів, що слід враховувати при зберіганні і переробці продуктів харчування.

4.2. Номенклатура та класифікація вітамінів

На даний час відомо близько 30 вітамінів і вітаміноподібних речовин, серед яких близько 20 використовуються для лікування і профілактики різних захворювань. Раніше вітаміни позначали

літерами латинського алфавіту (наприклад, А, В, С, D). Тепер, коли відомо їх хімічну будову і характер фізіологічної дії на організм, застосовують їх раціональні хімічні назви та назви, пов'язані зі специфікою їх дії на організм. Наприклад, вітамін D – антирахітичний, холекальциферол; вітамін С – антискорбутний, аскорбінова кислота; вітамін РР – антипелагричний, нікотинамід, нікотинова кислота і т. д.

У таблиці наведено групову класифікацію вітамінів та вітаміноподібних речовин з урахуванням їхньої хімічної будови та фізіологічного впливу на різні ланки метаболічних процесів.

Сучасна класифікація і номенклатура вітамінів ґрунтується на результатах хімічного аналізу, розчинності в певних розчинниках та симптомах вітамінної нестачі з урахуванням їх позначень літерами. Хімічна назва кожного вітаміну відображає їх хімічну природу і специфіку фізіологічної дії на організм. Для деяких вітамінів позначення літерами не використовують, оскільки хімічна природа їх була досить швидко встановлена і такі позначення не встигли стати загальноприйнятими.

У переважній більшості фізіологічну дію, характерну для того чи іншого вітаміну, має не одна, а кілька речовин, які відрізняються хімічною будовою і мають назву вітамерів.

Крім вітамінів, згідно з сучасною класифікацією і номенклатурою виділяють також групу вітаміноподібних речовин. Ці сполуки, або ж синтезуються в організмі в недостатній кількості, або для них характерними є не лише регуляторні, а й пластичні чи енергетичні функції.

Разом з тим вони біологічно активні і виявляють лікувальний ефект при багатьох захворюваннях.

4.3. Характеристика жиророзчинних вітамінів та їх вміст у харчових продуктах

До цієї групи вітамінів належать вітаміни, які розчиняються в органічних розчинниках – спирті, ацетоні, бензолі, а також у жирах. Вони у значній кількості нагромаджуються у тканинах організмів, створюючи своєрідні депо. Сюди належать вітаміни А, D, К, Е, F.

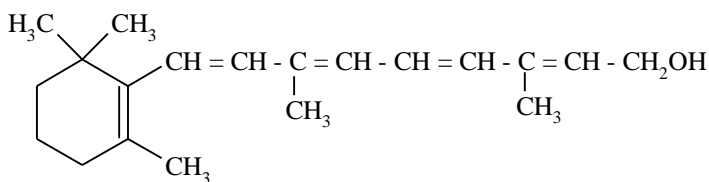
Таблиця 20. Номенклатура та класифікація вітамінів

Позначення літерами	Назва		Специфіка фізіологічної дії
	Раціональна хімічна назва	Тривіальна назва	
Жиророзчинні вітаміни			
A ₁ A ₂	Ретинол Дегідроретинол	Аксерофтол Антиксерофталмічний	Запобігають гемералопії і ксерофтальмії
D ₂ D ₃	Ергокальциферол Холекальциферол	Кальцифероли	Запобігають розвитку рахіту
E	Токофероли (α -, β -, γ -)	Антистерильний	Регулює розвиток зародків при вагітності
K	Філохінон	Антигеморагічний	Стимулює утворення протромбіну
Водорозчинні вітаміни			
C	Аскорбінова кислота	Антискорбутний фактор Вітаскорбол	Запобігає розвитку цинги
P	Біофлавоноїди	Гесперидин, Рутин, Катехін	Регулює проникність капілярів
B ₁	Тіамін	Аневрин	Запобігає розвитку поліневриту
B ₂	Рибофлавін	Вітамін росту	Запобігає арибофлавінозу
B ₃	Пантотенова кислота	Те саме	Регулює вуглеводний і білковий обмін
B ₅ (PP)	Нікотинава кислота Нікотинамід	Ніацин, Вітамін PP	Запобігає розвитку пелагри
B ₆	Піридоксин	Адермін	Регулює білковий обмін
B ₁₂	Ціанокобаламін	Кориноїди, Антианемічний фактор	Запобігає розвитку анемії
B _c	Фолієва кислота	Птеруйлглутамінова кислота	Регулює кровотворні процеси
H	Біотин	Антисебореїний фактор W Коензим R	Регулює функціональний стан нервової системи
Вітаміноподібні сполуки			
B ₄	Холін	Ліпотропний фактор	Запобігає жировій інфільтрації печінки
N	Ліпоєва кислота	6,8-тіоктова кислота	Регулює білковий і вуглеводний обмін
B ₁₃	Оротова кислота		Стимулює еритропоез
B ₁₅	Пангамова кислота		Регулює ліпідний обмін
B ₈	Мезоінозит	Інозит	Регулює стан нервової системи
H ₁	Параамінобензойна кислота	BX	Регулює пігментний обмін шкіри
U	Метилметіонін		Запобігає розвитку виразкової хвороби
F	Ненасичені жирні кислоти		Регулює численні біохімічні процеси

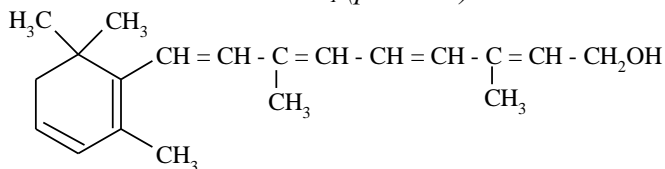
На відміну від водорозчинних вітамінів, їх не виявлено у ферментних системах. Вони входять до складу білково-ліпідних мембран клітин і клітинних органел, забезпечуючи в них важливі метаболічні процеси, які значною мірою визначають життєдіяльність організму.

Вітамін А (ретинол, антиксерофтальмічний) вперше виділений з вершкового масла. Довгий час вважали, що антиксерофтальмічну дію (запобігає розвитку захворювання очей) має лише ліпорозчинний фактор, що міститься у продуктах тваринного походження. Однак пізніше було виявлено, що подібну дію мають і речовини, виділені з рослинного матеріалу, особливо з тих продуктів, що містять червоно-жовті пігменти – каротини, або близькі до них пігменти – каротиноїди. У 1930 році було встановлено, що каротин є біологічним попередником вітаміну А, так званим провітаміном, який в організмі людини і тварин перетворюється на вітамін А.

Будова і фізико-хімічні властивості. Молекула вітаміну А складається з двох частин: β-іононового кільця і бічного ланцюга, побудованого із зв'язаних між собою ланок ізопрену, що містять подвійні зв'язки. У продуктах тваринного походження вітамін А міститься у двох формах – вітаміну А₁(ретинолу) і А₂ (дегідроретинолу). Відрізняються вони лише будовою β-іононового кільця – вітамін А₂ містить на один подвійний зв'язок більше, ніж вітамін А₁:



Вітамін А₁ (ретинол)



Вітамін А₂ (дегідроретинол)

У чистому вигляді вітамін А – блідо-жовті голчасті кристали не розчинні у воді і добре розчинні в жирах та органічних розчинниках (ефірі, бензині, ацетоні). Вітамін стійкий проти дії високої температури в безкисневому середовищі. При наявності кисню він швидко руйнується, навіть при звичайній температурі.

Біологічна дія. В організмі людини і тварин вітамін А відіграє досить важливу біологічну роль. Він необхідний для забезпечення процесів росту, розвитку організму, диференціації клітин і тканин.

При нестачі вітаміну у піддослідних тварин сповільнюється ріст, знижується жива маса, спостерігається загальна слабкість, послаблюються захисні функції організму і тварини гинуть.

Встановлено, що вітамін А необхідний для нормального функціонування епітеліальних клітин. При нестачі вітаміну шкіра і слизові оболонки втрачають вологу, стають сухими, спостерігається ороговіння епітелію, дерматити. Пошкодження слизових оболонок дихальних шляхів зумовлює виникнення бронхітів, запалення верхніх дихальних шляхів. Здатність вітаміну А запобігати виникненню інфекційних захворювань забезпечила його назву – антиінфекційний. Найбільш специфічна функція вітаміну А в організмі людини – участь його в акті зору. Він необхідний для утворення складного білка, який забезпечує адаптацію до різної інтенсивності освітлення. Тому однією з ранніх ознак А-авітамінозу є послаблення темної адаптації – зниження зору при слабкому освітленні з наступною втратою його в сутінках – «куряча сліпота». На наступному етапі авітамінозу порушується будова захисного епітелію і рогової оболонки органів зору. Спостерігається її ороговіння, висихання, втрата прозорості. Виникає захворювання, яке називається ксерофтальмією.

Поширення і потреба. Вітамін А міститься лише у продуктах тваринного походження, зокрема, печінці, ікрі, яйцях, сирах, вершковому маслі, сметані, молоці. Особливо багато його в риб'ячому жирі. Добувають вітамін А із печінки кита, тюленя, моржа, тріски, морського окуня.

В рослинах вітамін А відсутній, однак вони містять його попередники – каротини, які в організмі людини перетворюються на вітамін А. Багато каротинів міститься в овочах і фруктах, які мають велику кількість жовтих пігментів - моркві, абрикосах, хурмі та ін. Маргарин, спред, які випускаються харчовою промисловістю,

збагачуються вітаміном А.

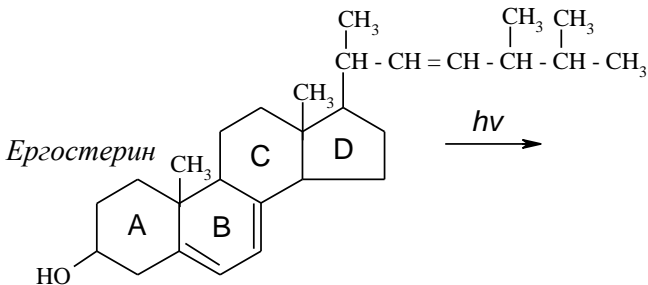
У продуктах харчування при їх зберіганні та кулінарній обробці руйнується до 30% вітаміну А. Цьому процесу сприяють ультрафіолетове випромінювання, кисень та висока температура.

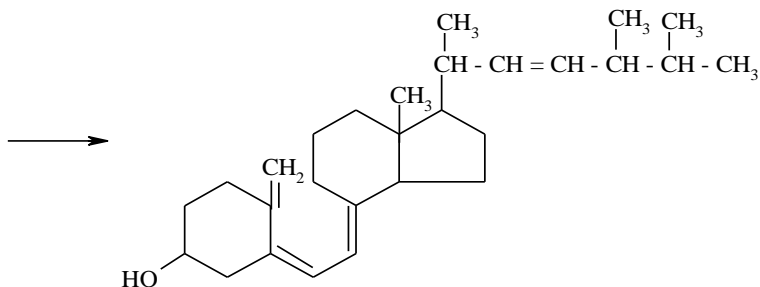
Добова потреба у вітаміні А дорослої людини становить в середньому 0,75-1,5 мг, для дітей – 0,4-1 мг, а в розрахунку на каротин зростає у два рази. Для людей, що зайняті фізичною працею, людей похилого віку, вагітних жінок, матерів, які годують немовлят, добова потреба у вітаміні А збільшується до 2-3 мг.

Вітамін D (кальциферол, антирахітичний). Відкриття вітаміну пов'язане з вивченням такого захворювання як рахіт. При дослідженні речовин, які запобігали даному захворюванню, було встановлено, що вони є похідними стеринів рослинного і тваринного походження – ергостерину та холестерину. Ергостерин і холестерин є провітамінами (попередниками) вітаміну D. Тепер відомі речовини, які мають D-вітамінні властивості – D₂, D₃, D₄, D₅, однак практичне значення як антирахітичні фактори мають лише вітамін D₂(ергокальциферол) і вітамін D₃(холекальциферол).

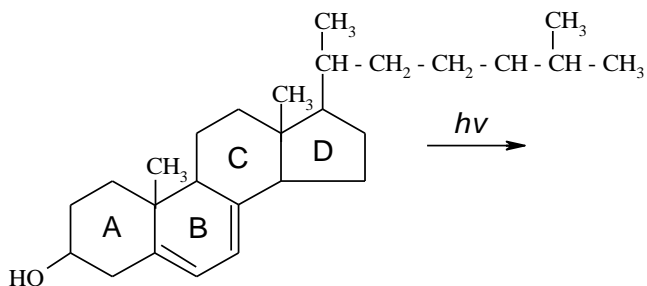
Провітаміном вітаміну D₂є ергостерин, що міститься в грибах, проростках злакових культур, яєчному жовтку. Особливо багато його у дріжджах, де він становить 99% усіх стеринів. Провітаміном вітаміну D₃ є 7-дегідрохолестерин, який міститься в підшкірній жировій тканині людини і тварин.

Будова і фізико-хімічні властивості. В основі хімічної будови кальциферолів і їх попередників лежать циклопентанпергідрофенантрен з характерними подвійними зв'язками між C₅—C₆ і C₇—C₈ і гідроксогрупою в C₃-положенні кільця А. Під дією ультрафіолетового випромінювання проходить розрив зв'язків між вуглецевими атомами кільця В, у результаті чого виникає третій подвійний зв'язок, характерний для всіх вітамінів цієї групи:

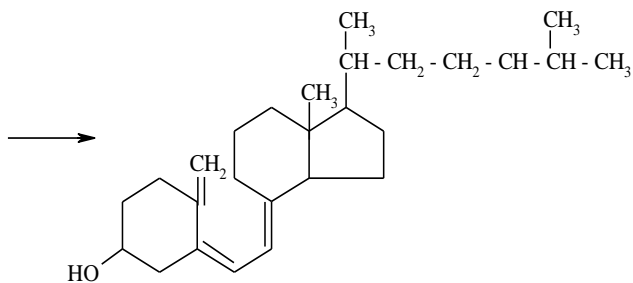




Вітамін D_2 (ергокальциферол)



7-Дегідрохолестерин



Вітамін D_3 (холекальциферол)

Перетворенням 7-дегідрохолестерину, який міститься у шкірі людини і тварин, у вітамін D_3 під дією ультрафіолетового випромінювання пояснюється позитивний вплив сонячного світла у практиці лікування та профілактики рахіту.

За властивостями кальциферолі досить схожі між собою. Це безбарвні кристалічні речовини, добре розчинні в органічних розчинниках і не розчинні у воді, стійкі проти дії високих

температур, кислот і лугів у без кисневому середовищі. При наявності кисню вони швидко руйнуються, особливо при нагріванні вище 180⁰С. Вітамін D₂ більш стійкий проти дії різних факторів, ніж D₃, хоч антирахітичні властивості в них виражені в однаковій мірі.

Біологічна дія. При недостатньому надходженні вітаміну D₃ продуктами харчування і порушенні ендогенного синтезу його при «світловому голодуванні» виникає D-авітаміноз – захворювання, що дістало назву рахіту (від грец. rachis – хребет). Ранні ознаки захворювання виявляються в міопатіях (втрата тонуусу м'язів, ослаблення їх – гіпотонія). У дітей спостерігаються втрата апетиту, апатія, диспепсичні явища (блювання, понос). Вони худнуть, втрачають масу, відстають у загальному розвитку, часто хворіють інфекційними захворюваннями. У хворих значно зменшується вміст гемоглобіну, порушується діяльність серцево-судинної системи, знижується артеріальний тиск, збільшуються розміри серця. Спостерігається підвищена збудливість, пітливість, поганий сон.

Розслаблення (гіпотонія) м'язів живота призводить до значного збільшення його, відвисання. При важких формах захворювання розвивається остеомаліяція (розм'якшення) кісток, особливо нижніх кінцівок. Розм'якшені кістки під масою тіла деформуються і набувають O- або X-подібної форми. Разом з тим спостерігається викривлення хребта, розростання кісткової тканини на реберних дугах – «рахітичні чотки», з'являються «бугри» на черепі і «браслети» на епіфізах кісток кінцівок. Внаслідок затримки процесів окостеніння кісток черепа значно збільшуються розміри голови, порушується розвиток зубів, запізнюється їх прорізування й утворення дентину.

У дорослих можуть спостерігатися явища D-авітамінозу, які виявляються загальною слабкістю, швидкою стомлюваністю, біллю в кульшових суглобах і м'язах.

За допомогою методу мічених атомів було встановлено, що вітамін D сприяє всмоктуванню і засвоєнню кальцію в кишках та посилює реабсорбцію фосфору в ниркових каналцях, завдяки чому підтримується нормальне співвідношення між даними елементами в сироватці крові. Вітамін D, крім того, сприяє переходу кальцію з крові у кісткову тканину, транспорту даного елемента через слизову оболонку кишок.

П о ш и р е н н я і п о т р е б а . Вітаміни групи D найчастіше

зустрічаються в продуктах тваринного походження. Особливо високий вміст вітаміну D₃ в жирі печінки морських і прісноводних риб, ікрі, молоці та молочних продуктах, маслі, жовтку яйця. Добрим джерелом вітаміну D є дріжджі, в яких міститься ергостерин, який при дії ультрафіолетового випромінювання перетворюється на вітамін D₂.

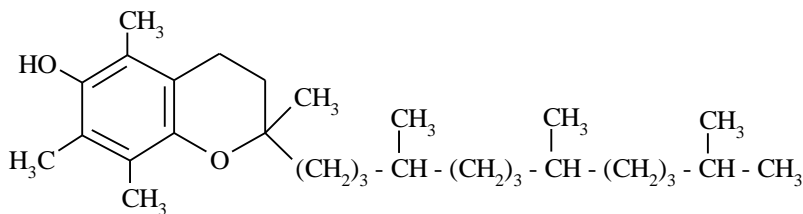
Добова потреба людини у вітаміні D становить 10-15 мкг. За нормальних фізіологічних умов і при збалансованому харчуванні необхідну кількість вітаміну організм одержує з продуктами харчування та за рахунок ендогенного синтезу при дії ультрафіолетового випромінювання на 7-дегідрохолестерин, що міститься в шкірі.

Надмірне введення вітаміну D в організм людини або тварини може викликати явище гіпервітамінозу, основними ознаками якого є втрата апетиту, слабкість, диспепсичні явища, втрата маси тіла, порушення процесів росту, біль у суглобах. За даних умов підвищуються температура тіла і кров'яний тиск, значно збільшується концентрація кальцію в крові, спостерігається кальцифікація тканин деяких органів – нирок, серця, легень, а також стінок кровеносних судин.

Вітамін Е (токоферол, антистерильний) було відкрито у 20-х роках минулого століття як фактор, що запобігав розвитку стерильності у тварин.

При детальному вивченні вітаміну Е було встановлено, що він є неоднорідною речовиною і має кілька ізомерів (α -, β -, γ -), які відрізняються деталями хімічної будови і ступенем біологічної активності, хоч однаково діють на обмінні процеси в організмі.

Будова і фізико-хімічні властивості. За кінетичною природою вітамін Е є похідним бензохінону з відгалуженим ізопреноїдним бічним ланцюгом.



α -Токоферол

Інші токофероли відрізняються від α -токоферолу числом і розміщенням метильних груп у бензольному ядрі.

Вітамін Е – безбарвна, в'язка, оліїста рідина, не розчинна у воді і добре розчинна в жирах і розчинниках – спирті, ефірі. Стійкий проти нагрівання в кислому середовищі і менш стійкий у лужному. При кулінарній обробці продуктів активність його зберігається. Швидко руйнується при наявності окиснювачів і при дії ультрафіолетових променів.

Біологічна дія. При недостатньому надходженні вітаміну Е з продуктами харчування порушуються обмін речовин, функції статевих залоз, нервової системи. Відсутність вітаміну Е негативно впливає на цілий ряд метаболічних процесів, а також структуру і функцію різних органів і тканин, насамперед на посмуговану м'язову тканину і м'язи серця. Це виявляється в міопатіях, м'язовій дистрофії, яка у важких випадках закінчується паралічами мускулатури різних частин тіла. Висловлюється припущення, що біологічна дія токоферолів зумовлена тим, що вони мають антиоксидантні властивості і запобігають надмірному окисненню ліпідів в організмі й утворенню пероксидів ліпідів та нагромадженню у тканинах вільних радикалів, які мають високу активність і шкідливо діють на тканини організму.

Застосовують вітамін Е в клінічній практиці при порушенні статевих функцій та при загрозах передчасного переривання вагітності, при захворюваннях нервово-м'язової та сполучної тканин, при лікуванні дистрофічних змін у серцево-судинній системі і м'язах, при виразкових і шкіряних захворюваннях.

Поширення і потреба. Токофероли містяться переважно у продуктах рослинного походження, у тваринних тканинах вони не синтезуються. Багаті на вітамін Е зелені листяні овочі, зародки пшениці, гречки, гороху та рослинні олії – соняшникова, кукурудзяна, бавовняна, оливкова.

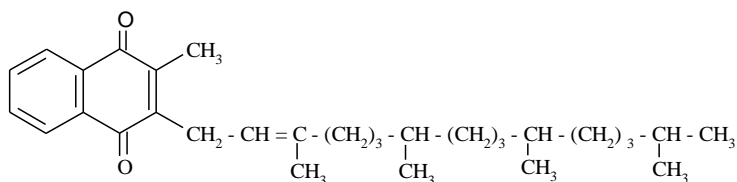
Добова потреба у вітаміні Е точно не встановлена. Вважають, що орієнтовно в середньому вона становить 20-30 мг, з них половина припадає на α -токоферол. Підрахунки показали, що при нормальному харчуванні людина одержує вітамін Е в середньому від 11 до 24 мг на добу, тобто добова потреба задовольняється майже повністю за рахунок продуктів харчування.

Вітамін К (філохінон, антигеморагічний) було відкрито на

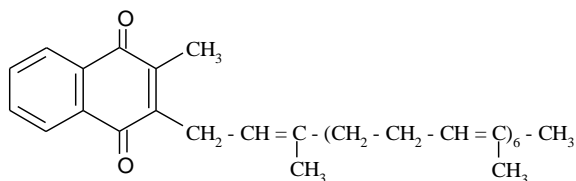
початку 30-х років ХХ ст. Н.Дамом як фактор, що запобігав розвитку підшкірних крововиливів (геморагічного діатезу) у тварин. Назву вітамін К одержав від першої букви слова «коагуляція» (зсідання), тому що у тварин при К-авітамінозі порушувались також процеси зсідання крові.

Будова і фізико-хімічні властивості.

Під назвою вітамін К об'єднують речовин похідних 2-метил-і,4-нафто-хінону, які відрізняються в основному бічними ланцюгами. Серед них добре відомі вітаміни К₁ і К₂:



Вітамін К₁

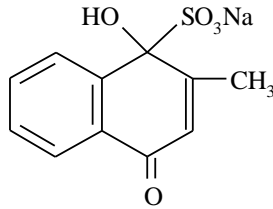


Вітамін К₂

Біологічна активність вітаміну К₁ майже у два рази вища, ніж вітаміну К₂. Перший з них виділений з листків люцерни і являє собою жовту маслянисту речовину, а другий - з рибного борошна і є кристалічною речовиною. Синтез вітаміну К₂ частково здійснюється мікрофлорою верхньої частини тонкої кишки.

У 1942 році український вчений академік О.В. Палладін синтезував аналог вітаміну К – вікасол, який на відміну від вітамінів К₁ і К₂, добре розчиняється у вод.:

Порівняно з іншими філохінонами він менш токсичний, не подразнює слизових оболонок, добре всмоктується в травному каналі, стійкий проти нагрівання. Завдяки цим властивостям вікасол широко застосовується як кровоупинний засіб.



Вікасол

Біологічна дія. При первинних або вторинних К-авітамінозах спостерігається порушення процесів зсідання крові, зменшення міцності капілярних судин, що може призвести до геморагій і тривалих кровотеч. Це пояснюється тим, що вітамін К бере участь у синтезу деяких компонентів, які зумовлюють зсідання крові, а також позитивно впливає на ендотеліальні оболонки кровоносних судин. Крім того, вітамін К прискорює загоєння ран і виразок.

Вітамін бере участь в окисно-відновних процесах, позитивно впливає на біосинтез білків крові та окремих ферментів..

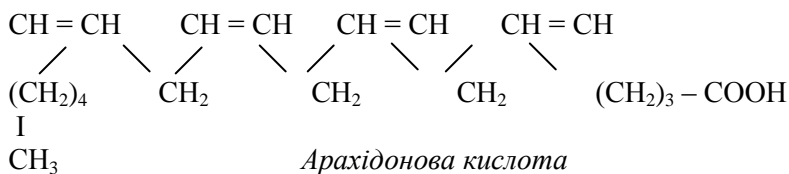
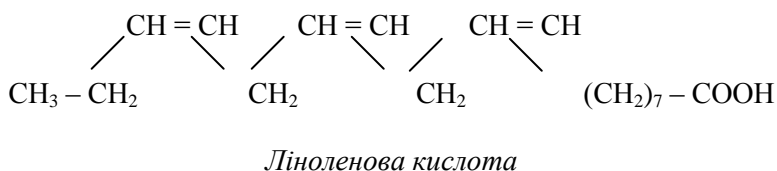
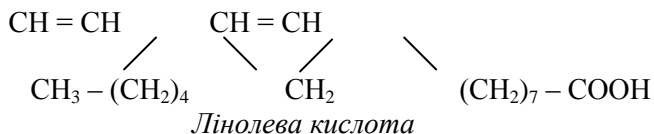
Поширення і потреба. Вітаміни групи К містяться переважно в продуктах рослинного походження. Багато їх у зелених частинах рослин, особливо в листках капусти, шпинаті, горосі, кропиві, ягодах шипшини, моркві, картоплі. З тваринних продуктів порівняно високий вміст вітамінів групи К мають печінка, підшлункова залоза, яйця, м'ясо великої рогатої худоби. Добова потреба у вітаміні К становить 10-15 мг. Частково даний вітамін синтезується мікрофлорою кишечника.

Вітамін F(ненасичені жирні кислоти) об'єднує групу біологічно активних, поліненасичених жирних кислот – лінолеву, ліноленову, арахідонову, які в більшості організмів не синтезуються і виявляють специфічну біокаталітичну дію на численні метаболічні реакції в організмі людини і тварин.

У 1928 р. С. Хоган і Р. Гюнтер в експериментах на тваринах довели, що дані кислоти необхідні для забезпечення нормального перебігу фізіологічних процесів. При їх нестачі у тварин спостерігалось сповільнення росту, дерматити, некроз хвоста, порушення функцій нирок, гематурії. Враховуючи це, для ненасичених жирних кислот – лінолевої і ліноленової – було запропоновано назву – вітамін F. У 1938 р. такі самі властивості

було виявлено в арахідонової кислоти, яка має значно вищу біологічну активність, ніж дві попередні. Міжнародною комісією з номенклатури для вітаміну F було запропоновано назву – біологічно активні поліненасичені жирні кислоти.

Будова і фізико-хімічні властивості. Поліненасичені жирні кислоти мають таку будову:



Фізіологічно активною формою цих кислот є цис-конфігурація. Характерною особливістю їх хімічної структури є наявність двох подвійних зв'язків у положеннях 6-7 і 9-10, починаючи від кінцевої CH₃-групи. Припускають, що біологічна активність ненасичених жирних кислот зумовлена наявністю метиленових груп, розділених подвійними зв'язками.

Ненасичені жирні кислоти – оліїсті рідини, добре розчинні в жирових розчинниках і не розчинні у воді. Досить легко окиснюються киснем повітря. Добувають вітамін F омиленням олій.

Біологічна дія. Найвищу біологічну активність має арахідонова кислота, однак у харчових продуктах міститься незначна її кількість. Ліноленова кислота малоактивна й основна роль її полягає в активації лінолевої кислоти, яка міститься в харчових продуктах у значній кількості.

Ознаки F-авітамінозу у людини не відомі. У тварин на штучній дієті спостерігається припинення росту, дерматити, схильність до екземи, сухість шкіри, випадання шерсті, крихкість і розшарування кісток, ураження нирок. Деякими дослідниками встановлено, що при нестачі ненасичених жирних кислот, особливо арахідонової, у тварин спостерігається утворення специфічних ефірів холестерину з насиченими жирними кислотами, що призводить до розвитку атеросклерозу. Біологічна роль поліненасичених жирних кислот досить різноманітна. Вони беруть участь у процесах росту і розвитку організму, впливають на репродукцію і молочну продуктивність, сприяють засвоєнню жирів в організмі. Ненасичені жирні кислоти сприяють також виділенню з організму холестерину. На цьому ґрунтується їх антисклеротична дія.

Вітамін F підвищує еластичність і стійкість кровоносних судин, загальну резистентність організму, позитивно впливає на обмін деяких водорозчинних вітамінів (C, B₁, B₆).

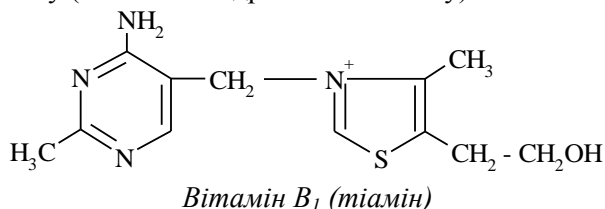
Поширення і потреба. Ненасичені жирні кислоти містяться переважно в рослинних оліях: горіховій (63-76%), маковій (63-74%), соєвій (75-86%), бавовняній (62-64%), льняній (18-50%), соняшниковій (52-64%) та інших. У тваринних жирах їх значно менше: у свинячому — 7-10%, у курячому — 10-19%, у вершковому маслі 0-6%. Добрим джерелом арахідонової кислоти є олія земляного горіха — арахісу. Важливим джерелом ненасичених жирних кислот є також жир тюленя, кукурудзяна й обліпихова олія.

4.4. Характеристика водорозчинних вітамінів та їх вміст у харчових продуктах

До водорозчинних вітамінів належать вітаміни групи B, а також вітаміни C і P. Усі вони добре розчиняються у воді і не розчиняються в жирових розчинниках. В організмах людини і тварин ці вітаміни не депонуються, хоч частина їх синтезується мікрофлорою кишок. Основна біологічна роль їх полягає в тому, що більшість з них входить до складу ферментних систем, виконуючи функції коферменту або простетичної групи..

Вітамін B₁ (тіамін). Вітамін B₁ займає особливе місце в історії вітамінології, оскільки відкриття і дослідження його властивостей поклало початок даній галузі науки

Будова і фізико-хімічні властивості. Молекула тіаміну складається з двох компонентів – похідного піримідину (2-метил-5-гідроксиметил-6-амінопіримідину) і похідного тіазолу (4-метил-5-гідроксіетилтіазолу):



Назву «тіамін» дана речовина дістала у зв'язку з наявністю в її складі сульфуру та аміногрупи. Вітамінні властивості тіаміну залежать від його хімічної структури. Навіть незначні її зміни викликають втрату біологічної активності.

Хімічно чистий препарат вітаміну В₁ – це безбарвні кристали з запахом дріжджів, добре розчинні у воді (в 1 мл води розчиняється 1 г вітаміну) і погано розчинні в жирових розчинниках. При окисленні в лужному середовищі безбарвний препарат вітаміну В₁ переходить в тіохром, сполуку з характерною специфічною флуоресценцією в ультрафіолетовому випромінюванні, що лежить в основі визначення вітаміну в біологічних об'єктах.

Вітамін В₁ стійкий проти дії різних факторів зовнішнього середовища – світла, кисню, повітря. Стійкий у кислому середовищі і швидко руйнується в лужному, особливо при високій температурі.

При введенні в організм тіамін за участю АТФ фосфорилується і перетворюється на тіамінпірофосфат.

Біологічна дія. При недостатньому надходженні вітаміну В₁ з продуктами харчування з'являються симптоми гіпо- й авітамінозу. Найбільш ранніми проявами нестачі вітаміну В₁ є втрата апетиту, порушення секреторної і моторної функцій кишок. Спостерігаються також порушення з боку нервової системи: підвищена збудливість, боязливість, схильність до галюцинацій, втрата здатності до зосередження та втрата пам'яті на недавні події, порушення розумової діяльності.

При більш тривалій відсутності вітаміну В₁ виникає втрата чутливості, сильні болі у місцях нервових волокон, особливо в нижніх кінцівках, розвивається м'язова слабкість, у важких випадках – атрофія м'язів, параліч кінцівок, кахексія (виснаження).

Останні симптоми особливо характерні для важких форм В₁ – авітамінозу, внаслідок яких розвивається захворювання «бері-бері».

Причиною цілого ряду порушень, що виникають при В₁-авітамінозі є те, що даний вітамін відіграє важливу роль у регуляції численних метаболічних реакцій в організмі. Механізм впливу вітаміну В₁ на різні процеси визначається його коферментними функціями. У вигляді тіамінпірофосфату він входить до ферментних систем організму, які контролюють важливі ланки обміну речовин. Особливо важлива роль тіамінпірофосфату в забезпеченні окремих етапів вуглеводного, білкового і ліпідного обмінів.

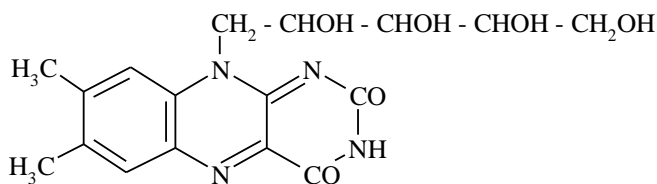
У вигляді тіамінпірофосфату вітамін В₁ використовують для ін'єкцій при лікуванні серцево-судинних захворювань, невралгії, порушенні обміну речовин. Ендогенні гіповітамінози лікують пероральним введенням вітаміну В₁ у вигляді драже, пігулок, порошків.

Поширення і потреба. Вітамін В₁ міститься в продуктах рослинного і тваринного походження. Особливо багато його у висівках рису і пшениці, пекарських і пивних дріжджах, бобових і зернових культурах. Міститься вітамін В₁ також у печінці, м'ясі, овочах і фруктах.

Потреба у вітаміні В₁ значною мірою залежить від віку, фізичного навантаження, фізіологічного стану організму і становить 2-3 мг на добу для дорослих і 0,5-2 мг для дітей та підлітків. Потреба, у вітаміні значно збільшується при надмірній кількості вуглеводів у харчовому раціоні, а також при значних фізичних та емоційних навантаженнях та в умовах жаркого і холодного клімату.

Вітамін В₂ (рибофлавін). Майже одночасно (1932-1933 рр.) О. Варбург і В. Христіан з дріжджів, Р. Кун із співробітниками з молока і яєць виділили кристалічну речовину, що давала жовто-зелену флуоресценцію, і назвали її відповідно лакто- і овофлавін (від лат. flavus – жовтий). Згодом з інших природних джерел було виділено ще кілька ростових факторів. Оскільки всі вони мали ідентичні біологічні властивості, а основу їх структури, як виявилось, становить ізоалоксазинове кільце і залишок спирту рибітолу, то вони були об'єднані під назвою рибофлавін.

Будова і фізико-хімічні властивості. У хімічному відношенні рибофлавін є 6,7-диметил-9-(0-1-рибітол)-ізоалоксазином:



Вітамін В₂ (рибофлавін)

Вітамінні властивості має не вільна, а фосфорильована форма вітаміну В₂ яка утворюється в печінці, м'язах, нирках та інших органах і тканинах.

Рибофлавін досить стійкий проти нагрівання в кислому середовищі і швидко руйнується в лужному під впливом тривалого освітлення. За звичайних умов при кулінарній обробці їжі та зберіганні харчових продуктів втрачається 15-20 % рибофлавіну.

Біологічна дія. При В₂-авітамінозі спостерігається також своєрідний дерматит, себорейна екзема на носо-губних складках, віках, шкірі обличчя, вушних раковинах, кистях рук. Порушується нормальне відтворення клітин кишкового епітелію, що призводить до кишкових кровотеч, виразкових колітів, шлунково кишкових розладів. Знижується загальна стійкість організму проти інфекції, сповільнюються процеси регенерації.

Досить характерним для арибофлавінозу є ураження органів зору. Спочатку спостерігається швидка стомлюваність, сльозотеча, конюктивіти, світлобоязнь, різні порушення темної адаптації, далі розвивається кератит, васкуляризація і помутніння рогової оболонки ока. Спостерігаються також зміни з боку нервової системи – апатія, головний біль, парестезії, почуття жару в ступнях ніг, втрата апетиту, схуднення, зниження працездатності, особливо здатності до розумової праці.

Встановлено, що вітамін В₂ відіграє важливу роль у регуляції різних ланок білкового, вуглеводного та ліпідного обміну, приймаючи безпосередню участь у процесах біологічного окиснення.

Вітамін В₂ застосовують при лікуванні інфекційних захворювань, хворобах внутрішніх органів – печінки, кишківника, шлунка, при функціональних розладах зору, дерматитах та ін.

Слід зазначити, що В₂-авітаміноз рідко виникає як самостійне захворювання. Найчастіше він спостерігається з іншими

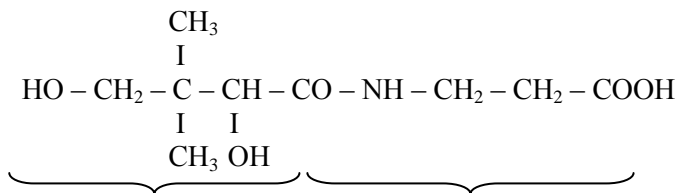
симптомами розладу обміну речовин на фоні неякісного харчування, особливо при нестачі білків та вітамінів (тіаміну, нікотинової й аскорбінової кислоти).

Поширення і потреба. Вітамін В₂ досить поширений у продуктах рослинного і тваринного походження. Значна кількість його міститься у дріжджах, ячному жовтку, молочних продуктах, м'ясі великої рогатої худоби. У менших кількостях вітамін В₂ знайдено в хлібобулочних виробах, овочах і фруктах.

Кишкова мікрофлора в організмі людини частково синтезує вітамін В₂. Потреба дорослої людини у вітаміні В₂ становить 2,5-3,5 мг на добу і від 1 до 3 мг для дітей.

Вітамін В₃ (пантотенова кислота) виділено у 1938 році з багатьох рослинних і тваринних джерел і названо пантотеновою кислотою (від грец. pantoten – скрізь, повсюди).

Будова і фізико-хімічні властивості. У хімічному відношенні пантотенова кислота є похідним β-аланіну, який через аміногрупу сполучений з гідроксимонокарбоною кислотою і є α, γ-дигідрокси-β,β'-диметилбутирил-β-аланіном:



Залишок α,γ-диокси-β,β'-диметил-масляної кислоти

Залишок β-аланіну

У чистому вигляді пантотенова кислота – в'язка оліїста речовина світло-жовтого кольору, добре розчинна у воді й оцтовій кислоті, нерозчинна в жирових розчинниках.

Дана кислота та її солі нестійкі сполуки і швидко руйнуються, особливо при високій температурі в кислому середовищі.

Біологічна дія. Виражені симптоми В₃-авітамінозу у людини зустрічаються досить рідко. Лише при тривалій відсутності вітаміну В₃, особливо в комплексі з іншими вітамінами (С, В₁₂, фолієвою кислотою), а також при нестачі в харчовому раціоні білків і жирів, можуть спостерігатися ознаки авітамінозу.

Найхарактернішими з них є слабкість, швидка стомлюваність, парестезії (оніміння) кінцівок, дерматити, схильність до інфекційних захворювань, зниження кислотності шлункового соку і деякі інші. Причиною розвитку В₃-авітамінозу може бути пригнічення розвитку кишкової мікрофлори високими дозами антибіотиків і сульфаніламідів. Значний вплив пантотенової кислоти на обмінні процеси в організмі пояснюється тим, що вона є складовою частиною багатьох ферментів, які забезпечують численні метаболічні реакції проміжного обміну. Так наприклад у складі коензиму А (КоА—SH) пантотенова кислота входить до складу ферментів, які каталізують реакції ацетилювання і переацетилювання, синтез і розщеплення жирів, багато реакцій трикарбонового циклу, синтез стероїдів, гемоглобіну, ацетилхоліну. Ацетил-КоА бере участь у синтезі окремих амінокислот, холіну, гістаміну та деяких інших важливих для організму речовин.

Враховуючи важливу роль пантотенової кислоти в організмі її застосовують для лікування дерматитів, екзем, токсикозів, опіків, при захворюваннях периферичної нервової системи, хворобах травного каналу (ентероколітах) та дихальних шляхів (катар, бронхіт, бронхіальна астма), а також для запобігання побічних явищ (погіршення зору і слуху).

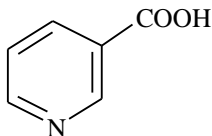
Поширення і потреба. Пантотенова кислота міститься в усіх клітинах рослинних і тваринних організмів. З харчових продуктів тваринного і рослинного походження найважливішими за вмістом пантотенової кислоти є печінка, внутрішні органи тварин, яйця, молоко, зернові, особливо гречка, овочі і фрукти.

Добова потреба людини в пантотеновій кислоті становить 7-10мг і повністю задовольняється за рахунок харчових продуктів та синтезу мікрофлорою кишок.

Вітамін В₅(нікотинова кислота, нікотинамід, вітамін РР, ніацин). Відкриття нікотинової кислоти пов'язане з дослідженнями природи такого захворювання, як пелагра (від італ. pelleagra – шорстка шкіра). Вперше нікотинову кислоту було добуто Губером ще в 1867 р. окисненням нікотину. Довгий час її вітамінні властивості були не відомі. Лише в 1937 р. з екстрактів печінки було виділено речовину, яка виліковувала «чорний язик» – захворювання собак, ідентичне пелагрі у людини. Ця речовина дістала назву протипелагричного фактора. Потім було встановлено, що даний фактор ідентичний нікотинової кислоті і її аміді. Обидві ці

речовини мають вітамінні властивості.

Будова і фізико-хімічні властивості. За хімічною природою нікотина є піридин-β-карбоновою кислотою:



Нікотина

Це біла кристалічна речовина, слабкокіслова на смак, без запаху, добре розчинна у воді (1 г в 100 мл). Нікотина є порівняно з іншими вітамінами має найвищу стійкість проти дії зовнішніх факторів. Вона не руйнується при автоклавуванні, дії сонячного світла і лужних розчинів. Ці властивості нікотинової кислоти забезпечують збереження її при переробці та зберіганні продуктів харчування.

Біологічна дія. При недостатньому надходженні в організм вітаміну B₅ або при білковому голодуванні виникає захворювання, яке дістало назву пелагри. Для пелагри характерними є три групи симптомів: дерматит, діарея і деменція. У зв'язку з цим вона дістала назву хвороби «тріох Д».

В основі біологічної дії вітаміну B₅ лежить його участь у синтезі коферментних систем деяких ферментів, це насамперед нікотинамідаденіндинуклеотиду (НАД⁺) та нікотинамідаденіндинуклеотид-фосфат (НАДФ⁺). Важливу роль відіграє вітамін B₅ у вуглеводному обміні. Під його впливом активується дія інсуліну, що сприяє нагромадженню глікогену в печінці, поліпшується використання глюкози в організмі. Загальновідомою є також нормалізуюча дія вітаміну B₅ на вміст холестерину, водно-мінеральний обмін, функціонування нервової і серцево-судинної систем.

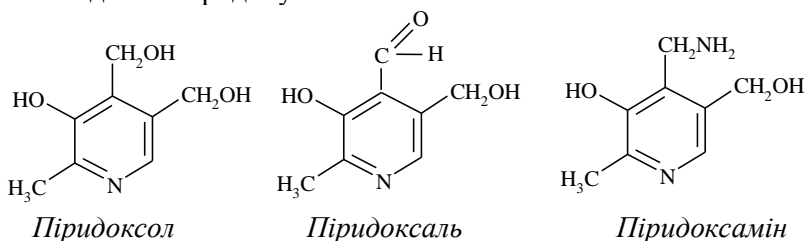
Поширення і потреба. Нікотина є, як і інші вітаміни групи B, знайдена в багатьох продуктах тваринного і рослинного походження. Значна кількість її міститься в печінці, нирках, м'ясних продуктах, молоці і молочних продуктах, зернобобових культурах. Особливо багато її у висівках і дріжджах. В овочах і фруктах вміст нікотинової кислоти незначний.

Потреба дорослої людини у вітаміні B₅ становить 15-25 мг на

добу, для дітей – 5-15 мг залежно від віку.

Вітамін В₆ (піридоксин). Відкриття вітаміну В₆ пов'язане з дослідженням пририну пелагроподібних дерматитів, які не зникали при лікуванні нікотинамідом. У 1936р. з дріжджових екстрактів і рисових висівокбуло виділено речовину, що запобігала виникненню дерматитів у щурів. Її було названо спочатку антидерматитним фактором, а згодом – вітаміном В₆.

Будова і фізико-хімічні властивості. Назва піридоксин (вітамін В₆) об'єднує групу близьких за складом і властивостями речовин – піридоксол, піридоксаль і піридоксамін, які є похідними піридину:



В організмі ці три форми можуть переходити одна в одну. У чистому вигляді це безбарвні кристалічні речовини, гіркі на смак, добре розчинні у воді і спирті. Вітамін В₆ стійкий проти нагрівання в кислому і лужному середовищах. Швидко руйнується на світлі, при дії ультрафіолетових променів.

Біологічна дія. Біологічну активність в організмі виявляють зв'язані фосфорильовані форми вітаміну В₆. При недостатньому надходженні піридоксину з продуктами харчування, а також при порушенні синтезу його мікрофлорою кишок виникає явище В₆-авітамінозу, спостерігається підвищена збудливість, м'язова слабкість, млявість, потім з'являється себорееподібні зміни різних ділянок шкіри навколо очей та носа, на вухах і кінцівках. Тривала відсутність в організмі піридоксину призводить до дегенеративних змін у різних органах, припиняється ріст, виникають порушення з боку центральної нервової системи, які виявляються в характерних лише для В₆-авітамінозу епілептиформних судорогах.

В організмі людини і тварин піридоксин перебуває у зв'язаному стані, в основному у вигляді піридоксальфосфату, який входить до складу ферментних систем, цим і зумовлюється його

фізіологічна роль в організмі. Піридоксальфосфат, зокрема, входить до складу ферментних систем, які беруть участь у декарбоксилуванні, пере амінуванні, рацемації амінокислот. Усі ці перетворення відіграють важливу роль в обмінних процесах організму.

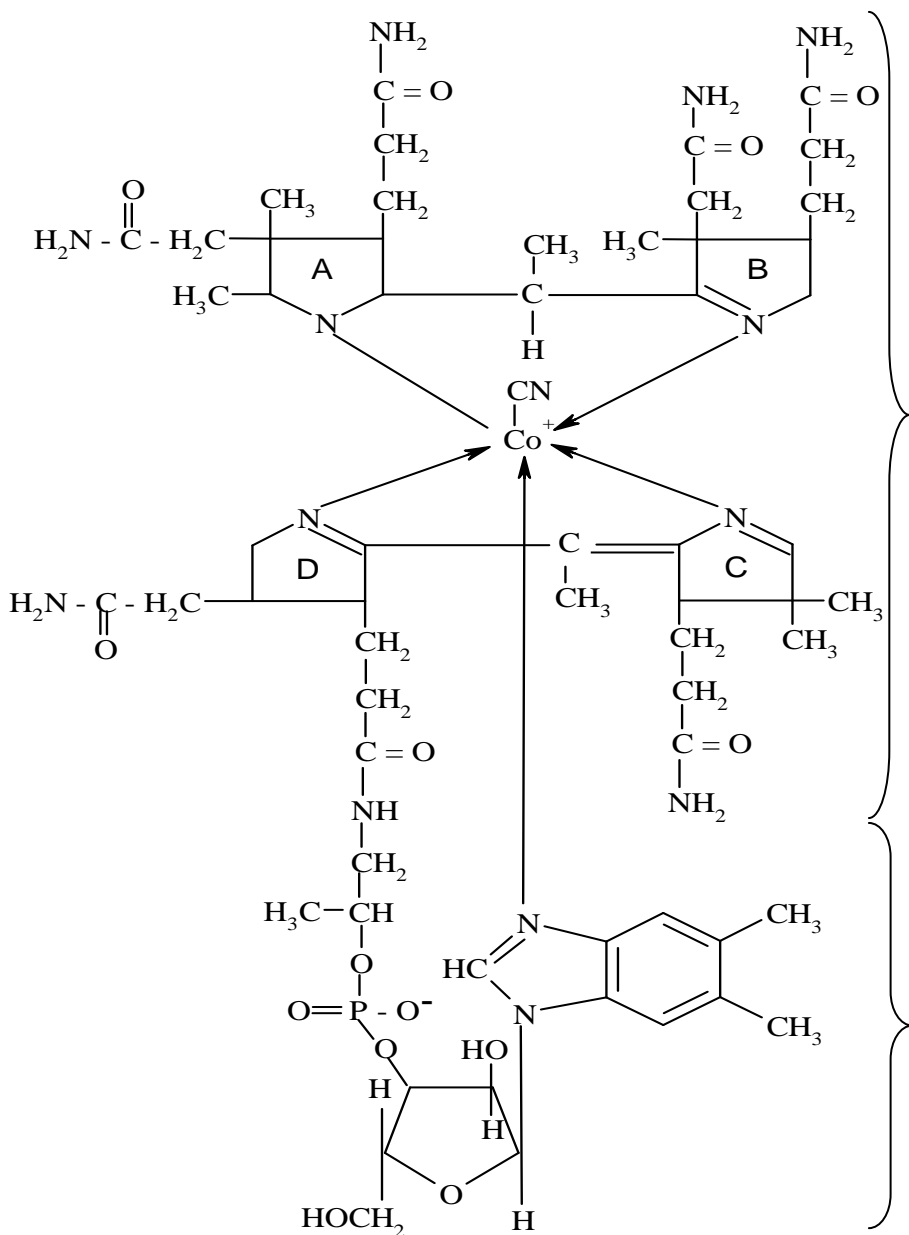
Поширення і потреба. Вітамін B_6 міститься в продуктах рослинного і тваринного походження. У рослинах піридоксину більше, а в тваринних тканинах 85-90% B_6 -вітамінної активності пов'язано з піридоксалем і піридоксаміном. Багато вітаміну B_6 у пшеничних висівках, дріжджах, печінці, м'ясі. Добова потреба дорослої людини становить 2-4 мг вітаміну B_6 , лікувальна доза 10-100 мг.

Вітамін B_{12} (ціанкобаламін). У 1926 р. В. Мінот і Е. Мерфі виявили цілющу дію сирової печінки, вживання якої запобігало виникненню злоякісної анемії. У 1955 р. було розшифровано хімічну структуру антианемічної речовини, яку назвали вітаміном B_{12} , або ціанкобаламіном, оскільки до його складу входить кобальт і ціаногрупа.

Будова і фізико-хімічні властивості. Наступними дослідженнями було встановлено, що існує ціла група сполук, які мають B_{12} -вітамінну активність. За пропозицією номенклатурної комісії при Міжнародному біохімічному конгресі (1961 р.) дана група сполук дістала назву кориноїдів – за назвою кориноїдного ядра, характерного для всіх цих сполук (без атома кобальту).

Вітамін B_{12} – досить складна органічна сполука. Це єдиний відомий металовмісний вітамін, до складу якого входить кобальт. У чистому вигляді вітамін B_{12} – це голчасті кристали рубіново-червоного кольору, без запаху і смаку, добре розчинні у воді і спирті, не розчинні в жирових розчинниках – бензолі, ефірі, хлороформі. У сухому вигляді вітамін B_{12} стійкий проти дії зовнішніх факторів. Витримує автоклавування при 120°C . Добре зберігається в темному сухому місці. На світлі швидко втрачає біологічну активність.

Біологічна дія. Роль вітаміну B_{12} в організмі різноманітна. Він бере участь у багатьох метаболічних реакціях



Вітамін B₁₂

організму – синтезі металних груп, відновленні дисульфід них груп у сульфгідрильні, синтезі білків і нуклеїнових кислот, у реакціях ізомеризації та ін.

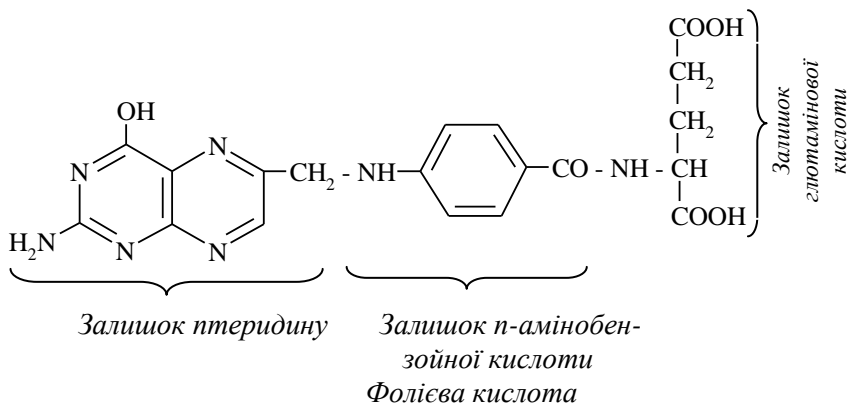
Досить важливою фізіологічною функцією вітаміну B_{12} є забезпечення нормального гемопоезу активацією дозрівання еритроцитів. Нестача вітаміну B_{12} в організмі веде до порушення утворення еритроцитів в кістковому мозку. При цьому виникає мегалобластичний тип кровотворення і, як наслідок, розвивається перниціозна анемія.

Вплив вітаміну B_{12} на еритропоез тісно пов'язаний з іншими вітамінами групи В, зокрема з фолієвою кислотою. Він сприяє перетворенню фолієвої кислоти на фолінову – активну форму, яка забезпечує процеси гемопоезу. При відсутності фолієвої кислоти вітамін B_{12} не виявляє гемопоетичного ефекту. Однак роль вітаміну B_{12} не обмежується лише участю його в кровотворних процесах. Він позитивно впливає на процеси росту і розвитку організму, на функціональний стан центральної нервової системи, виявляє ліпотропну дію та багато інше.

Поширення і потреба. Основним джерелом вітаміну B_{12} є продукти тваринного походження – печінка, нирки, м'язи, а також молоко і яйця. Додаткова потреба у вітаміні B_{12} становить 3-10 мкг. У промислових масштабах вітамін B_{12} добувають з культуральної рідини і міцелію актиноміцетів – відходів виробництва антибіотиків (біоміцину, стрептоміцину) та інших біотехнологічних виробництв.

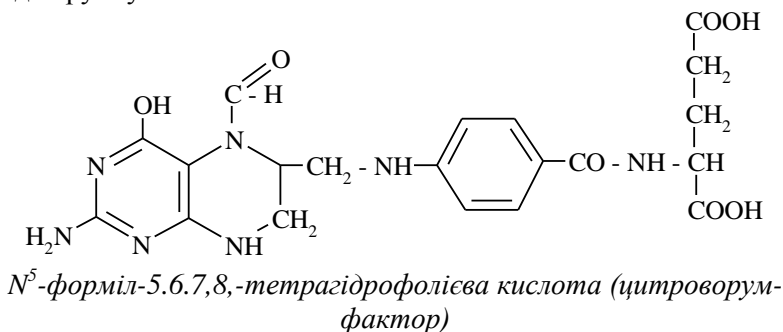
Фолієва кислота (вітамін B_9 , B_{10} , B_{11}). Фолієву кислоту було виділено у 1939 р. з листків шпинату як фактор росту молочнокислих бактерій. Враховуючи кислотні властивості даного фактора і високий вміст його в листках багатьох рослин, він одержав назву фолієва кислота (від лат. – лист). У 1940 р. речовина з подібною дією на мікроорганізми була виділена з інших біологічних матеріалів – дріжджів, екстрактів внутрішніх органів тварин.

Будова і фізико-хімічні властивості. Молекула фолієвої кислоти складається з трьох компонентів: азотомісного гетероциклу птеридину, p-амінобензойної і глутамінової кислот:



З природних джерел виділено кілька різновидностей фолієвої кислоти, які відрізняються кількістю залишків глютамінової кислоти. У харчових продуктах фолієва кислота перебуває у зв'язаній неактивній формі. Перетворення її в біологічно активну форму проходить у процесі перетравлювання їжі під впливом специфічних ферментів панкреатичного соку. Внаслідок дії ферментів проходить відновлення фолієвої кислоти чотирма атомами водню, в результаті чого утворюється тетрагідрофолієва, або фолінова кислота – біологічно активна форма фолієвої кислоти, яка дістала назву цитроворум-фактор.

Цитроворум-фактор у 100 раз активніший за фолієву кислоту. Вважають, що утворення його стимулюється вітаміном В₁₂ і аскорбіновою кислотою. Під дією світла та при нагріванні з мінеральними кислотами і в лужному середовищі ця сполука досить швидко руйнується.



Біологічна дія. При нестачі фолієвої кислоти порушуються кровотворні процеси, насамперед еритро-, лейко- і тромбоцитоз. Виникають розлади функції кишків, спостерігаються зміни слизових оболонок. Характерною ознакою дефіциту фолієвої кислоти є розвиток різних видів анемії

Біологічна роль фолієвої кислоти в організмі виявляється в тому, що її активна форма – тетрагідрофолієва кислота – у вигляді коферменту входить до складу ферментних систем. Досить важлива роль фолієвої кислоти як антианемічного фактора. Фолієва кислота стимулює дозрівання мегалобластів кісткового мозку, стимулює синтез гемоглобіну, сприяє збільшенню числа еритроцитів, лейкоцитів і тромбоцитів.

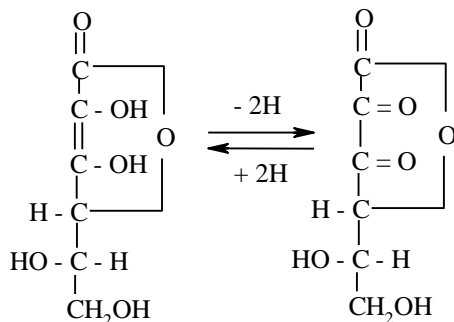
Поширення і потреба. Фолієва кислота міститься в багатьох рослинних і тваринних продуктах. Високий вміст її виявлено в дріжджах (82-214 мг/г) і печінці (42-63 мг/г). Міститься фолієва кислота також у м'ясі, картоплі, капусті. При нормальному функціонуванні органів травлення потреба у вітаміні може забезпечуватися за рахунок ендogenous синтезу його мікрофлорою кишків. Добова потреба людини у вітаміні становить 0,2-0,3 мг.

Вітамін С (аскорбінова кислота). Дослідження властивостей і складу вітаміну С пов'язане з вивченням причин виникнення цинги, або скорбуту. Після того як було з'ясовано, що причиною даного захворювання є нестача певного харчового фактора, почалися інтенсивні його пошуки. У 1920 р. І.Дремонд виділив дану речовину і назвав її антискорбутною. У 1933 р. було здійснено хімічний синтез аскорбінової кислоти.

Будова і фізико-хімічні властивості. У природі аскорбінова кислота існує лише в L-формі.

Дегідроаскорбінова кислота залежно від умов може легко відновлюватись в аскорбінову або ж піддаватись подальшому окисненню. Дегідроаскорбінова кислота за вітамінними властивостями рівноцінна аскорбіновій, однак вона менш стійка і дуже легко окиснюється з утворенням продуктів, які не мають вітамінних властивостей.

Структурна формула вітаміну С має такий вигляд:



L-Аскорбінова

кислота

L-Дегідроаскорбінова

кислота

За зовнішнім виглядом аскорбінова кислота біла, кристалічна речовина без запаху, кисла на смак, добре розчинна у воді і не розчинна в жирових розчинниках.

Аскорбінова кислота у водних розчинах швидко руйнується, особливо в нейтральному і лужному середовищах, а також при значному підвищенні температури, при наявності іонів важких металів (Cu^{2+} , Fe^{2+}). Добувають аскорбінову кислоту в основному синтезом з глюкози та її похідного – спирту сорбіту. Важливе значення має також мікробіологічний синтез з застосуванням оцтовокислих бактерій. Виділення аскорбінової кислоти з природних джерел (шипшини, болгарського перцю, зелених грецьких горіхів) має другорядне значення.

Біологічна дія. Вітамін С відіграє в організмі надзвичайно важливу роль. Оскільки він в організмі людини не синтезується, то необхідне постійне надходження його з продуктами харчування.

При нестачі або тривалій відсутності вітаміну С виникають гіпо- та авітамінози. Розвиваються вони найчастіше в зимовий або ранній весняний період, коли вміст вітаміну в харчових продуктах значно знижується. Тривала відсутність вітаміну протягом 3-5 місяців призводить до розвитку захворювання, що дістало назву цинги, або скорбуту. Явно вираженій формі захворювання передують прихований період з непомітними симптомами, які можуть тривати кілька місяців. Це загальне нездужання, головний біль, постійне відчуття втоми, млявість, порушення сну, апатія, біль у різних ділянках тіла, особливо в м'язах нижніх кінцівок.

Найхарактернішою ознакою цинги є ураження кровоносних

судин, особливо капілярів, яке супроводжується ламкістю їх стінок і підвищенням проникності. Зміни в капілярах призводять до виникнення підшкірних точкових крововиливів. Спостерігаються також зміни в кістковій та інших мезенхімальних тканинах (хрящах, сухожиллях, дентині зубів), що зумовлено значним зменшенням вмісту колагену. Спостерігається ураження ясен – гінгівіт, що призводить до їх розрихлення, оголення і розхитування зубів, кровоточивості ясен.

При захворюванні на цингу порушується також діяльність серцево-судинної системи – спостерігаються прискорене серцебиття, болі в області серця, зниження артеріального тиску.

Зміни з боку травного каналу характеризуються катаральним станом слизової оболонки шлунка і кишок, змінюються секреторна і моторна функції шлунка, виникає дискінезія кишок.

В організмах людини і тварин вітамін С відіграє надзвичайно важливу роль. Вважають, що механізм його дії пов'язаний з участю цього вітаміну в окислювально-відновних процесах. Важливу роль відіграє вітамін С у процесах тканинного дихання, стимулює діяльність окислювально-відновних ферментів, бере участь у забезпеченні біосинтезу нуклеїнових кислот, білків та ін.

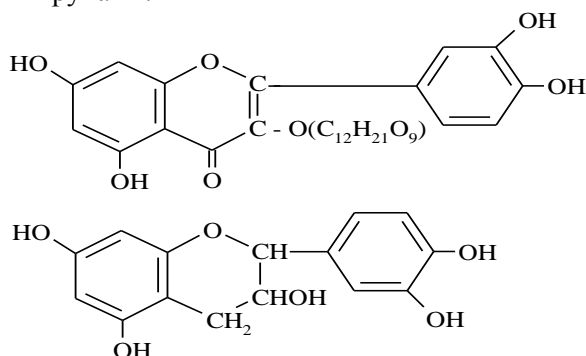
Вітамін С позитивно впливає на біосинтез білка колагену – основної міжклітинної речовини сполучної тканини, яка «склеює» ендотеліальні клітини судин і тканин організму. Тому вітамін С широко використовується при лікуванні переломів та для загоювання ран у хірургії. Важлива роль належить вітаміну С у вуглеводному обміні. Позитивно впливає він на еритропоез і утворення гемоглобіну, підвищення реактивності організму та зміцнення його захисних механізмів, сприяє виробленню антитіл, підвищує фагоцитарну активність лейкоцитів, посилюючи опірність організму хворобам. Тому іноді вітамін С називають антиінфекційним вітаміном.

П о ш и р е н н я і п о т р е б а . Основним джерелом аскорбінової кислоти є продукти рослинного походження. Найбільша кількість її міститься в шипшині, чорній смородині, полуницях, плодах цитрусових, грецьких горіхах, печінці та ін.

Вітамін Р (рутин, катехіни). У 1936 р. угорський дослідник А.Сент-Дьордь виділив із шкірок лимона й екстрактів солодкого червоного перцю речовину, яка запобігала розвитку геморагічного діатезу, і запропонував для неї назву цитрину, або вітаміну Р (від

першої букви латинського слова permeabilitas – проникність). Наступними дослідженнями було встановлено, що в багатьох рослинах міститься група природних речовин, які мають Р-вітамінні властивості.

Будова і фізико-хімічні властивості. Встановлено, що Р-вітамінними властивостями володіють дві групи речовин – флавори (гесперидин, кверцитин, рутин) і катехіни (α -епікатехін). Спільним для цих речовин є те, що вони мають поліфенольний тип будови. До складу їхніх молекул входить два або кілька фенольних кілець, у яких атоми водню заміщені гідроксильними групами:



Хімічно чисті препарати групи флаворів (зокрема рутин) – це жовті кристалічні речовини без запаху і смаку, погано розчинні в холодній воді (краще в киплячій воді або спирті) і не розчинні в жирових розчинниках – хлороформі, бензині, ефірі. Флавори стійкі проти дії кислот і лугів.

Катехіни (препарат вітаміну Р з чайного листка) – аморфні порошки сірувато-зеленого кольору, гіркуваті на смак, розчинні у воді і спирті. У сухому прохолодному місці вони зберігаються тривалий час без втрати біологічної активності.

Біологічна дія. Вивчення біологічної дії вітаміну Р ускладнюється значним поширенням його в харчових продуктах, а також тим, що геморагічний діатез у людини переважно пов'язаний з іншими захворюваннями. Експериментальний Р-авітаміноз характеризується порушенням проникності капілярів, розвитком геморагій, які мають вигляд петехіальних висипів, що починаються у волосяних мішечках. Цим вони відрізняються від великих

крововиливів у підшкірну тканину і м'язи, характерних для цинги. Після введення Р-вітамінних препаратів симптоми даного захворювання швидко зникають.

Експериментальні дослідження повністю підтвердили важливу роль вітаміну Р у регуляції проникності капілярів, причому більш ефективна дія вітаміну Р виявляється в комплексі з іншими вітамінами (С, В₁₅, К).

Біологічна дія вітаміну Р в організмі ще недостатньо вивчена, хоч тепер існує багато різних припущень. Вважають, зокрема, що препарати вітаміну Р підвищують активність аскорбінової кислоти, оберігають її від окислювального розщеплення, що сприяє економному використанню і нагромадженню її в організмі. Існують дані, що антиокислювальні властивості вітаміну Р не обмежуються аскорбіновою кислотою, він може запобігати окисненню інших речовин, зокрема адреналіну. Позитивно впливає вітамін Р на функціональний стан деяких внутрішніх органів.

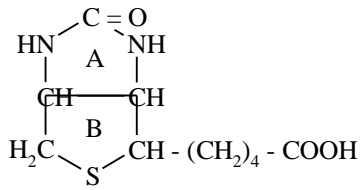
П о ш и р е н н я і п о т р е б а . Вітамін Р досить поширений у рослинних продуктах. Найбільша кількість його міститься в смородині, шипшині, цитрусових, чорноплідній горобині, листках гречки, чаю та ін.

Добова потреба у вітаміні Р точно не встановлена. Вважають, що вона коливається в межах 50-60 мг. Лікувальні дози в два-три рази більші.

Вітамін Н (біотин). У 1936 р. було встановлено, що при утриманні піддослідних тварин на харчовому раціоні, який містить значну кількість сирого яєчного білка, виникає характерне захворювання, яке виявляється в ураженні шкіри (дерматитах) та порушенні функцій нервової системи. Враховуючи специфіку дії даного харчового фактора, а також те, що він є життєво необхідним, його назвали вітаміном Н (від нім. haut – шкіра), або біотином.

Будова і фізико-хімічні властивості. За хімічною природою біотин є монокарбоною кислотою гетероциклічної будови. До складу гетероциклу входять оксимідазольне кільце А і тіофенове кільце В.

У хімічно чистому вигляді біотин – це безбарвна кристалічна речовина, добре розчинна у воді, спирті, стійка проти дії високих температур, кислот, лугів та ультрафіолетового випромінювання. Біологічна активність його знижується при нагріванні і присутності кисню.



Біотин

Біологічна дія. Біотин має високу фізіологічну активність і широкий діапазон дії. Він необхідний для нормальної життєдіяльності не лише нижчих організмів (бактерій, дріжджів), а й для людини. У зв'язку з тим що біотин досить поширений у продуктах харчування, а також синтезується мікрофлорою кишок, за звичайних умов при збалансованому харчуванні, явища абіотинозу в людини спостерігаються дуже рідко. Нестача вітаміну найчастіше має місце у дітей, які вживають значну кількість сирого яєчного білка, до складу якого входить складний білок глікопротеїн - авідин (від. лат. avis – птах), зв'язуючись з яким біотин втрачає свою біологічну активність. При нагріванні до 100°C авідин руйнується (денатурує) і втрачає здатність утворювати комплекс з біотином.

Абіотиноз може виникати також при застосуванні високих доз антибіотиків. Основними ознаками нестачі біотину є себорейні дерматити, при яких шкіра набуває темного відтінку і злущується. Спостерігається м'язова слабкість, атрофія сосочків язика, виникають порушення з боку нервової системи, в'ялість, депресія, гіперстезія, нудота, анемія.

Біологічна активність біотину зумовлена тим, що він входить до складу ферментів у вигляді кофактора і забезпечує їх каталітичну активність. Застосовують біотин для лікування дерматитів.

Поширення і потреба. Біотин міститься в багатьох продуктах тваринного і рослинного походження, багатих на вітаміни групи В. Особливо багато його в печінці, серці і нирках. Високий його вміст також у дріжджах, бобових, грибах, яйцях, цвітній капуста, горіхах.

Добова потреба у біотині становить 10мкг. Вона забезпечується головним чином за рахунок повноцінного харчування та синтезу мікрофлорою кишок.

Розділ 5. ФЕРМЕНТИ

Ферменти – це специфічні білкові речовини, що містяться в усіх клітинах та тканинах організму і відіграють роль біологічних каталізаторів, тобто прискорюють перебіг хімічних реакцій. Вони зумовлюють як процеси синтезу, так і процеси розпаду речовин в організмі. Ще в свій час І.П.Павлов писав про роль ферментів в організмі: «Всі хімічні процеси направляються в тілі саме цими речовинами, вони є збудниками всіх хімічних перетворень».

Ферменти показують високу каталітичну активність не тільки у клітинах організму. Вони за певних умов проявляють її і поза організмом. Це дозволяє широко використовувати ферменти в різних галузях харчової промисловості. До ферментативних процесів належить виробництво хліба, сиру, вина, спирту, пива, чаю, амінокислот, білкових концентратів та інше. Застосування ферментів дозволяє інтенсифікувати процеси, покращити якість готової продукції, збільшити її вихід.

5.1. Хімічна природа ферментів

Вивчення хімічного складу ферментів дало можливість встановити, що всі вони є білковими речовинами. Ферменти як і білки у розчинах перебувають в колоїдному стані, проявляють амфотерні властивості, інактивуються при дії високих температур, піддаються гідролітичному розщепленню за участю протеолітичних ферментів, мають високу відносну молекулярну масу і багато інших ознак, спільних з білками.

Усі відомі ферменти поділяють на дві великі групи: прості ферменти і складні.

Молекули простих ферментів складаються лише з білка. За хімічними властивостями вони належать до альбумінів, глобулінів і цілого ряду інших груп простих білків. Простими ферментами є також ферменти шлунково-кишкового тракту, зокрема трипсин, хімотрипсин та інші.

Складні ферменти складаються з простого білка і небілкової частини. Білкову частину складних ферментів часто називають апоферментом, а небілкову – протетичною групою, якщо вона міцно і постійно зв'язана з білковою частиною, або коферментом (коензимом), якщо небілкова частина слабо зв'язана з білком і може

легко відокремлюватись.

Прикладом ферментів, у яких білкова частина постійно і міцно зв'язана з небілковою, можуть бути каталаза і пероксидаза. У такій групі ферментів, як дегідрогенази (глюкозо-6-фосфатдегідрогеназа, алкогольдегідрогеназа), небілкова частина виступає у вигляді типового коферменту.

Численні дослідження показали, що роль небілкової частини у складних ферментах виконують ряд вітамінів та їх похідних, пептиди, нуклеотиди, металовмісні комплекси, атоми заліза, міді.

Розглядаючи хімічну природу складних ферментів, слід підкреслити, що білкова і небілкова частини окремо не виявляють належної ферментативної активності. Така активність спостерігається тільки тоді, коли вони з'єднані між собою. Вважають, що небілкова група підвищує стійкість білкової частини, а остання зумовлює специфічність каталітичної дії ферменту. Небілкова частина, приєднуючись до різних білків, може каталізувати зовсім інші процеси.

5.2. Активний центр ферментів та механізм їх каталітичної дії

Дослідження ролі різних функціональних груп для молекул ферментів показало, що каталітична дія пов'язана не з усією молекулою ферменту, а лише з певною його ділянкою, яка називається активним, або каталітичним центром.

У простих ферментах активний центр утворюється з амінокислотних залишків. Сюди належать залишки амінокислот цистеїну, серину, аргініну, аспарагінової та глутамінової кислот, гістидину, тирозину і триптофану. Серед них особливо важливе значення мають HS-групи цистеїну, NO-групи серину, імідазольне кільце гістидину, дещо менше значення мають карбоксильні групи аспарагінової та глутамінової кислот, а також індольна група триптофану. Характерним є те, що залишки амінокислот активного центру розміщені на різній відстані один від одного в поліпептидному ланцюгу ферменту. Їх зближення з утворенням активного центру настає лише внаслідок формування властивої для ферменту структури. Тому певні зміни у структурі ферменту супроводжуються завжди зміною його каталітичної активності. Наприклад, при денатурації, коли деформується структура білків,

ферменти різко знижують або повністю втрачають каталітичні властивості. Амінокислотні залишки, що входять до активного центру, іноді поділяють на три види.

Перший з них має групи, які діють на субстрат у процесі каталізу, другий – групи, що здійснюють контакт між ферментом і субстратом. Третій вид амінокислот має групи, що виконують суто структурну функцію – вони відповідають за підтримання ферментом відповідної просторової структури. Окремі ферменти мають не один, а два й більше активних центри.

У складних ферментах активний центр представлений небілковою групою і залишками амінокислот, що прилягають до неї.

Крім активного центру, у ферментах розрізняють ще два центри – субстратний і алостеричний.

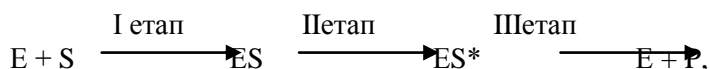
Вважають, що субстратний центр являє собою ділянку молекули ферменту, яка відповідає за приєднання речовини (субстрату), що повинна піддаватися перетворенню.

Алостеричний центр – це ділянка молекули ферменту, яка під час приєднання до неї низькомолекулярної сполуки зумовлює зміну просторової (третинної) структури ферменту. Це в свою чергу призводить до зміни конфігурації активного центру, що веде за собою зміну каталітичної активності, тобто підвищує або знижує активність ферменту. Цей процес лежить в основі так званої алостеричної регуляції ферментативної активності. Проте поняття про активний, субстратний та алостеричний центри не можна абсолютизувати. У ферментах субстратний центр може збігатись з активним центром, а зміни в третинній структурі білкової молекули ферменту можуть виникати не тільки при дії на алостеричний центр, а і в момент приєднання субстрату до субстратного центру. Функції субстратного та алостеричного центрів дуже тісно пов'язані і взаємно переплітаються між собою.

Важливою проблемою ензимології є вивчення механізму дії ферментів. В основі існуючих теорій, що пояснюють механізм дії ферментів, лежить той факт, що ферменти значно знижують енергію активації відповідних реакцій, тобто енергію, яку необхідно затратити, щоб відбулася певна реакція. Для підтвердження цього можна навести такі приклади. Енергія активації розкладання пероксиду водню на кисень і воду без каталізатора становить 75,6 кДж/моль, при каталітичній дії колоїдної платини – 49,1 кДж/моль,

а при дії ферменту каталази – 21,1 кДж/моль. З наведених даних видно, що ферменти знижують енергію активації більше, ніж неорганічні каталізатори, що свідчить про вищу ефективність дії ферментів. Більшість дослідників вважає, що каталітична дія ферментів здійснюється з утворенням фермент-субстратних комплексів. Встановлено, що цей процес відбувається кількома етапами. На першому етапі ферментативного каталізу проходить з'єднання субстрату з ферментом, на другому – активація і видозмінення субстрату з утворенням одного або кількох активованих комплексів і на останньому етапі – відділення продуктів реакції від ферменту.

Схематично ці етапи можна показати так:



де E – фермент, S – субстрат, ES – первинний фермент-субстратний комплекс; ES* – активований комплекс; P – продукт реакції.

Слід зазначити, що найшвидше реакція відбувається на першому етапі.

5.3. Властивості ферментів

Властивості ферментів впливають з їх білкової природи. Крім того, для ферментів, як біологічних каталізаторів, характерні й певні специфічні ознаки. До них можна віднести термолабільність ферментів, вплив на їх активність рН середовища, специфічність дії ферментів тощо.

Ферменти дуже чутливі до зміни температури, тобто вони є *термолабільними* речовинами. Ферментативні процеси (на відміну від інших хімічних реакцій) не можуть відбуватися при температурі, вищій за 70-80°C. При високій температурі руйнуються структура та активний центр ферменту, що призводить до втрати його каталітичної активності. При температурах, нижчих за нуль, вони також втрачають ферментативну активність, але не руйнуються. Тому коли низька температура перестає діяти, ферменти відновлюють свою активність.

Для ферментів існує певний температурний оптимум, тобто температура, при якій вони виявляють свою максимальну активність. Температурний оптимум для більшості ферментів, виділених з тваринних організмів, лежить у межах 35-45°C. До цієї межі з підвищенням температури на 10°C швидкість ферментативних реакцій зростає приблизно у два рази. Вище за температурний оптимум каталітична активність ферментів зменшується, а при температурі, яка зумовлює денатурацію білка, зовсім припиняється.

Є окремі ферменти, які характеризуються високою термостійкістю. До них можна віднести папаїн, міокіназу, трипсин та ін.

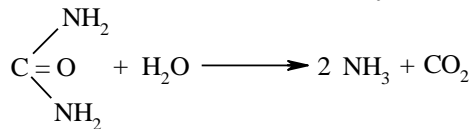
Вплив рН на активність ферментів. Активність ферментів дуже чутлива до зміни рН середовища. Для кожного ферменту або групи ферментів існує оптимальне значення рН середовища, в якому вони максимально активні. Наприклад, фермент шлункового соку пепсин діє найкраще в кислому середовищі (рН 1,5-2,5), а трипсин, який є в дванадцятипалій кишці, максимально активний при рН 7-8. Більшість ферментів виявляє максимальну активність у слабкокислому, нейтральному або слабколужному середовищі. Зниження або підвищення значення рН середовища, порівняно з оптимальним, супроводжується зменшенням активності ферменту. Це пов'язано з тим, що функціональні групи фермента, які взаємодіють із субстратом, несуть певний заряд лише при відповідному значенні рН середовища, яке визначається як оптимальне. Зміна реакції середовища призводить до перезарядження функціональних груп, що виключає можливість фермента взаємодіяти із субстратом. Крім того, концентрація водневих іонів впливає на іонізацію субстрату, фермент-субстратного комплексу і продуктів реакції.

Специфічність дії ферментів. Однією з основних властивостей ферментів, на відміну від інших каталізаторів, є їх висока специфічність. Кожний фермент може каталізувати лише одну або кілька близьких за природою хімічних реакцій. Специфічність ґрунтується на повній відповідності структури субстрату і активного центру ферменту. За образним висловлюванням Е.Фішера, фермент повинен підходити до субстрату, як ключ до замка.

Розрізняють такі типи специфічності: абсолютну, абсолютну

групу, відносну групу і стереохімічну, або оптичну.

Абсолютна специфічність характерна для ферментів, які діють лише на один точно визначений субстрат. Прикладом таких ферментів можуть бути уреаза, аргіназа та ін. Так, уреаза каталізує гідролітичне розщеплення сечовини на аміак і вуглекислий газ:



Достатньо замінити один атом водню в амінній групі на метильний радикал, або добути будь-яке інше похідне сечовини, як уреаза перестане діяти на таку сполуку.

Абсолютна групова специфічність полягає в тому, що фермент може діяти на ряд близьких субстратів, які побудовані за одним принципом. Тут важливе значення має не тільки вид зв'язку, а й хімічна природа та структура радикалів, що прилягають до нього. Прикладом таких ферментів можуть бути карбоксипептидази і глюкозидази.

Відносна групова специфічність спостерігається тоді, коли фермент діє на різні субстрати з однаковим видом зв'язку. До таких ферментів належать протеолітичні ферменти – пепсин, трипсин і хімотрипсин, які каталізують гідролітичне розщеплення пептидних зв'язків у різних білків. Відносну специфічність мають естерази та інші ферменти.

Сtereохімічна специфічність полягає в тому, що фермент діє лише на один з просторових стереоізомерів. Наприклад, α -глюкозидаза розщеплює тільки метил- α -D-глюкозид і не діє на його стереоізомер – метил- β -глюкозид. Стереохімічна специфічність властива не тільки ферментам, які каталізують розпад речовин, а й їх синтез.

Оборотність дії ферментів. Дослідження дії ферментів показало, що вони залежно від умов можуть каталізувати як пряму, так і оборотну реакції. Наприклад, фермент гліколізу глюкозофосфатізомераза каталізує перетворення глюкозо-6-фосфату в фруктозо-6-фосфат. За певних умов вона може каталізувати процес перетворення фруктозо-6-фосфату в глюкозо-6-фосфат. Вперше оборотність дії ферментів виявив ще в 1888р. російський учений О.Я.Данилевський, вивчаючи розщеплення білків ферментами шлункового соку.

Необхідно зазначити, що оборотність дії властива не всім ферментам. Цілий ряд реакцій синтезу і розпаду однієї й тієї самої сполуки каталізується різними ферментами.

Дія на ферменти активаторів та інгібіторів. На активність ферментів часто впливає наявність у розчинах ряду хімічних сполук. Одні з них підвищують активність ферментів, інші знижують. Перші називаються активаторами, а другі – інгібіторами (паралізаторами).

До речовин, які діють на ферменти як активатори, належать катіони металів і деякі аніони. Особливо часто як активатори ферментів використовують катіони магнію, калію, кальцію, марганцю, натрію, цинку, кобальту, аніони хлору. Наприклад, амілаза слини та амілаза підшлункової залози активується аніонами хлору. У ряді випадків катіони металів – заліза, магнію, цинку і деяких інших входять до складу простетичної групи ферментів і полегшують утворення фермент-субстратного комплексу. В інших випадках іони металів сприяють приєднанню небілкової частини до апофермента, або забезпечують утворення четвертинної структури ферментів.

Функцію активаторів ферментів можуть виконувати також і органічні речовини. Так, дія ліпази активується жовчними кислотами, а тканинні протеази підвищують свою активність внаслідок дії на них сполук, що містять сульфгідрильні групи – цистеїну, глутатіону тощо.

Інгібітори спричинюють гальмування ферментативних процесів. Механізм дії інгібіторів досить різний, та здебільшого він зводиться до двох типів гальмування: конкурентного і неконкурентного.

При конкурентному гальмуванні інгібітор має структуру, подібну до субстрату, тому між ними і виникає конкуренція за взаємодію з ферментом. Оскільки інгібітор є структурним аналогом субстрату, то він зв'язується з активним центром ферменту і кількість утворюваного фермент-субстратного комплексу зменшується, а тому знижується і ферментативна активність. Однак це гальмування є оборотним, бо після видалення інгібітора відновлюється здатність ферменту взаємодіяти із субстратом. Між субстратом і інгібітором існує певне кількісне співвідношення. Якщо концентрація інгібітора більша за концентрацію субстрату ($I > S$), то інгібітор, зв'язуючись з ферментом, виключає його з

відповідної реакції і субстрат не розщеплюється.

Якщо відбувається зворотне явище, тобто концентрація субстрату більша, ніж інгібітора ($S > I$), то з ферментом зв'язуватиметься субстрат, який далі розпадатиметься з утворенням продуктів реакції. Отже, дія конкурентних інгібіторів може послаблюватись або повністю зникати з підвищенням концентрації субстрату в навколишньому середовищі.

При неконкурентному гальмуванні інгібітор взаємодіє з важливими функціональними групами ферменту, які розміщені в більшості випадків на ділянці алостеричного центру ферменту. Це призводить до зміни структури активного центру і субстрат не може з ним з'єднатися, тобто фермент інактивується. Такий тип гальмування каталітичної активності ферментів називається ще алостеричним.

Алостерична регуляція активності ферментів. Суть даного виду регуляції дії ферментів полягає в тому, що ті або інші речовини діють на алостеричний центр, а останній, залежно від природи цих речовин, може зумовлювати відповідні структурні зміни в активному центрі. В одних випадках ці зміни спричиняють руйнування активного центру ферменту, а отже, і його інактивіацію. В інших – можуть виникати такі структурні зміни в активному центрі, які активують функцію ферментів.

Регулюючи дію на ферменти через алостеричні центри можуть виявляти гормони, продукти обміну речовин, медіатори нервової системи та інші речовини. Їх називають алостеричними ефекторами. Наприклад, збільшення концентрації молочної кислоти, яка є кінцевим продуктом гліколізу (молочнокислого бродіння), призводить до зниження активності гексокінази, тобто ферменту, що каталізує процес фосфорилування глюкози. Це в свою чергу гальмує всі основні етапи гліколізу, які ведуть до утворення молочної кислоти. Коли концентрація молочної кислоти знижується до норми, активність гексокінази відновлюється. У цьому випадку регулюючий вплив молочної кислоти відбувається за принципом зворотного зв'язку.

Відомо, що речовини, які утворюються у клітинах, є продуктами кількох послідовних реакцій. Щоб припинити процес утворення певної речовини, достатньо виключити якусь одну ланку цього процесу. Це свідчить про те, що в багатоступеневих процесах є один або незначна кількість ферментів, які мають алостеричні

властивості. Такі ферменти ще називають регуляторними. До них належать ферменти, які каталізують початкові реакції великих біохімічних циклів або вузлові реакції, тобто такі, які відбуваються на межі кількох циклів. Як бачимо, регуляторних ферментів існує значно менше, ніж звичайних. Дослідження показали, що регуляторні ферменти – це здебільшого складні ферменти. Їм властива четвертинна структура, яка складається з кількох субодиниць. В одній з них міститься каталітичний центр, в іншій – алостеричний.

5.4. Номенклатура та класифікація ферментів

Високі темпи розвитку ферментології за останні десятиліття привели до відкриття і вивчення властивостей великої кількості ферментів. Тепер відомо понад 2000 різних ферментів, причому з кожним роком це число зростає. Тому вже в 50-х роках минулого століття постала необхідність у розробці єдиної номенклатури і класифікації ферментів. У 1956р. Міжнародним біохімічним союзом було створено комісію, до складу якої ввійшли видатні біохіміки-ферментологи. Результати роботи комісії з номенклатури і класифікації ферментів схвалено на V Міжнародному біохімічному конгресі у Москві (1961 р.).

Згідно з новою номенклатурою назви ферментів складаються з двох частин, де перша вказує на назву субстрату, а друга (має суфікс «аза») – на природу хімічної реакції. Перша частина назви ферменту з другою з'єднується дефісом. Наприклад, фермент, який каталізує гідроліз дипептиду, що складається з залишків амінокислот гліцину і L-лейцину, має назву гліцил-L-лейцин-гідролаза.

Якщо фермент каталізує реакцію між двома субстратами, зокрема перенесення окремих атомів або груп атомів з одного субстрату на другий, то в першій частині назви ферменту наводяться назви обох субстратів, розділені двома крапками, а в другій частині, яка з'єднана з першою дефісом, вказується природа хімічної реакції. Наприклад, фермент, що каталізує реакцію перенесення залишку фосфорної кислоти від АТФ на D-глюкозу з утворенням D-глюкозо-6-фосфату, має назву АТФ:D-глюкозо-6-фосфотрансфераза.

Крім нової систематичної номенклатури, використовується і так звана тривіальна (робоча) номенклатура. Наприклад, фермент

гліцил-L-лейцин-гідролазу за тривіальною номенклатурою називають гліциллейциндипептидазою, а фермент АТФ:D-глюкозо-6-фосфотрансферазу називають глюкочіназою. У багатьох випадках як тривіальні назви збережені старі загальноприйняті назви ферментів, зокрема такі, як ліпаза, пепсин, трипсин та інші.

В основу класифікації ферментів покладено принцип розподілу їх за типами тих хімічних реакцій, які вони каталізують. Усі відомі ферменти поділяють на шість класів:

1. Оксидоредуктази – каталізують окисно-відновні процеси.
2. Трансферази – прискорюють реакції перенесення окремих атомів і груп атомів від одних субстратів до інших.
3. Гідролази – каталізують гідролітичні реакції.
4. Ліази – каталізують процеси відщеплення яких-небудь груп не гідролітичним шляхом з утворенням подвійного зв'язку або навпаки, приєднання відповідних груп атомів по місцю подвійного зв'язку.
5. Ізомерази - прискорюють процеси ізомеризації органічних сполук.
6. Лігази (синтетази) – каталізують реакції синтезу, які зв'язані з використанням енергії АТФ та деяких інших трифосфатів.

Наведені класи ферментів поділяються на підкласи, а останні – на підпідкласи. Підпідкласи складають уже з окремих представників ферментів. Кожний фермент має свій номер (шифр). Наприклад, фермент гліцил-L-лейцин-гідролаза має номер 3.4.3.2. Перша цифра (3) означає, що цей фермент належить до третього класу (гідролаз); друга цифра (4) свідчить про належність його до четвертого підкласу (пептидгідролаз), куди входять ферменти, що каталізують розщеплення пептидних зв'язків; третя цифра (3) означає, що цей фермент належить до третього підпідкласу (дипептидгідролаз), який об'єднує групу ферментів, що прискорюють процеси гідролізу дипептидів, і остання цифра (2) показує порядковий номер ферменту у підпідкласі. Отже, шифр даного ферменту записують: КФ 3.4.3.2.

Ферментні препарати, на відміну від чистого фермента містять комплекс білків, близьких до основного за молекулярною масою і властивостями. Вони характеризуються певними одиницями активності, запропонованими комісією з ферментів Міжнародного Біохімічного Союзу.

1. Стандартна одиниця ферменту – кількість ферменту, яка каталізує перетворення 1 мкмоль субстрату за 1 хв при заданих умовах;
2. Молекулярна активність це число молекул субстрату, яке за 1хв перетворює 1 молекула ферменту за оптимальної концентрації субстрату;
3. Катал – каталітична активність фермента, здатна здійснювати реакцію зі швидкістю 1 моль/с. Стандартна одиниця фермента 1Е = 16, 67 нкатал.
4. Питома активність – число стандартних одиниць (Е) фермента, яке приходить на 1 мг білка у ферментному препараті.

5.5. Застосування ферментів у харчових технологіях

Чим більше збагачуються наші знання про ферменти, тим ширше використовуються вони в різних галузях. Важливим є те, що ферментні виробництва не потребують складного устаткування і значних матеріальних витрат. Водночас цінним є відсутність у ферментів токсичних властивостей, шкідливих для організму людини і тварин.

Ферментативні процеси у харчовій продукції протікають як під дією власних ферментів харчової сировини, так і під дією ферментів мікроорганізмів. Так, наприклад, визрівання м'яса пов'язане з дією внутрішньоклітинних ферментів – катепсинів, скисання молока – з ферментами лактобактерій. Сучасне виробництво харчових продуктів неможливо уявити без застосування досягнень біохімії, мікробіології, біотехнології.

У світі різними фірмами за участю мікроорганізмів, з рослинної і тваринної сировини виробляється багато ферментних препаратів для різних галузей, у тому числі і для харчової промисловості, під різними комерційними і торговими назвами.

Назва ферментного препарату включає назву основного ферменту, назву мікроорганізма-продуцента із закінченням «ин». Наприклад, амілоризин (*Asp. oryzae*), протосубтилізін (*B.subtilis*). У назві також відображені спосіб культивування мікроорганізмів (Г – глибинне, П – поверхневе) і ступінь очищення (1Х, 2Х, 3Х, 10Х, 20Х).

Залежно від застосування до ферментативних препаратів висуваються вимоги не лише щодо їх складу і оптимальних умов дії,

але й до чистоти, вартості, наповнювача, безпеки для людини.

Остання вимога особливо стосується мікробних препаратів і, зокрема, одержаних з генетично модифікованих організмів. Такими ферментними препаратами, які дозволені і широко використовуються є α -амілаза з *V.stearothermophilus*, ген якої експресований у *V.subtilis* та хімозин А одержаний з *E.coli* K-12, цей мікроорганізм містить ген телячого прохімозину А.

5.5.1. Виробництво хліба. Застосування ферментних препаратів у хлібопекарській галузі залежить від якості сировини, а саме кількості та якості клейковини й активності власних ферментів борошна. Одержати пористий хліб, із рум'яною скоринкою можна, якщо на всіх етапах технологічного процесу буде достатньо простих цукрів, які зброджуються дріжджами і забезпечують газоутворення, а також утворення ароматичних речовин і коричневих продуктів у процесі реакції меланоїдиноутворення. Кількість моно- і дисахаридів у тісті залежить від активності β -амілази. Якщо її активність недостатня, то додають ферментні препарати.

Раніше для інтенсифікації гідролізу вуглеводів і білків у тісті використовували солод, який і зараз застосовують для спеціальних сортів хліба і приготування поживних середовищ для рідких дріжджів.

У наш час для регулювання біокаталітичних процесів при бродінні і випіканні хліба застосовують такі ферментні препарати, як амилоризин П10Х, який володіє аміло- і протеолітичною активністю.

Застосування протеолітичних ферментів залежить від кількості і якості клейковини що повинно контролюватись. Надмірний гідроліз білків знижує якість хлібопродуктів. Тому на хлібзаводах, кожну партію борошна перевіряють на активність власних ферментів і силу клейковини.

Розроблені способи покращення якості хліба шляхом додавання ферментного препарату ліпоксигенази, яку добувають переважно із соєвого борошна. Вона також міститься і в інших культурах, зокрема злакових та олійних. Цей фермент каталізує окиснення ненасичених жирних кислот (лінолевої, ліноленової) киснем повітря з утворенням гідропероксидів, які володіють високою окислювальною здатністю і реагують з такими компонентами борошна, як клейковинні білки, крохмаль, ферменти, пігменти. Завдяки цим процесам відбувається зміцнення

клейковини, зниження активності протеолітичних ферментів, освітлення борошна і тіста та ін. Активність ліпоксигенази пшениці може бути різною, залежно від сорту і якості зерна. Необхідне точне дозування ферментного препарату, так як інтенсивне окиснення вільних жирних кислот може погіршити якість хліба, надати продукту неприємний запах, прогірклий смак, токсичні властивості, зумовлені присутністю пероксидів і гідропероксидів жирних кислот.

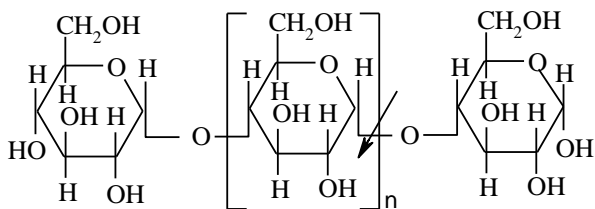
5.5.2. Виробництво крохмалопродуктів. Основними продуктами крохмало-паточного виробництва є:

- сухий крохмаль і модифіковані крохмалі;
- декстрини;
- крохмальні патоки (карамельна, глюкозна, мальтозна);
- глюкоза (технічна, харчова, кристалічна);
- глюкозо-фруктозні сиропи.

Гідроліз крохмалю у промисловості включає стадії клейстеризації, розрідження клейстера і його оцукрювання. При ферментативному методі гідролізу 30-35% суспензію крохмалю нагрівають до 55°C (при рН=6,3-6,5), додають розчин амілосубтилізину Г10Х та розчин кальцінованої соди (як стабілізатора) і витримують 1 год. при температурі 85-90°C при постійному перемішуванні. Потім декстринізацію і оцукрювання проводять 2-3 год. при 53-85°C і рН 4,7-5,5 з використанням амілосубтилізину Г10Х, амілорізину Г10Х і П10Х. Умови залежать від бажаного результату. Інтенсивність гідролізу крохмалю залежить від багатьох факторів: стану субстрату, його доступності для амілаз тощо. Важливу роль відіграють протеолітичні ферменти, які сприяють звільненню крохмальних зерен від запасних білків, звільненню власних амілаз зерна. Інактивація ферментів, тобто зупинка процесу гідролізу здійснюється нагріванням розчину 20 хв при 80°C

Для одержання продуктів гідролізу крохмалю, необхідних не лише у харчовій (кондитерській, консервній, хлібобулочній, молочній), але й інших галузях застосовуються різні ферментні препарати амілаз. Вони відрізняються між собою за специфічністю дії на субстрат.

α-Амілаза гідролізує 1-4-зв'язки всередині молекул крохмалю (амілози, амілопектину), перетворюючи його в декстрини.



Цей процес необхідний при переробці крохмалю, але в хлібопекарській галузі повинен бути обмеженим, особливо при приготуванні житнього хліба. При $pH=3,3-4,0$ α -амілаза руйнується.

β -Амілаза відщеплює мальтозу від нередукуючого кінця ланцюга, розриваючи глікозидні зв'язки через один. β -амілаза менш термостабільна, але стійка при $pH=3,3$.

γ -Амілаза (глюкоамілаза) від молекул амілози й амілопектину відщеплює послідовно глюкозу. Виробляють її з грибів *Aspergillusrhizopus*.

Глюкозоізомеразу (Н.Ф.5.3.1.18) застосовують для одержання глюкозо-фруктозних сиропів. Застосування базується на реакції ферментативної ізомеризації глюкози у фруктозу. Процес з іммобілізованим ферментом триває 20-24 години при $60^{\circ}C$ і $pH = 7,0-8,5$ до одержання у розчині 42% фруктози і 52% глюкози. Для підвищення активності ферменту в субстрат додають йони магнію і кобальту. Такі сиропи завдяки більш солодкому смаку застосовують у дитячому і дієтичному харчуванні, виробництві безалкогольних напоїв, кондитерських виробів, морозива.

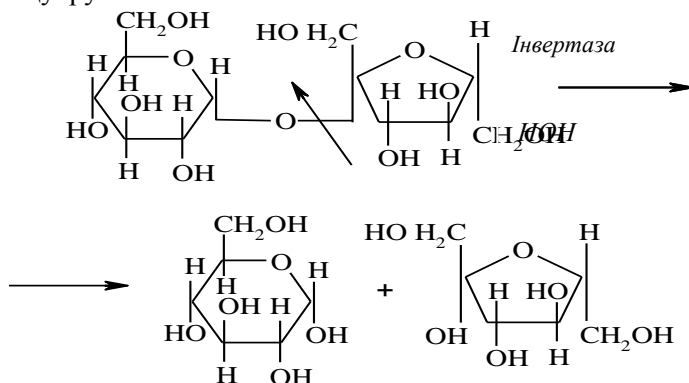
5.5.3. Кондитерське виробництво. У кондитерському виробництві застосовують комплексні ферментні препарати, які містять активні протеази й α -амілазу. Їх підбір залежить від виду кондитерських виробів, якості борошна і необхідності прискорення бродіння і визрівання тіста, корекції властивостей клейковини і реологічних властивостей тіста.

Так, при виробництві печива, пряників, вафель, бісквітів необхідна слабка клейковина. Для зниження в'язкості тіста і одержання розсипчастих виробів доцільно контрольовано застосовувати протеолітичні ферменти з невисокою α -амілазною активністю.

Застосування протеаз і амілаз при виробництві дріжджових виробів забезпечує наявність простих цукрів для бродіння, а також

низькомолекулярних азотистих сполук, які беруть участь в реакції мелаїдиноутворення, покращуючи аромат і колір кулінарних і кондитерських виробів. Комплексні ферментні препарати, які містять протеази й амілази, застосовують також для листового тіста з метою підвищення його еластичності і забезпечення більшого об'єму при випіканні.

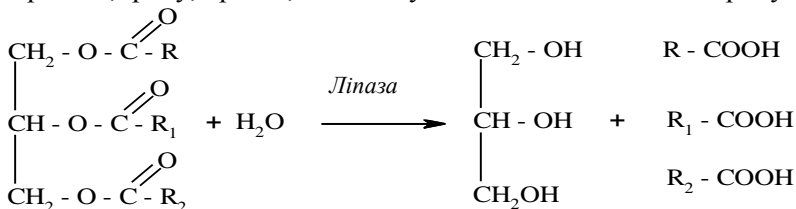
Інвертаза (β -фруктофуранозидаза) застосовується для гідролізу сахарози з утворенням суміші глюкози і фруктози, або інвертного цукру:



Інвертний цукор застосовується для виробництва формових помадкових цукерок, рідких фруктових начинок, глазури для тортів і тістечок, так як забезпечує не тверду, або напіврідку консистенцію розчинів цукру з високою концентрацією (78%), яка необхідна для довготривалого зберігання виробів.

Препарати інвертази одержують із дріжджів *Sacharomicescerevisiae* або *S.carlsbergensis* шляхом автолізу.

Ліпаза, гідролізуючи жири до гліцерину і вільних жирних кислот, бере участь в утворенні аромату молочного шоколаду, карамелі, ірису, кремів, до складу яких входять молочні продукти.



Використовуючи препарати ліпаз різного походження (тваринного, рослинного, з мікроорганізмів) для модифікації різних

жирів і олій можна одержати різні ароматичні речовини.

5.5.4. Виробництво соків, безалкогольних напоїв, вин.

Ферментні препарати в цій галузі застосовуються з метою підвищення виходу соків, освітлення і стабілізації напоїв, одержання однорідної консистенції соків з м'якоттю, попередження окиснювальних процесів і розвитку аеробної мікрофлори, для інверсії сахарози у виробництві безалкогольних напоїв і сиропів та ін. Застосування ферментних препаратів повинне відповідати умовам технології одержання продукту і забезпечувати якість харчового продукту.

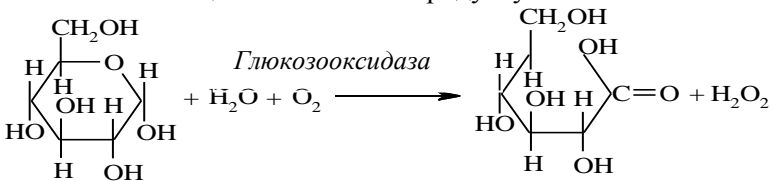
Комплекс *пектолітичних* ферментів забезпечує гідроліз насамперед пектинових речовин, а також білків, целюлози, геміцелюлози та інших компонентів сировини, оскільки до складу таких препаратів входять різні ферменти.

Залежно від складу сировини з метою максимального одержання соку, його освітлення необхідно застосовувати препарати з певним комплексом ферментів (пектинестераза, ендота екзополігалактуронідаза, кислі протеїнази та ін.) та їх належним співвідношенням, враховуючи властивості ферментів сировини.

Пектолітичні ферменти знижують густину соків і непридатні для виробництва соків з м'якоттю. Для одержання гомогенних соків з м'якоттю застосовують мацеруючі ферментні препарати (геміцелюлазу, целюлазу), які розщеплюють протопектин, але не знижують густину соків, сприяють однорідній їх консистенції.

Застосування глюкозооксидази і каталази, (яка теж присутня у попередніх комплексах ферментів) ґрунтується на їхній здатності видаляти кисень з сировини шляхом окиснення глюкози.

Тому цей препарат попереджає процеси потемніння напоїв у результаті окиснення фенольних сполук і розвитку аеробної мікрофлори. Препарат вносять у напої перед герметизацією тари з метою стабілізації властивостей продукту.



Такі ферменти повинні бути стійкими до температури пастеризації (65-75 °С), активними в кислому середовищі соку

(рН=2,5-4,5) і 10-12% вмісту спирту у виноматеріалі. При виробництві продукції з світлої сировини ферменти не повинні спричиняти потемніння, а при застосуванні сировини забарвленої антоціанами, каротиноїдами не повинні розрушати природні барвники.

5.5.5. Алкогольні напої виробляють у світі переважно з крохмаловмісної сировини (жита, кукурудзи, пшениці, картоплі, рису та ін.). Крохмаль є джерелом цукрів для спиртового бродіння, але дріжджами він не зброджується. Його необхідно гідролізувати до простих цукрів, що здійснюють на виробництві з використанням солоду або мікробних ферментних препаратів амілаз.

Як солод, так і ферментні препарати мікробного походження не лише гідролізують крохмаль до простих цукрів, але й розщеплюють білки до амінокислот, забезпечуючи дріжджі цінним азотним живленням, а також частково руйнують клітинні стінки сировини, що сприяє інтенсифікації ферментативного процесу. Так як швидкість оцукрювання крохмалю солодом невисока і триває близько 3 діб, тому частіше застосовують мікробні ферментні препарати. Їх застосовують також на стадії приготування суслу для гідролізу білків, а також щоб знизити в'язкість сировини, полегшити її варіння і транспортування.

У пивоварінні часто використовують такі ферментні препарати: амилоризин ПХ, П10Х, амилосубтилін Г10Х, Г20Х, протосубтилін Г10Х, циторозелін ПХ. Для боротьби з мутністю пива іноді застосовують як рослинні так і мікробні протеази, тому що осад містить в основному 40-76% білків. Частіше використовують папаїн (добувають з незрілих плодів динного дерева) і поєднані з ним у комплексі ферменти, тому що цей препарат термостабільний, зберігає активність після пастеризації.

Протеолітичні ферменти (тваринні, рослинні і мікробні) каталізують гідроліз пептидних зв'язків у молекулах білків і пептидів.



Рослинні протеази: папаїн, фіцин, бромелаїн, використовують у виробництві сиру, спирту, для зниження мутності соків, вина, пом'якшення м'ясних напівфабрикатів. Їх перевага у тому, що вони діють на білки сполучної тканини м'яса (колаген, еластин), на відміну від мікробних препаратів, які гідролізують насамперед

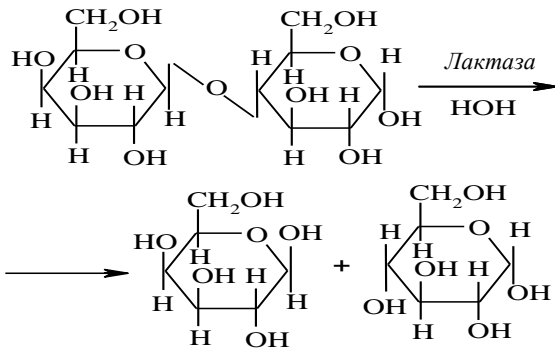
м'язові білки.

Тваринні ферменти ренін і трипсин використовують для звертання казеїну молока у сироварінні. Найбільш важливими для цієї галузі є мікробні замітники реніну - препарати протеаз з *Mucorpusillus* *Mucormieher*.

5.5.6. Імобілізовані ферменти у харчовій галузі застосовують обмежено із-за відносно високої їх собівартості. Імобілізація ферментів – це закріплення їх одним із способів на нерозчинній у воді матриці. Після завершення реакції вони легко відділяються з розчину і використовуються повторно до зниження активності ферментів на 50-60%. Способи імобілізації (хімічні, фізичні), як і природа матриці (полімерні гелі, пористі матеріали, целюлоза та ін.) можуть бути різними.

Імобілізовані ферменти використовують для одержання фруктозних сиропів з використанням імобілізованої на целюлозному іонообміннику глюкозоізомерази, гідролізу лактози у молоці і одержання цукрів з сироватки з участю лактази (β -галактозидази), розділення рацемічних сумішей амінокислот з використанням пліснявої аміноацилази. Можливе застосування таких ферментів у виробництві сиру, для стабілізації молока та інших процесах харчової промисловості.

β -галактозидаза (лактаза) каталізує розщеплення молочного цукру – лактози на складові моносахариди: глюкозу і галактозу.



Таким методом одержують безлактозне молоко і виділяють цукри з сироватки, де їх залишається близько 5%. Для молока більше підходить дріжджова лактаза (*Sacharomycesfragilis*), а для

сироватки – грибкова (*Aspergillusniger*). Імобілізований фермент у різних країнах на різних носіях: целюлозі, поліакриламідному гелі.

5.5. Ферментативні методи аналізу харчових продуктів

Основними перевагами застосування ферментативних методів аналізу якості харчових продуктів, у розробці нових харчових технологій і біотехнологічних процесів є:

- висока специфічність і достовірність результатів;
- прості способи підготовки проб;
- проста і швидка процедура вимірювань, яка виключає застосування дорогого обладнання;
- висока чутливість методу і відновлювальність результатів;
- надійність, низька вартість, безпечність.

Ферментативні методи аналізу застосовують у різних харчових технологіях: для контролю якості сировини і готової продукції, аналізу складу харчових продуктів з метою встановлення відповідності їх властивостей нормативним показникам, у тому числі санітарно-гігієнічним, для виявлення псування і фальсифікації продукції.

Наприклад, на виробництві молочних продуктів контроль за мікробним забрудненням сировини здійснюють, визначаючи активність редуктази, яка потрапляє у молоко разом із бактеріями. Контроль за пастеризацією продукції здійснюють за активністю фосфатази, яка інактивується при 70⁰С.

Завдяки досягненням сучасної ензимології можливості застосування ферментів для моніторингу харчових систем постійно зростають. Трудомісткі аналітичні методи замінює біосенсорний аналіз на основі іммобілізованих ферментів і клітин мікроорганізмів. Його використовують як для оцінки вмісту різних органічних сполук, так і токсичних компонентів, що важливо для визначення безпеки харчової продукції і продовольчої сировини.

Розділ 6. МІНЕРАЛЬНІ РЕЧОВИНИ

6.1. Класифікація мінеральних речовин та їх роль в організмі

У природі відбувається постійний кругообіг хімічних елементів, в тому числі за участю живих організмів, так звана біогенна міграція. Зміни, що відбуваються у верхніх шарах земної кори, впливають на хімічний склад живих організмів. В.І. Вернадський вважав, що в складі живих організмів можна виявити всі ті хімічні елементи, які є в земній корі. Подальший розвиток ідеї В.І. Вернадського продовжений у працях А.П. Виноградова, який досліджував закономірності розподілу та нагромадження хімічних елементів у живих організмах. Ним було встановлено, що існує один і той самий закон розподілу хімічних елементів у літосфері і біосфері, і що хімічний склад живих організмів характеризує хімічний склад навколишнього середовища.

Нині в організмі людини виявлено понад 70 хімічних елементів, більшість з яких присутні в організмі постійно і відіграють важливу роль у забезпеченні процесів життєдіяльності. Ці елементи називаються біогенними. Припускають, що в живих організмах знаходяться всі відомі хімічні елементи і їх нукліди.

Маса живих організмів на 90% складається з шести хімічних елементів: вуглецю, азоту, кисню, водню, сірки, фосфору. Враховуючи роль цих хімічних елементів у будові живого організму, їх назвали органогенними. Решта хімічних елементів складають лише 1% маси живих організмів. За кількісним вмістом усі хімічні елементи, які входять до складу живих організмів, поділяють на макро-, мікро- та ультрамікроелементи. Вміст макроелементів в організмі знаходиться в межах 0,01% ($10^{-2}\%$). До них належать такі хімічні елементи, як O, C, H, Ca, K, Na, S, P, Mg, Cl. Вміст мікроелементів у живих організмах становить від 10^{-3} до $10^{-5}\%$. До мікроелементів відносять Fe, Mn, Zn, Cu, V, Mo, Co та ін. Елементи, вміст яких в організмі менше ніж $10^{-12}\%$, називають ультрамікроелементами – Hg, Au, Ag та ін.

Існують і інші класифікації хімічних елементів. Так, А.І. Венчиков запропонував класифікацію хімічних елементів залежно від їхнього фізіологічного впливу на організм. За цією класифікацією всі хімічні елементи, що беруть участь в обмінних

процесах організму, незалежно від їх кількісного вмісту, називають біогенними.

Мінеральні речовини мають досить важливе значення в організмі. Вони є структурною та функціональною основою існування живих систем, забезпечують нормальний перебіг численних метаболічних процесів, підтримання показників гомеостазу організму – осмотичного тиску, кислотно-лужної рівноваги, стимулюють нормальне функціонування серцево-судинної, нервової і м'язової систем, кровотворення та енергетичні процеси. З'ясування механізму впливу іонів металів на обмінні процеси в організмі дає підстави стверджувати, що він значною мірою зумовлений взаємозв'язком їх з ферментними системами організму.

Всі елементи, які у складі мінеральних солей, комплексних сполук, органічних речовин входять до складу живої матерії (кісток, зубів, гемоглобіну, гормонів, ферментів), є незамінними нутрієнтами, тобто обов'язковими в харчовому раціоні. Добова потреба організму в основних біогенних елементах подана у таблиці 21.

Надлишок або нестача мінеральних речовин є причиною порушення обміну білків, жирів, вуглеводів, вітамінів, що сприяє розвитку різних захворювань. Наприклад, нестача кальцію уповільнює ріст скелету; магнію – м'язові судоми; заліза – анемію, порушення імунної системи; цинку – ушкодження шкіри, уповільнення росту і статевої зрілості; міді – слабкість артерій, порушення діяльності печінки; марганцю – безпліддя; молібдену – уповільнення клітинного росту, схильність до карієсу; нікелю – депресії, дерматити; хрому – симптоми діабету; фтору – карієс; йоду – порушення діяльності щитоподібної залози, уповільнення метаболізму; селену – слабкість серцевого м'яза.

Причинами порушення обміну мінеральних сполук в організмі навіть при достатній їх кількості можуть бути:

- незбалансоване харчування;
- застосування методів кулінарної обробки харчових продуктів, при яких втрачаються мінеральні речовини, наприклад розморожування м'яса, риби у гарячій воді, не вживання відвару овочів і фруктів, куди переходять розчинні солі;

Таблиця 21. Добова потреба населення України у макро- і мікроелементах*

Вікова група	Ca, мг	P,мг	Mg, мг	Fe, мг	Se,мг	Cu, мг	Zn, мг	I, мг	F, мг
0-3місяці	400	300	50	4	10-15	0,3-0,5	3	40	
4-6 місяців	500	400	60	7	10-15	0,3-0,5	4	50	
7-12 місяців	600	500	70	10	10-15	0,3-0,5	7	60	
1-3 роки	800	800	100	10	10-15	0,3-0,5	10	70	
4-6 років	800	800	120	10	20	1,2	10	90	
6 р (учні)	800	800	150	12	30	1,5	10	100	
7-10 років	1000	1000	170	12	30	1,5	10	120	
11-13 (хлопчики)	1200	1200	280	12	40	2	15	150	
11-13 (дівчатка)	1200	1200	270	15	45	1,5	12	150	
14-17 (хлопці)	1200	1200	400	12	50	2,5	15	200	
14-17 (дівчата)	1200	1200	300	15	50	2	13	200	
Чоловіки 18-60	1200	1200	400	15	70		15	0,15	0,75
Жінки 18-60	1100	1200	350	17	50		12	0,15	0,75
Чоловіки 60-74	800	1200	400	15			15	0,15	
Чоловіки ≥ 75	800	1200	400	15			15	0,15	
Жінки 60-74	1000	1200	400	15			15	0,15	
Жінки ≥ 75 років	1000	1200	400	15			15	0,15	

* Наказ Міністерства Охорони Здоров'я України № 272 від 18.11.99 «Про затвердження Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії». Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 2 грудня 1999р. за № 834/4127.

- відсутність корекції раціону при особливих фізіологічних потребах організму, зміні зовнішніх факторів;

- порушення засвоєння мінеральних речовин в організмі.

Поряд з загальними закономірностями впливу мікро- і макроелементів на метаболічні процеси в організмі кожний з біоелементів виконує свою характерну лише для нього функцію.

6.2. Характеристика і біологічна роль макроелементів

Натрій –екстрацелюлярний елемент, який міститься в міжклітинному просторі у вигляді іонів. Іони натрію разом з іонами хлору забезпечують підтримання сталості осмотичного тиску та об'єму фізіологічних рідин організму, сприяють затримці води в ньому. Так, 1 г натрію може зв'язувати 25 г води. Натрій бере участь також у транспорті амінокислот, цукрів та інших сполук, у передачі нервових імпульсів, впливає на збудливість м'язових волокон та серцево-судинної системи. Іони натрію разом з іншими іонами забезпечують кислотно-лужну рівновагу крові та інших рідин організму. Вміст натрію в організмі становить 0,15%. Нестача його викликає порушення багатьох процесів і може супроводжуватись втратою апетиту, апатією, тахікардією.

Надлишок натрію також негативно впливає на стан організму, зокрема на серцево-судинну систему, функцію нирок, може підвищуватись тиск, з'являються набряки, судоми тощо. Добова потреба – 10-15 г у вигляді хлориду натрію.

Калій– інтрацелюлярний елемент, що міститься в усіх тканинах організму та травних соках. Вміст калію в організмі становить 0,35%. Він відіграє важливу роль у передачі нервових імпульсів у м'язових і нервових клітинах, забезпеченні осмотичних явищ, стимулює діяльність серцевих м'язів. При нестачі калію порушується синтез глікогену, з'являються серцева аритмія, набряки, посилюється розщеплення білків. Надлишок калію супроводжується порушеннями розумової діяльності, фізичного розвитку, функціонування систем організму. Добова потреба – 2-4 г. Міститься в картоплі, абрикосах, квасолі, чорносливі та багатьох інших овочах і фруктах. При надлишку калію спостерігається посилене виділення натрію з організму.

Кальцій. Вміст в організмі 1,5%. Майже 97% його міститься в кістках у вигляді нерозчинних солей фосфатної кислоти. Решта знаходиться в іонному вигляді, а також у комплексі з білками альбумінової фракції в усіх тканинах і рідинах організму. Невелика кількість міститься в крові у вигляді CaCl_2 . Солі кальцію відіграють важливу роль у регуляції процесів скорочення м'язів, зсідання крові, формуванні опірних і покривних тканин. Порушення всмоктування Са може спостерігатись при наявності у продуктах харчування

надлишку жирів, фосфатів, фітинової та щавлевої кислот. Добова потреба – 0,8-1 г.

Магній – досить важливий макроелемент. Міститься у плазмі крові, органах і тканинах, а також у вигляді фосфатів входить до складу кісткової тканини, де знаходиться основна його маса. Вміст магнію в організмі становить 0,15%, добова потреба – 0,3-0,5 г. Біологічна роль магнію різноманітна. Іони забезпечують формування просторової конформації таких важливих біополімерів, як білки і нуклеїнові кислоти та підтримання структури клітинних органел (мітохондрій, рибосом), що необхідно для виконання ними біологічних функцій.

Іони Mg^{2+} необхідні для функціонування багатьох ферментних систем. Важлива роль магнію також у забезпеченні процесів трансляції, транскрипції та реплікації. Іони Mg^{2+} виявляють синергічну дію з іонами Mn^{2+} та антагоністичну – з іонами Ca^{2+} . При нестачі магнію розвивається комплекс симптомів – апатія, слабкість, сонливість, спостерігається кальцифікація артеріальних судин, серцевого м'яза, нирок.

Хлор. Іони хлору разом з іонами Na^+ виконують важливу функцію – підтримують деякі показники гомеостазу в організмі. Майже 70% осмотичного тиску плазми забезпечується хлоридами. Важлива роль іонів хлору також у підтриманні кислотно-лужної рівноваги, рН шлункового соку. Іони хлору містяться в усіх біологічних рідинах організму. Вміст в організмі хлору становить 0,15%. Добова потреба забезпечується за рахунок вживання хлориду натрію – кухонної солі.

Сульфур. В організмі знаходиться у складі органічних та неорганічних сполук. Значна кількість сульфуру міститься в білках покривних тканин, входить до складу ферментів, гормонів, пептидів, а також багатьох інших сполук, які забезпечують численні реакції проміжного обміну в організмі. У вигляді сульфатів сульфур бере участь у знешкодженні різних токсичних продуктів обміну.

Фосфор. Основна маса фосфору в організмі міститься в складі органічних і неорганічних сполук. Кальцієві солі фосфору входять до складу кісткової тканини, виконуючи структурну функцію. У кістковій тканині міститься понад 75% фосфору. Значна кількість фосфору міститься в складі біополімерів клітин – білків, нуклеїнових кислот, ліпідів.

Фосфоліпіди та фосфопротеїди відіграють важливу роль в

утворенні мембранних структур клітини і клітинних органел. Фосфор входить до складу багатьох макроергічних сполук, які беруть участь в енергетичному обміні організму. Так, фосфор міститься в складі АТФ – основної енергетичної сполуки організму, а також креатинфосфату, який забезпечує біоенергетику скелетних м'язів та міокарду.

Неорганічні сполуки фосфору містяться в еритроцитах і плазмі крові у складі фосфатних буферних систем. Для організму важливе значення має підтримання еквівалентного співвідношення між фосфором і кальцієм (1:1,5). При порушенні цього співвідношення виникають розлади в діяльності організму. Підвищена потреба в даному макроелементі спостерігається при значних фізичних та розумових навантаженнях, туберкульозі. Добова потреба фосфору становить 0,8-1,2 г.

6.3. Характеристика і біологічна роль мікроелементів

Залізо. Біологічна роль заліза в організмі зводиться переважно до участі його в таких важливих процесах, як кровотворення та тканинне дихання. Іони Fe^{2+} входять до складу залізопорфіринових комплексів, які є складовою частиною гемоглобіну, міоглобіну, цитохромів, цитохромоксидази та інших ферментів, що забезпечують транспорт електронів по системі дихального ланцюга, входять до складу каталази, пероксидази та ряду інших ферментів.

В організмі людини залізо становить 2-5 г, з яких близько 70% міститься в гемоглобіні, 4-5% – в міоглобіні. Це так зване гемінове залізо. Крім того, в організмі міститься негемінове залізо у вигляді залізобілкового комплексу – ферритину. Ферритин є запасною формою заліза, яка міститься в печінці, селезінці, кістковому мозку. Незначна кількість заліза (0,1%) міститься у плазмі крові. Основним джерелом заліза для організму є продукти харчування тваринного походження. При недостатньому надходженні заліза в організм розвивається аліментарна (харчова) залізодефіцитна анемія, яка характеризується зниженням в крові вмісту еритроцитів та гемоглобіну.

Манган. Цей мікроелемент міститься в усіх органах, тканинах і рідинках організму і відіграє важливу роль у забезпеченні численних реакцій проміжного та внутрішньоклітинного обміну. Найбільший вміст даного мікроелемента в мозку, м'язах, печінці, а також у

продуктах рослинного походження.

Біологічний вплив мангану на обмінні процеси в організмі опосередкований взаємозв'язком його з деякими біологічно-активними сполуками: ферментами, вітамінами, гормонами. Манган позитивно впливає на процеси розвитку, росту, клітинного поділу, стимулює еритропоез, імунологічні процеси. Іони Mn^{2+} є активаторами ферментів, що забезпечують численні анаболічні та катаболічні процеси, у зв'язку з чим даний мікроелемент бере участь в обміні білків, вуглеводів, ліпідів. Манган посилює розщеплення білків, виявляє ліпотропний ефект і запобігає ожирінню.

Важлива роль мангану у вуглеводному обміні. Більшість ферментативних реакцій при анаеробному й аеробному розщепленні вуглеводів активується іонами Mn^{2+} . Манган є активатором ферментів, він посилює дію інсуліну, впливає на обмін вуглевод-білкових комплексів. Іони Mn^{2+} виявляють синергічну дію з іонами Mg^{2+} і можуть замінювати один одного на певних етапах метаболізму.

Манган фізіологічно пов'язаний з вітамінами B_1 , B_2 , B_{12} , С, Е. Так він позитивно впливає на синтез вітаміну С *in vitro*, сприяє підвищенню біологічної активності вітамінів B_2 і B_{12} , посилює засвоєння йоду організмом та синтез гормонів щитовидної залози. При нестачі даного мікроелемента розвивається анемія, послаблюється еритропоез, імунні реакції, виникають рахітоподібні зміни скелета, порушується діяльність ендокринних функцій центральної нервової системи. Добова потреба в мангані – 2-5 мг.

Мідь. Для життєдіяльності організму це також досить важливий біоелемент. Основна кількість мікроелемента зосереджена в печінці. В білках плазми мідь утворює комплекси з альбумінами та глобулінами.

Подібно до інших металів, іони міді здатні утворювати комплекси з молекулами різних органічних сполук, що зумовлює участь їх у різноманітних процесах обміну.

Існує тісний взаємозв'язок міді з ферментними системами, вітамінами і гормонами. Мідь посилює активність інсуліну, гормонів гіпофіза, статевих залоз, позитивно впливає на процеси росту, розвитку, еритропоез, виявляє гіпоглікемічну дію. Мідь є металокомпонентом багатьох ферментів, стимулює білковий, вуглеводний і мінеральний обміни, сприяє синтезу колагену, еластину, гемоглобіну. Добова потреба міді – 2-3 мг.

Кобальт. Цей мікроелемент характеризується різноманітною дією на ланки обміну речовин в організмі. Біологічна дія його опосередкована впливом на ферментні процеси, вітаміни і гормони. Кобальт позитивно впливає на гемопоез та синтез гемоглобіну, процеси обміну білків, вуглеводів, ліпідів, мінеральний обмін та обмін вітамінів. Кобальтопорфіриновий комплекс є складовою частиною ціанкобаламіну – вітаміну В₁₂, який відіграє важливу роль у процесах кровотворення. Мікродози кобальту поліпшують показники білкового та вуглеводного обмінів, сприяють синтезу білків, глікогену, виявляють ліпотропну дію.

Іони Co^{2+} здатні до комплексоутворення і є компонентами багатьох ферментних систем, або є активаторами ферментів. При нестачі кобальту виникає злаякісна анемія, порушуються процеси обміну. Добова потреба в кобальті – 40-70 мкг.

Цинк. Даний мікроелемент відіграє в організмі досить важливу роль. Він входить до складу ферментних систем, що беруть участь у різних метаболічних процесах, зокрема в синтезі і розпаді вуглеводів та жирів. Він також необхідний для нормального синтезу білків і нуклеїнових кислот, стабілізації структури ДНК та ряду інших процесів білкового обміну.

Цинк входить до складу молекули інсуліну, активує дію адреналіну, тестостерону та ряду інших гормонів. З наявністю цинку в організмі людини зв'язані процеси росту і розвитку, розмноження, імунітет, виведення CO₂ та окремі сторони енергетичного процесу в клітинах.

При нестачі цинку в організмі має місце затримка росту та статевого розвитку, розвивається анемія, спостерігається дратівливість та порушення координації рухів.

В організм людини цинк надходить переважно з їжею. Добова потреба організму людини в цинку складає 10-15 мг.

Нікель. Цей елемент належить до біоелементів, нестача чи надлишок якого спричиняє порушення багатьох ланок обміну речовин в організмі. Основна кількість мікроелемента зосереджена в підшлунковій залозі, гіпофізі, печінці, нирках.

Біологічна роль нікелю в організмі різноманітна. Він впливає на обмін білків, вуглеводів, ліпідів та інших біополімерів, на морфологічний склад крові, має виражений гемопоетичний ефект, нормалізує вміст гемоглобіну. Важлива роль Ni^{2+} в активації деяких ферментів. Нікель є досить важливим регулятором функції

підшлункової залози, посилює синтез інсуліну. Надмірне надходження даного мікроелемента в організм спричиняє порушення вуглеводного обміну і може бути причиною «нікелевої» сліпоти.

Молібден. Масова частка молібдену в організмі людини становить $10^{-5}\%$. Головним депо мікроелемента є печінка, нирки, залози внутрішньої секреції. Молібден є ефективним активатором деяких ферментних систем, які забезпечують катаболічні та анаболічні процеси. Відомі також металоензими, до складу яких входить молібден. Особливо важлива роль молібдену в забезпеченні біологічної активності ферментів, які сприяють катаболізму пуринів. Молібден позитивно впливає на синтез гемоглобіну та на процеси засвоєння нітрогену, на обмін вітамінів С і В₁₂, підвищує фагоцитарну активність лейкоцитів. Надмірне надходження молібдену в організм спричиняє дисбаланс деяких макро- і мікроелементів – посилене видалення з організму фосфору, заліза, цинку, міді. Добова потреба в молібдені – 0,15-0,30 мг.

Алюміній –незамінний біоелемент. Масова частка алюмінію в організмі $10^{-5}\%$. Основна кількість мікроелемента міститься в сироватці крові, печінці, кістках, нервовій системі, підшлунковій залозі. Біологічна роль, алюмінію ґрунтується на участі його у процесах формування епітеліальних клітин і сполучної тканини, обміні фосфатів. Низькі біотичні дози алюмінію виявляють активуючу дію на ферменти білкового та вуглеводного обміну, а більш високі – виявляють протилежний ефект. Солі алюмінію утворюють комплекси з білками, тому використовуються як в'язучі, антизапальні, кровозупинні засоби. Добова потреба в алюмінії – 49 мг.

Бор – знаходиться в організмі в кількості $10^{-5}\%$, зосереджується в легенях, селезінці, ендокринних залозах, нирках, мозку. Біологічна роль бору вивчена недостатньо. Відома певна роль бору в вуглеводному і білковому обмінах, а також в обміні деяких біологічно-активних сполук (вітамінів, гормонів, ферментів). Надлишок бору в організмі спричиняє порушення багатьох ланок обміну, може бути причиною ендемічних ентеритів. Біологічні дози виявляють антиепілептичний ефект.

Йод–життєво необхідний мікроелемент. Вміст в організмі $10^{-4}\%$, або 25 мг. Основна кількість йоду концентрується в щитовидній залозі (15 мг), а решта – в різних органах – печінці,

нирках, крові, мозку. Вміст йоду в крові є своєрідною константою і становить 10^{-6} - $10^{-5}\%$.

Основна біологічна функція йоду – синтез гормонів щитовидної залози. При нестачі йоду розвивається захворювання ендемічний зоб, порушуються процес росту, розвитку, формування кісткової тканини. Йод впливає на водно-сольовий обмін, окисно-відновні процеси, фагоцитарну активність лейкоцитів, позитивно впливає на фізичний та психічний розвиток. Добова потреба становить 70-150 мкг.

6.4. Вміст мінеральних речовин у харчових продуктах. Вплив технологічної обробки на їх мінеральний склад

Визначення природного вмісту макро- і мікроелементів у харчових продуктах необхідне для вивчення їх балансу і біологічної ролі в організмі людини, здійснення профілактичних заходів та раціонального харчування.

Дані досліджень вмісту мінеральних сполук у продуктах рослинного і тваринного походження досить часто різняться із-за цілого ряду певних причин. Так, для кожного виду рослин існує певна здатність поглинати і накопичувати відповідні елементи із ґрунту. Разом з тим, вміст мінеральних елементів в ґрунті залежить від його складу, фізичних і хімічних властивостей, кліматичних і погодних умов, застосування мінеральних добрив і багато інше. Наприклад, кисле середовище ґрунту сприяє засвоєнню рослинами мангану, а нейтральне і лужне середовище – молібдену. Такі елементи як манган і залізо затримують надходження кобальту в рослини.

Мінеральні сполуки нерівномірно розподіляються і в органах рослин. Так, корені бобових концентрують Cu, Mo, Pb, Cr, Sr, Ba, а плоди Cu, Mn Ni. Часто мінеральні сполуки концентруються в периферичних частинах плодів, у зародку, оболонці зерна та зеленому листі.

Нерівномірний розподіл мінеральних сполук має місце також у продукції тваринного походження. Їх вміст переважно знижується у ряду: печінка, нирки, легені, мозок, серце, м'ясо, молоко. Незважаючи на порівняно незначну кількість біогенних елементів у молоці, на думку більшості дослідників, вони знаходяться у найбільш збалансованому співвідношенні у цьому продукті, що

сприяє нормальному розвитку молодого організму.

Найкращим джерелом Са є молокопродукти, а також зелена цибуля, петрушка, квасоля. У сирах міститься до 1000 мг Са на 100 г продукту.

На Mg багаті в основному рослинні продукти, а саме різні крупи (40-200 мг/100 г продукту), висівки, бобові, чорнослив, курага.

Основна частина К потрапляє в організм з рослинними продуктами: картоплею, бобовими та іншими плодами і овочами (100 – 600 мг/ 100г продукту). Багаті на К сухофрукти, шпинат, морська капуста, а також молоко.

Na і Cl присутні у всіх харчових продуктах (10-20 г/кг). Більше їх міститься у готових кулінарних продуктах: сирах, м'ясопродуктах, що пов'язано із добавлянням до них кухонної солі. Свіжі овочі і фрукти містять близько 10 мг/кг NaCl.

Велика кількість P міститься у продуктах тваринного походження, особливо в печінці, ікрі риб (до 500 мг/100 г продукту), молокопродуктах, а також крупах, бобових (300-350 мг/100 г). З рослинних продуктів P засвоюється гірше, ніж із тваринних.

Вміст S переважає у білковій продукції тваринного походження: яловичині, свинині, рибі (морський окунь, тріска, ставрида), яйцях, сирі.

Найкращим джерелом Fe є м'ясо і особливо субпродукти (до 200 мг/100 г), сир. Також Fe широко розповсюджено у яйцях, яблуках і персиках, гречаній крупі і пшоні, бобових (50-60 мг/кг).

Джерелом Cu є такі харчові продукти як печінка (20 мг/кг), яловичина, ячний жовток, зелені овочі, морепродукти, горіхи, бобові і зернові.

Багаті на Si морепродукти: у печінці тріски його міститься близько 800 мкг/100г продукту, у морській рибі близько 50 мкг/100 г, у морській капусті – від 50 до 70000 мкг/100 г продукту. В Україні, особливо західних регіонах знижений вміст J у ґрунті обумовлює нестачу цього мікроелемента у воді і продуктах харчування. Для попередження захворювання щитоподібної залози до кухонної солі добавляють незначну кількість KJ(25 мг/кг). Необхідно враховувати, що J леткий і його кількість знижується при зберіганні і кулінарній обробці продуктів.

Основне джерело F – вода (1 мг/1 л). Продукти рослинного і тваринного походження містять незначну кількість цього

мікроелемента, яку вони одержують з ґрунту і води. Більше F міститься у рибі, телятині, вівсяній крупі, горіхах, чаї (16-400 мг/кг сухого листа).

Багатим джерелом Cr є пивні дріжджі, печінка (10-80 мкг/кг). Менше його міститься у яловичині, бобових, перловій крупі, хлібі з висівками, сирі.

Більше всього Mn міститься у чаї, каві, клюкві, горіхах, бобових, зернових (2-100 мг/кг), зелені. Менше його в каштанах, какао, овочах і фруктах.

Значна кількість Zn міститься у м'ясопродуктах (20-60 мг/кг) і молокопродуктах (3-5 мг/кг), а також бобових (5-50 мг/кг), крупах, горіхах, часнику, грибах, буряку (до 10 мг/кг), картоплі, цибулі.

Багатим джерелом Se є зернові продукти (0,04-20 мг/кг), м'ясо, субпродукти, морепродукти.

Со багато у морській капусті, горосі, полуницях, порічках. Ni міститься у харчових продуктах у незначній кількості (менше 1 мг/кг). У винах і пиві вміст Ni відповідно 100 і 50 мкг/л.

Харчові продукти рослинного походження містять у десятки разів більше Al, ніж тваринні. Багаті ним шпинат (490 мг/кг), рис, борошно.

При переробці харчової сировини вміст мінеральних сполук, за виключенням хлориду натрію, знижується.

У зернових близько $\frac{2}{3}$ мікро- і макроелементів втрачається із видаленням оболонки і зародку. При очищенні овочів і картоплі втрачається 10-30% мінеральних сполук, а при їх тепловій обробці – від 5 до 30%.

Таблиця 22. Порівняльний аналіз мінерального складу пшеничного борошна вищого сорту і борошна з цілого зерна (у мг/кг)

Мінеральні елементи	Дерть	Борошно в.с.
Ca	41	16
P	372	87
Fe	3,3	0,8
K	370	95
Mg	60	16
Zn	3,5	0,07
Cu	1,0	0,32
Mo	0,14	0,02
Mn	3,2	0,83
Cr	0,014	0,002

М'ясні і рибні продукти втрачають кальцій і фосфор при відділенні від кісток, але при тепловій обробці з кістками можливе підвищення вмісту кальцію на 20%. При різних способах теплової кулінарної обробки всього втрачається від 5 до 50% мінеральних сполук.

У технологічних процесах різні метали можуть потрапляти до харчових продуктів із обладнання і тари. Наприклад, при приготуванні хліба вміст заліза може підвищитися на 30%, але разом із залізом у продукт можуть переходити різні токсичні домішки. У консервованих продуктах можуть бути виявлені свинець, кадмій, олово із-за неякісного захисного лакового шару, або пошкодження тари.

Деякі метали (залізо, мідь) можуть бути каталізаторами небажаних окислювальних процесів, наприклад, при зберіганні жирів. А при зберіганні напоїв у присутності металів спостерігається їх потемніння.

6.5. Методи визначення мінеральних речовин у харчових продуктах

Для аналізу мінеральних речовин у харчових продуктах в основному використовуються фізико-хімічні методи: оптичні й електрохімічні. Вони потребують мінералізації об'єкта, яка може бути «сухою» і «мочною».

«Суша» – це спалювання і прокалювання дослідного зразка за певних умов. «Мокра» передбачає обробку продуктів концентрованою кислотою (нітратною, сульфатною).

Фотометричний аналіз (абсорбційна спектроскопія) базується на поглинанні молекулами речовини випромінювання певної довжини хвиль. Аналіз міді, заліза, хрому, марганцю, нікелю та інших елементів можна проводити спектрофотометричним або фотоелектроколориметричним методом.

Фотоелектроколориметрія базується на вимірюванні поглинання забарвленими розчинами монохроматичного випромінювання видимого спектра. Речовину переводять у забарвлену сполуку реакцією з певними реагентами. Фотоелектроколориметр обладнаний світлофільтрами.

Спектрофотометрія базується на вимірюванні поглинання монохроматичного випромінювання в ультрафіолетовій, видимій та

інфрачервоної області спектра. Прилад оснащений диспергуючими призмами і дифракційними решітками.

Емісійний спектральний аналіз базується на вимірюванні довжини хвилі, інтенсивності світла, яке випромінюють атоми і йони речовини у газовому стані. Температура електричної дуги (іскрового розряду) для переведення речовин у газовий стан 7000-10000°C.

Атомно-адсорбційна спектроскопія базується на здатності вільних атомів елементів в газах полум'я поглинати світлову енергію певної довжини хвиль.

Розділ 7. ХАРЧОВІ ДОБАВКИ

7.1. Загальна характеристика та класифікація харчових добавок

Харчовими добавками є сполуки природного і синтетичного походження, які додаються у процесі виробництва харчової продукції з метою удосконалення технологічного процесу, підвищення його ефективності, покращення споживчих властивостей харчових продуктів, підвищення вмісту цінних компонентів, збільшення терміну зберігання.

В останні десятиліття різко збільшився асортимент харчових добавок, які використовуються в харчовій галузі України та поступають на ринок у складі імпортованої продукції. Зростаюча кількість синтетичних сполук, які використовуються у харчовій галузі, є комерційною потребою виробників, проте часто суперечить принципам безпеки продукції та збереження здоров'я населення. Тому в умовах погіршення екологічного стану довкілля, підвищення рівня захворюваності населення нагальним є питання безпеки харчових добавок для організму людини та контролю за їх вмістом у продуктах харчування. Актуальність безпеки харчових добавок особливо зростає для дітей та людей похилого віку, до організму яких протягом тривалого періоду надходить значна кількість різноманітних синтетичних сполук, які здатні до акумуляції, можуть взаємодіяти між собою з утворенням більш токсичних речовин.

Використовують добавки у мінімальній кількості, не вище встановленого максимального допустимого рівня (МДР), що

передбачено відповідними документами. МДР дозволених харчових добавок встановлюється експериментально, залежно від допустимого добового надходження (ДДН), яке людина може засвоювати впродовж всього життя без шкоди для здоров'я. Допустимий рівень певної добавки не однаковий для різних продуктів, які надходять для реалізації на територію України, виробляються підприємствами харчової промисловості та громадського харчування незалежно від їх підпорядкування та форм власності.

В Україні питанням застосування харчових добавок у виробництві продуктів харчування займається Департамент Державного санітарно-епідеміологічного нагляду МОЗ України. Впровадження у виробництво харчових добавок на відповідних підприємствах здійснюється під контролем установ державної санітарно – епідеміологічної служби на місцях. Дозвіл на використання нових добавок дає Головний державний санітарний лікар України на підставі висновку державної санітарно – епідеміологічної служби.

Згідно з Законом України «Про якість та безпеку харчових продуктів і продовольчої сировини» забороняється реалізація і використання вітчизняних та ввезення в Україну імпортних харчових продуктів без маркування державною мовою України про склад харчового продукту із зазначенням переліку всіх, використаних у процесі виготовлення харчових добавок, інших речовин, або сполук. Згідно Міжнародної цифрової системи (INS), запровадженої спеціалізованою міжнародною організацією – Об'єднаним комітетом експертів ФАО/ВООЗ з харчових добавок і контамінантів (JECFA), кожна добавка має свій номер з індексом E, зрозумілий у всіх країнах світу.

Класифікація харчових добавок

Харчові добавки класифікують за різними критеріями. За призначенням їх поділяють на:

1. Регулятори смаку і аромату: підсолоджувачі, смакові добавки, ароматизатори.
2. Регулятори консистенції: згущувачі, стабілізатори, емульгатори, розріджувачі, розпушувачі, драгле- і піноутворювачі.
3. Поліпшувачі зовнішнього вигляду: барвники, відбілювачі.
4. Харчові добавки, які подовжують термін зберігання продуктів: консерванти, антиоксиданти.

5. Поліпшувачі складу: харчові волокна, вітаміни, амінокислоти, білки.

6. Харчові добавки, необхідні в технологічному процесі виробництва продуктів: прискорювачі технологічного процесу, фіксатори нестійких сполук, тощо.

Спеціальна комісія Кодекс Аліментаріус FAO/WHO поділяє харчові добавки на 23 функціональних класи, які наведено в таблиці.

Таблиця 23. Класифікація харчових добавок

№	Функціональні класи	Дефініції	Підкласи
1	Кислоти	Підвищують кислотність і надають кислий смак їжі.	Кислотоутворювачі
2	Регулятори кислотності	Змінюють або регулюють кислотність чи лужність продуктів	Кислоти, луги, основи, буфери, регулятори рН
3	Речовини, які перешкоджають злежуванню, грудкуванню	Знижують тенденцію частин харчового продукту прилипати одна до іншої	Добавки, які перешкоджають затвердінню, зменшують липкість
4	Піногасники	Попереджують або знижують утворення піни	Піногасники
5	Антиоксиданти	Підвищують термін зберігання харчових продуктів, захищаючи від окиснення	Антиоксиданти, синергісти антиоксидантів
6	Наповнювачі	Речовини, які збільшують об'єм продукту, не впливаючи помітно на його енергетичну цінність	Наповнювачі
7	Барвники	Підсилюють, або відновлюють колір продукту	Барвники
8	Речовини які сприяють збереженню забарвлення	Стабілізують, зберігають або підсилюють забарвлення продукту	Фіксатори, стабілізатори забарвлення.
9	Емульгатори	Утворюють або підтримують однорідну суміш двох чи більше незмішуваних фаз.	Емульгатори, пом'якшувачі, ПАВ
10	Емульгуючі солі	Взаємодіють з білками сирів з метою попередження виділення жиру при виготовленні плавлених сирів	Солі – плавники, комплексоутворювачі
11	Ущільнювачі	Роблять або зберігають тканини фруктів і овочів щільними і свіжими	Ущільнювачі рослинних тканин

12	Підсилювачі смаку і аромату	Посилюють природний смак і запах харчових продуктів	Підсилювачі, модифікатори смаку
13	Речовини для обробки борошна	Додають до борошна для поліпшення його хлібопекарських властивостей або кольору	Відбілюючі дабавки, поліпшувачі тіста та борошна
14	Піноутворювачі	Створюють умови для рівномірної дифузії газоподібної фази у рідкі і тверді харчові продукти	Збиваючі та аеруючі добавки
15	Драглеутворювачі	Текстують їжу шляхом утворення гелю	Желеутворювачі
16	Глазуруючі речовини	На зовнішній поверхні утворюють захисний шар або надають блискучий вигляд	Плівкоутворюючі, та поліруючі речовини
17	Вологоутримуючі речовини	Запобігають висиханню продуктів	Добавки які утримують вологу, змочуючі добавки
18	Консерванти	Підвищують термін зберігання продуктів, захищаючи від псування	Антибактеріальні, антигрибкові речовини, дезінфектанти
19	Пропеленти	Газ, який виштовхує продукт з контейнера	Пропеленти
20	Розпушувачі	Звільняють гази, збільшуючи об'єм тіста	Розпушувачі, речовини які сприяють життєдіяльності дріжджів
21	Стабілізатори	Зберігають однорідну суміш двох чи більше незмішуваних речовин	Зв'язуючі, ущільнюючі речовини, стабілізатори піни
22	Підсолоджувачі	Речовини нецукрової природи, надають продуктам солодкий смак	Підсолоджувачі штучні підсолоджувачі
23	Загусники	Підвищують в'язкість харчових продуктів	Загусники, текстуратори

З функціональними класами пов'язана і система Європейської цифрової номенклатури харчових добавок. Відповідно: E100 – E182 – барвники;

E200 – E299 – консерванти,
E300 – E399 – антиоксиданти,
E400 – E449 – стабілізатори консистенції,
E450 – E499 – емульгатори,
E500 – E599 – регулятори кислотності, розпушувачі,
E600 – E699 – підсилювачі смаку й аромату,
E700 – E800 – запасні індекси для нових добавок,
E900 і далі – добавки, які покращують якість хліба та ін..
За походженням всі харчові добавки поділяють на природні, аналоги природних речовин, і синтетичні.

7.2. Харчові барвники

Основними харчовими добавками, які покращують зовнішній вигляд і тим самим підвищують попит на продовольчі товари є барвники. Найчастіше їх використовують у виробництві кондитерських виробів, напоїв, маргаринів, сирів, деяких консервів, тощо.

За походженням харчові барвники поділяють на натуральні (природні) і синтетичні. Останні застосовують набагато частіше у зв'язку з їхньою вищою стійкістю до впливу різних факторів у процесі виробництва і зберігання продуктів, а також нижчою собівартістю. Барвники можуть бути жиро- і водорозчинними, а також пігментами - нерозчинними ні у воді, ні в жирі.

Натуральні барвники виділяють із природної сировини. Багато з них мають аромат і смак, харчову цінність, є біологічно активними речовинами. Основу натуральних барвників, як правило, складають пігменти рослин. Якщо такі ж речовини одержують хімічним, або мікробіологічним синтезом, їх називають ідентичними натуральним. Недоліком натуральних барвників є те, що вони нестійкі до підвищення температури, впливу кисню, світла, зміни рН.

За хімічною будовою натуральні харчові барвники можна розділити на такі основні групи: каротиноїди, антоціани, флавоноїди, хлорофіли. Окрему групу становлять їх різні комплекси. Характеристика основних натуральних барвників подана у таблиці.

Для забарвлення харчових продуктів у жовтий, помаранчевий, червоний колір застосовують каротини, які

виділяють з плодоовочевої сировини (морква, шипшина, перець, обліпіха), або отримують мікробіологічними шляхом.

Таблиця 24. Характеристика натуральних барвників

Колір	Індекс Е	Назва барвника	Джерело виробництва
Червоний	E120	Кармін	Самки комах кошенілі
Червоний при рН<4, синій при рН ≈7, зелений при рН ≈9	E162,	Червоний буряковий	Червоний буряк
	E163	Антоціани (Енобарвник)	Вичавки винограду, бузини, вишні, малини, смородини, тощо
Жовтий, червоний при рН<3,	E100	Куркуміни (Турмерік)	Кукурма довга
Жовто-помаранчевий	E101	Рибофлавіни	Дріжджі
	E160	Анато	Насіння орлеаеового дерева
	E160a	Каротини	Екстракти натуральних каротинів моркви, шипшини, перцю, тощо
	E160b	Екстракти аннато	Корінь орлеанового дерева
	E160c	Капсантин	Масло смоли паприки
	E160d	Лікопін	Добувають як екстрагуванням з рослин (томати, червоний перець, чорнобривці. Люцерна) так і мікробіологічним і синтетичним шляхом.
	E160e	β – апокаротиналь	
	E160ф	метиловий або етиловий ефіри β – апокаротинової к-ти	
	E161a	Флавоксантин	
	E161b	Лютеїн	
	E161c	Криптоксантин	
	E161d	Рубіксантин	
	E161e	Віолоксантин	
	E161ф	Родоксантин	
E161g	Кантаксантин		
	E164	Шафран	Квіткові рильця ірисової рослини
Зелений	E140	Хлорофіли	Рослини (кропива, люцерна, 191роколі)
	E141	Мідні комплекси хлорофілів	

Коричневий	E150a	Цукровий колер I простий	Карамелізація цукру
	E150b	Цукровий колер II	
	E150c	Цукровий колер III	
	E150d	Цукровий колер IV	
Чорний	E153	Вугілля рослинне	Викопне

Препарати бета-каротину (E160a) це водо- і жиророзчинні речовини, можуть бути не тільки природного, але і синтетичного походження. Завдяки своїм властивостям він має важливе значення не тільки як барвник, але і виконує функцію провітаміну А.

Окрему групу каротиноїдів складають їх похідні: флавоксантин, лютеїн, рубіксантин, віолоксантин, родоксантин, кантаксантин. До пігментів цієї групи відносять також такі натуральні барвники: лікопін; жовто-помаранчевий анато. Застосовують каротиноїди для забарвлення кондитерських виробів, сирів, маргаринів, масла, майонезів, напоїв.

Хлорофіли - пігменти, що містяться в рослинах, плодах і овочах і надають їм зелене забарвлення. Природний хлорофіл виділяють із зеленої цибулі, перцю, салату, кропу, капусти, бадилля моркви, кропиви та інших рослин і використовують як зелений барвник (E140). Він нестійкий в кислому середовищі, особливо при підвищеній температурі. Тому використовують більш стабільні водорозчинні мідні комплекси хлорофілу, та жиророзчинні натрієві і калієві солі мідного комплексу хлорофілу.

До дозволених хінонових барвників відносять кармін, алканін, куркумін. Алканін - червоно-бордовий барвник (E103), який одержують з коріння рослини не отримав широкого розповсюдження через недостатню стійкість забарвлення.

Кармін –барвник, який отримують з тваринної сировини – комахи кошенілі. Найбільш стійкий барвник яскраво-червоного кольору, який широко використовується в харчовій промисловості.

Куркумін (турмерік) - жовтий барвник (E100), нерозчинний у воді, тому використовується у вигляді спиртового розчину. Отримують його з рослини родини імбирних - куркуми.

Як жовто-помаранчевий барвник використовується вітамін В2 (рибофлавін) у формі самого вітаміну, або натрієвої солі

рибофлавін-5-фосфатної кислоти (E101).

Жовті і рожево-червоні пігменти (барвники) антоціанової природи екстрагують у наш час з широкого спектру рослинної сировини: смородини, бузини, кизилу, порічок, журавлини, брусниці та ін. Характерною особливістю природних антоціанів є зміна їх забарвлення залежно від рН середовища, температури, впливу світла, будови молекули, реакційної здатності та ін. У кислому середовищі (рН 1,5-2,0) вони надають продукту червоне забарвлення, яке змінюється на пурпурове при рН 3,4-5,0. У лужному середовищі (рН 8,0) забарвлення стає синім, або синьо-зеленим, при рН 9,0 - зеленим, при рН 10 - жовтим.

Антоціанові барвники здатні утворювати комплекси з різними металами. При наявності солей магнію і кальцію виникає синє забарвлення, калію - червоно-пурпурне. Енобарвник (E163) - являє собою суміш природних антоціанів, катехинів, інших органічних речовин, що виділяються з вичавків темних сортів винограду, чорної смородини, інших плодів і ягід. Випускається у формі рідини інтенсивного червоного кольору, яка у кислому середовищі дає аналогічне забарвлення продукту, в нейтральному і слаблужному - синій відтінок.

Цукровий колір (E150) - отримують у вигляді водних розчинів темно-коричневого кольору шляхом карамелізації цукрів. Залежно від технології виробляють різні види карамелі: цукровий колер I (E150a, карамель I), цукровий колер II (E150b, карамель II), цукровий колер III (E150c, карамель III), цукровий колер IV (E150d, карамель IV), їх застосовують у виробництві напоїв, хлібобулочних, кондитерських і кулінарних виробів.

Виробництво натуральних харчових барвників у світі останнім часом зростає, розробляються нові технології, оскільки в них містяться біологічно активні, смакові і ароматичні речовини, які надають готовим продуктам не тільки привабливий вигляд, але і природний аромат, смак і додаткову харчову цінність. Отримано харчовий барвник із столового буряка, темно-вишневого кольору, зі смаком кисло-солодкого граната, і пелюсток троянди.

Розроблено ряд барвників з деревини маклюри, тута, скумпії і шкірки плодів граната, які за хімічною природою належать до поліфенольних сполук. Вони являють собою жовтий порошок, добре розчинний у воді і спирті, можуть бути використані у виробництві кондитерських виробів і безалкогольних напоїв.

Перспективною сировиною для барвників тваринного походження є продукти моря. Червоний барвник, отриманий з криля, основу якого складають каротиноїди, використовується для рибних продуктів і штучної ікри.

Синтетичні барвники органічної й неорганічної природи отримують хімічним синтезом. Основні їхні технологічні переваги в тому, що, на відміну від натуральних, синтетичні барвники не містять смакових речовин; вони менш чутливі до умов технологічної переробки та зберігання; термостійкі; дають стабільне насичене забарвлення; добре розчиняються у воді. За хімічною будовою їх поділяють на декілька груп: азобарвники (E102, E110, E122, E124, E151), триарилметанові (E131, E133, E142), хінолінові (E104), індигоїдні (E132).

В Україні дозволено використовувати близько двох десятків синтетичних барвників (табл. 25)

Неорганічні барвники це мінеральні сполуки, які зустрічаються в природі або одержані хімічними методами. В Україні дозволено такі мінеральні барвники: (E152) вугілля –чорний колір; (E170) карбонат кальцію, (E171) діоксид титану –білий колір; (E172) оксиди заліза –жовтий, оранжевий, червоний, коричневий, чорний кольори; (E175) золото –пігментний метал для прикрашання деяких кондитерських виробів.

У харчових технологіях синтетичні барвники використовують переважно у вигляді водних розчинів. Нерозчинні комплекси з металами використовують для забарвлення порошкоподібних продуктів і сухих напівфабрикатів. Для одержання складних кольорів і різних відтінків застосовують не окремі барвники, а їх суміші і суміші з наповнювачами. такими як крохмаль, глюкоза, сахароза, жир, тощо.

При забарвленні і зберіганні харчових продуктів як натуральні так і синтетичні барвники втрачають яскравість кольору. Ступінь знебарвлення залежить від кислотності, температури, освітленості, складу продукту і становить від 7% до 25%.

Так індигоїдний барвник (E132) нестабільний у присутності інвертних цукрів, а природний хлорофіл, що екстрагується з рослин (E140), нестійкий при підвищеній температурі в кислому середовищі (зелений колір переходить в оливковий, а потім жовто-бурий). Більш стабільним кольором володіють хімічно

модифіковані форми хлорофілу: мідні комплекси хлорофілу, натрієві і калієві солі мідного комплексу хлорофілу.

Таблиця 25. Основні харчові синтетичні барвники

Колір	Індекс Е	Назва барвника
Жовто-помаранчевий	E102	Тартразин
	E104	Хіноліновий жовтий
	E110	Сонячний захід
	E172	Оксиди та гідроксиди заліза
Червоний	E120	Кармін
	E122	Кармуазин, азорубін
	E124	Понсо 4R
	E127	Червоний 2G
	E128	Спеціальний червоний AG
	E129	Бетанін червоний
Синій	E131	Синій патентований V
	E132	Індигокармін
	E133	Синій блискучий FCF
Зелений	E142	Зелений S
	E143	Зелений міцний FSF
Коричневий	E154	Коричневий FK
	E155	Коричневий HT
Чорний	E151	Чорний блискучий BN
	E152	Вугілля
Білий	E170	Вуглекислі солі кальцію
	E171	Діоксид титану

Деякі синтетичні барвники володіють токсичною і канцерогенною дією. Проблема безпеки використання синтетичних барвників у тому, що вона стосується найбільш уразливої групи – дітей.

Таблиця 26. Склад і колір деяких сумішей барвників

Колір водного розчину	% барвника у суміші				
	E102	E110	E122	E124	E132
Персиковий		32		68	
Кавовий	40	12	20		28
Жовто-зелений	75				25
Травянистий	50				50
Оливковий	50	13,6			36,4
Фіолетовий			50		50
Бузковий			80		20

Найчастіше небезпечні синтетичні барвники містяться в таких продуктах як різноманітні смоктальні та желеїні цукерки, жувальні гумки, солодкі напої торти і тістечка з кремами; сухі суміші для приготування желе та киселів; так звані цукати – схожі на сухофрукти продукти яскравих кольорів.

Використання харчових барвників регламентується ДСТУ, інструкціями та іншими документами. В Україні дозволена тільки частина натуральних і синтетичних барвників, максимально допустимі дози яких подані у таблиці 27.

Таблиця 27. Максимально допустимий рівень барвників, мг/кг

Назва виробів	Кількість	Індекс барвника E
Ковбасні вироби	20	100,128
	30	161
Ковбасні оболонки	100	128
Кондитерські вироби	10	160
	50	110,122,124,155
	200	100,104,120,129,133,
		142,143,151,160
Безалкогольні ароматизовані напої і молочні ароматизовані продукти	50	110,122,124,155
	100	102,104,120,129,133, 142,143,151
Маргарин і вершкове масло	6	160
	10	160
Сири	6	160
		160

Забороненими барвниками на даний час є жовтий (E107), цитрусовий червоний 2 (E121), амарант (E123), еритрозин (E127), червоний 2G (E128), зелений (E142, E143), чорний блискучийBN (E151).

Не допускається застосування харчових барвників для маскування зіпсованої продукції.

Згідно з Санітарними правилами і нормами щодо застосування харчових добавок, не підлягають забарвленню такі харчові продукти: борошно, хлібобулочні вироби, макаронні вироби, крупи, бобові, томатні соуси, консерви з томатів, фруктовий і овочевий сік, фрукти, овочі, гриби, крохмаль, цукор, мед, шоколадні вироби і какао, чай, кава смажена, горілка зернова, вина, мінеральна вода, сіль, спеції, оцет винний, олії рослинні, яйця, молоко та не ароматизовані кисломолочні продукти, вершки, масло з молока овець та кіз, сири, риба, ракоподібні, молюски. м'ясо, птиця, продукти дитячого харчування.

7.3. Ароматичні речовини

Ароматизатори застосовуються для посилення натурального аромату продуктів харчування, відновлення смакових і ароматичних властивостей продуктів, втрачених у процесі переробки і зберігання, створення на основі однієї сировини широкого асортименту з різними смаками.

Ароматизатори, які застосовують у харчовій галузі поділяють за походженням на натуральні, ідентичні натуральним та штучні, отримані з природних джерел, хімічним, або мікробіологічним синтезом. За формою випуску ароматизатори поділяються на рідкі (розчини та емульсії), сухі і пастоподібні.

Залежно від призначення ці харчові добавки поділяють на есенції для кондитерських виробів, напоїв, кисломолочних продуктів, сирів, м'ясних і рибних консервів, копченостей, тощо. Їх виготовляють на водній, спиртовій і жировій основі, залежно від призначення.

Харчовим ароматизаторам не присвоюються цифрові значення з кодом E внаслідок великого асортименту цієї групи харчових добавок, а також їх багатокомпонентного складу. До

натуральних ароматизаторів відносяться есенції, ефірні олії, маслосмоли, екстракти, гідролізати білка та ін.

Ароматизаторами ідентичними натуральним вважаються такі сполуки, які за своєю структурою і властивостями ідентичні тим, що містяться у природній сировині, але отримані хімічним синтезом.

Широкою групою ароматизуючих речовин є ефірні олії рослинної сировини, які одержують перегонкою з водяною парою, екстрагують органічними розчинниками, жирами, парафінами. З таких олій і синтетичних ароматичних речовин формують необхідний аромат.

Харчові есенції і ароматизатори є складним комплексом альдегідів, кетонів, спиртів, ефірів та багатьох інших летких речовин. До їхнього складу можуть входити десятки як натуральних так і синтетичних компонентів. Проте лише певні ключові сполуки формують основний необхідний аромат, інші надають різні відтінки. Так, ключовими сполуками запаху абрикосів є γ -декалактон, часнику – діалілди- і діалілтрисульфід, кави – фурфурілмеркаптан, м'яса – меркаптозаміщені фурані і тіофени. Мигдальний аромат має бензальдегід, грушевий – ізоамілацетат, ананасовий – етилбутират, аромат троянди – фенілетиловий спирт. Основною складовою частиною лавандової ефірної олії є ефір оцтоволінолоновий, мелісової – гераніол, соснової – оцтовоборнеоловий ефір, анісової – анітол.

Прикладом широкого використання як натурального, так і штучного харчового ароматизатора у виробництві кондитерських виробів, десертів, напоїв є ваніль. Натуральні екстракти одержують з різних сортів ванільних бобів у вигляді темнокоричневої в'язкої рідини і червоно-чорного порошка на мальтодекстрині. Штучний ванілін – білий кристалічний порошок (етоксигідробензальдегід) синтезують з пірокатехіну. Його аромат інтенсивніший з «металевим» відтінком у порівнянні з натуральним екстрактом.

Забороняється використовувати ароматизатори для маскування неприємних смакових і ароматичних властивостей зіпсованих продуктів, а також виготовлених з неякісної сировини.

Підсилювачі смаку й аромату додають до харчових продуктів з метою відновлення і посилення смакових властивостей продуктів, які можуть бути втрачені у процесі переробки і зберігання. До цієї групи харчових добавок належать похідні мальтолу, глутамінової,

гуанілової та інозинової кислот, а також рибонуклеотиди, гліцин. В Україні дозволено більше двадцяти таких добавок.

Як підсилювачі смаку й аромату властивого продуктам і втрачених у технологічному процесі широко використовується глутамінова кислота (E620), глутамати натрію (E621), калію (E622), кальцію (E623), амонію (E624), магнію (E625) і гліцин (E640). До цієї групи харчових добавок відносяться також інозинова кислота (E630) та її солі - інозинати калію (E632), і кальцію (E633), лейцин (E641), гуанілова кислота (E626), гуанілат натрію двозаміщений (E627), гуанілат калію двозаміщений (E628), гуанілат кальцію (E629), рибонуклеотиди кальцію (E634) та рибонуклеотиди натрію двозаміщені (E635), які заборонені в Україні. Дозволений тільки інозинат натрію двозаміщений (E631), мальтол (E636), етилмальтол (E637), глінії (E640), лізин гідрохлорид (E642).

Глутамінова кислота і її солі (E621-625) добре розчинний у воді порошок, додають у консерви, концентрати, приправи, готові страви. Її смак відчувається при розчиненні у воді у співвідношенні 1:300. Гуанілова та інозинова кислоти та їх солі мають у десятки разів сильніший смаковий ефект ніж похідні глутамінової кислоти. Їх також додають при виробництві консервованих продуктів, приправ і прянощів. Ці добавки не лише підсилюють, але дещо й модифікують смак, надають схожості з екстрактом м'ясних продуктів.

Мальтол та етилмальтол як ароматизатори застосовують при виробництві хлібобулочних та кондитерських виробів.

7.4.Регулятори кислотності і лужності

Харчові кислоти можуть утворюватись у продуктах при дозріванні овочів і плодів, у результаті природних біохімічних процесів – молочнокислого, оцтовокислого та інших видів бродіння, а також можуть бути харчовими добавками з метою надання продуктам певного смаку, для формування певної консистенції (гелю, стійкості суспензії, емульсії, необхідної густини).

Найбільш розповсюдженими харчовими кислотами є оцтова, лимонна і молочна.

Оцтову кислоту ($\text{CH}_3 - \text{COOH}$) одержують з 9% розчину спирту шляхом оцтовокислого бродіння за участю *Acetobacter* а також хімічним синтезом з H_2 і CO_2 . Випускають у вигляді

столового оцту 3-6-9% і есенції 70-80%. Застосовують для соусів, супів, маринадів у консервуванні.

Молочну кислоту ($\text{CH}_2\text{OH} - \text{CH}_2 - \text{COOH}$) одержують у результаті молочнокислого зброджування цукрів (гідролізованого крохмалю, сироватки) з участю лактобактерій у вигляді 40% розчину і 70% концентрату. Використовують у виробництві безалкогольних напоїв, кисломолочних і кондитерських продуктів, кармельних мас.

Лимонна кислота ($\text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{CON}(\text{COOH}) - \text{CH}_2 - \text{COOH}$) – продукт лимоннокислого бродіння цукрів за участю *Aspergillusniger*. Застосовують у кондитерській промисловості в безалкогольних напоях, у консервуванні та ін.

Таблиця 28. Властивості основних харчових кислот

	Емпірична формула	Індекс Е	Мг	Температура плавлення
Оцтова	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_6$		60,05	-8,5
Молочна	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$		90,08	16,8
Лимонна	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$		192,12	153,0
Яблучна	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$		134,09	132,0
Винна	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$		150,09	168-170
Янтарна	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$		118	188,0
Фумарова	$\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$		116,07	286,0
Фосфатна	H_3PO_4		98,00	42,4

Рідше застосовується яблучна, винна, янтарна, адипінова, фосфатна кислоти. Особливо обмежено застосування фумарової кислоти із-за її токсичності – до бмг на 1кг маси продуктів.

Крім зазначених кислот також використовують солі: малат калію і кальцію (E351, E352), сульфати натрію і калію (E514, E515), лактати натрію, калію і кальцію (E325, E326, E327), ацетат і діацетат натрію і калію, одно-, дво- і трьох заміщені цитрати натрію (E331), карбонати натрію (E500). Солі відіграють роль не лише регулятора кислотності, але й емульгатора, стабілізатора. Їх використовують при виробництві плавлених сирів, згущеного молока, желейних цукерок, продуктів гідролізу крохмалю та інверсії цукрів. Наприклад, лактат натрію покриває тонким шаром частинки,

сповільнюючи їх взаємодію з водою і між собою, сіль стабілізує розчини, гелі.

7.5. Підсолоджуючі речовини

Замінники цукру використовують у виробництві дієтичної продукції, призначеної для діабетиків, при ожирінні, а також для доповнення і покращення смаку різної кулінарної продукції. Класифікують ці харчові добавки за походженням - на натуральні і синтетичні; засвоєнням організмом та енергетичною цінністю - на підсолоджувачі і цукрозамінники.

За вираженням солодкого смаку підсолоджувачі та цукрозамінники характеризуються коефіцієнтом солодкості (К сол), який визначається відносно солодкого смаку сахарози, взятого за одиницю.

Таблиця 29. Характеристика основних замінників цукру

Цукрозамінники і підсолоджувачі	Індекс Е	К сол	МДР, мг/кг
Цукрозамінники:			
Сорбіт	E420	0,5	-
Ксиліт	E420	1	-
Фруктоза		1,2	-
Підсолоджувачі синтетичні:			
Циклакат	E952	30-35	-
Аспартам	E951	200	350-5500
Сахарин	E954	450-550	80
Ацесульфам	E950	200	350-5500
Сукралоза	E955	600	
Підсолоджувачі натуральні:			
Монелін	E9	1500-3000	
Тауматин	E957	1600-2500	
Гліциризин	E958	50-100	
Неогесперидин	E959	1800	
Стевіозид	E960	200-300	

Підсолоджувачі (Е 950-960) – це речовини нецукрової природи переважно штучного, або природного походження, які солодші за цукор у сотні разів, використовуються у невеликих дозах для надання солодкого смаку продуктам харчування. Вони відрізняються від цукрозамінників не лише відсутністю калорій, а й тим, що не впливають на процес травлення та рівень глюкози у крові. Цукрозамінники – це речовини природного, або штучного походження, солодкі на смак, мають енергетичну цінність, засвоюються в організмі не так швидко як сахароза, або не повністю, потребуючи менше інсуліну.

До натуральних підсолоджувачів, які виділяють з природної сировини належать: стевіозид, тауматин, гліциризин, неогесперидин, монелін, міракулін.

Стевіозид одержують з листя куща стевії, він має властивість підсилювати смак і аромат продуктів. Добавка має протимікробні властивості, очищає організм від шлаків і солей важких металів, радіонуклідів, надає тонізуючу дію, сприяє зниженню в крові цукру, холестерину, покращує роботу шлунково-кишкового тракту, укріплює стінки судин.

Тауматин одержують з плодів африканської рослини катемі, має білкову природу, розчинний у воді, нестійкий у кислому середовищі. Гліциризин виробляють з кореня дерева, він розчинний лише у гарячій воді та спирті. Неогесперидин дигідроалкон (цитроза) виділений із шкірки цитрусових плодів, ананаса. Відчуття солодкого смаку у нього більш тривале, ніж під дією цукрози - майже 10 хвилин після вживання. З нього синтезують ще більш солодку речовину – талін, яку використовують у жувальних гумках, зубних пастах.

Синтетичні підсолоджувачі одержують хімічним шляхом, вони значно дешевші, тому користуються більшим попитом виробників і споживачів харчової продукції. У країнах ЄС дозволено використовувати вісім інтенсивних підсолоджувачів: ацесульфам К, аспартам, аспартам-ацесульфамова сіль, сахарин, циклакат, неогесперидин, сукралоза, тауматин. У відповідності з рекомендаціями Об'єднаного комітету експертів з харчових добавок (JECFA) для найбільш поширених підсолоджувачів встановлено допустиме добове споживання: ацесульфам К - 15 мг/кг, аспартам - 40, неогесперидин і сахарин - 5, циклакат - 11, сукралоза - 15 мг/кг.

Максимально допустимі дози використання підсолоджувачів дозволених в Україні на 1 кг (1 л) продуктів зазначені в таблиці.

Аспартам – метиловий ефір дипептиду фенілаланіну і аспарагінової кислоти, найпоширеніший синтетичний підсолоджувач. Його використовують для продуктів, які не потребують теплової обробки: у морозиві, кремах, йогуртах, десертах, солодких водах. Солодкий смак розчину аспартаму збільшується при додаванні невеликої кількості хлориду натрію, глутамінату натрію, метилцелюлози, а також ацесульфаму К, в суміші з яким він зазвичай використовується. Солодкий смак останнього проявляється миттєво, але швидко зникає, а в аспартаму – відчувається не зразу, але тримається довше. У кислому і слаболужному середовищі він втрачає солодкий смак. Оскільки при зберіганні продуктів, при температурі близько 30⁰С підсолоджувач розкладається на формальдегід, етанол і фенілаланін, він протипоказаний хворим на фенілкетонурію. Останнім часом зявилося багато повідомлень про небезпеку для здоров'я і протипоказання аспартаму.

Ацесульфам калію більш стабільний при високих температурах, у кислому середовищі. Він добре розчиняється у воді, тому широко використовується для розчинних напоїв, підсолоджувачів, кондитерських виробів, молочних продуктів. Сполука, не піддається метаболізму, і не викликає алергічних реакцій.

Сахарин та його натрієва, калієва та кальцієва солі (E954) перші підсолоджувачі дозволені для виробництва багатьох продовольчих товарів – кондитерських виробів, десертів, морозива, напоїв. Сахарин – сульфамід бензойної кислоти C₇H₅NSO₃ солодший за сахарозу в 300 разів. Стійкий при нагріванні, не засвоюється організмом, має сечогінний ефект, і не дуже присмний смак. Натрієва сіль сахарину приблизно у 500 раз солодша від сахарози, добре розчинна у воді.

Цикламати являють собою солі циклогексиламіно-N-сульфонової кислоти, також не засвоюються в організмі. Солодкий смак їх значно нижчий, але в поєднанні з сахарином покращується смак підсолоджувача і такий комплекс широко використовують у виробництві напоїв, соків, джемів, шоколаду. Цикламати протипоказані дітям і вагітним жінкам.

Сукралоза – найдорожчий універсальний безкалорійний підсолоджувач, визнаний безпечним для дітей і вагітних. Стабільний у технологічному процесі виробництва продуктів, добре розчинний у воді.

Серед цукрозамінників більш поширеними з натуральних продуктів є фруктоза, сорбіт, ксиліт, маніт, ізомальт, мальтіт.

Фруктоза солодша за цукор у 1,7 рази, одержують ферментативною ізомеризацією глюкози. Її засвоєння в організмі не пов'язано з інсуліном, тому її використовують у харчуванні хворих на цукровий діабет і не вважають харчовою добавкою. Проте надлишкова кількість фруктози в організмі може перетворюватись на глюкозу.

Сорбіт (E420) - це шестиатомний спирт ($C_6H_{14}O_6$), його одержують гідрогенізацією глюкози. Ступінь вираження солодкого смаку незначний (Kсол – 0,6), але він повільно засвоюється в організмі людини.

Маніт (E421) - стереоізомер сорбіту (Kсол – 0,4), добре розчинний у воді, дозволений для використання у всіх країнах світу.

Ізомальт(E953) виступає не лише як підсолоджувач, а також як глазуруючий агент і наповнювач для дієтичних продуктів.

Лактіт(E966) – одержують гідрогенізацією молочного цукру лактози. В організмі він майже не засвоюється, являється пребіотиком. Ксиліт (E967) – п'ятиатомний спирт $C_5H_{12}O_5$, одержують шляхом переробки рослинної сировини

7.6. Емульгатори й піноутворювачі

Емульгатори використовують для стабілізації сумішей з речовин, які не змішуються. У харчовій галузі це водно-жирові емульсії такі як майонези, соуси, десерти, маргарини, тощо. Молекули таких поверхнево активних речовин (ПАР) мають гідрофільні і гідрофобні (ліпофільні) групи, які у суміші двох різних фаз зорієнтовані відповідно до водної і до жирової фази. Молекули емульгаторів оточують тонкою плівкою міцели диспергованої речовини і відштовхують їх одна від одної, так як мають однаковий заряд.

Природні емульгатори, такі як молочний і яєчний білок, фосфоліпіди переважно витіснені з продуктового ринку більш дешевими синтетичними. До таких харчових добавок, які широко

використовують у виробництві харчових продуктів належать ефіри сахарози, глюкози та жирних кислот (E473), ефіри полігліцеридів (E475), фосфатиду амонійні солі (E442), полісорбати (E432- E 436), сорбітан моностеарат (E491) та багато інших.

Лецитин, солі жирних кислот використовують при виробництві багатьох хлібобулочних і кондитерських виробів, напоїв, морозива. Складні ефіри оцтової, молочної, яблучної, лимонної кислот застосовують при виготовленні печива, стеароїллактилат натрію – у виробництві маргаринів. Складні ефіри жирних кислот, сахарози, глюкози і сорбіту комбінують з поліоксietenіленами для одержання широкого асортименту емульгаторів з різними властивостями.

Для одержання піни (газових кульок, оточених плівкою рідини, або твердої речовини) застосовують як низькомолекулярні ПАР, так і високомолекулярні сполуки. У харчових продуктах піна утворюється у результаті бродильних процесів при виробництві хліба, пива, вина, сиру. Штучно створюють піну при збиванні зефіру, суфле, бісквіту, морозива, додаючи CO₂ у напої. Функції піноутворювача виконують як природні речовини так і харчові добавки: прості ефіри целюлози, жирні кислоти (E570), триетилцитрат (E1505), рослинний екстракт квілайї (E999). Ці речовини, як і емульгатори, зменшують поверхневий натяг на межі розділу фаз.

7.7. Згущувачі й стабілізатори

Згущувачі – це речовини, переважно полісахариди, які підвищують в'язкість продуктів харчування. За хімічною природою це великі лінійні і розгалужені полімери з гідрофільними групами, завдяки яким відбувається їх гідратація, а також полімеризація і гелеутворення. Одні й ті ж речовини можуть виконувати роль як загущувача, так і гелеутворювача, залежно від їхньої концентрації у продукті.

Розробка рецептур з використанням згущувачів і стабілізаторів не лише дозволяє розширювати асортимент харчових продуктів, але є необхідністю для здоров'я людей у сучасних екологічних умовах. Більшість цих речовин зв'язують токсини, радіонукліди, жовчні кислоти та інші метаболіти, виконуючи «санітарну» функцію в системі травлення.

Натуральні харчові згущувачі і стабілізатори одержують з рослинної і тваринної сировини, а також продуктів мікробного синтезу. Серед них широко використовується агар (E406), альгінова кислота (E400) і її солі (E401-E404), карагінан і його солі (E407), камідь рожкового дерева (E410), пектин (E440), целюлоза (E460)

Агар – полісахарид, виробляється з червоних водоростей у вигляді волокон, гранул і порошку. Його основу складає дисахарид агароза. Різна ступінь полімеризації і наявність металів (калію, натрію, магнію, кальцію) визначає зміну властивостей загусника. Агар широко використовують у кондитерській галузі, для виробництва морозива, десертів, рибних і м'ясних продуктів. З різних водоростей також отримують агароїд, альгінові кислоти, фуруцелеран, карагінан.

Пектинові речовини (див.2.4) входять до складу клітинних стінок рослин разом з целюлозою, геміцелюлозою і лігніном. Вони утворюють згусток лише у присутності цукру і кислоти. Оптимальний діапазон рН для драглеутворення - 2,8-3,4.

У наш час збільшується кількість полісахаридів, які синтезуються мікроорганізмами. У харчовій галузі використовують мікробний альгінат (E404), ксантан (E415).

Напівсинтетичні згущувачі і стабілізатори - це похідні натуральних полімерів, функціональні властивості яких змінені шляхом фізико-хімічних перетворень. До них належать метилцелюлоза (E-461) і натрієва сіль карбоксиметилцелюлози (E-466), арабіногалактан (E409), глікан (E407) гліцерофосфат кальцію (E383) хітозан (E).

В окрему групу можна виділити модифіковані крохмалі (E1404-1450), які виступають згущувачами, емульгаторами і стабілізаторами. Зміна фізико-хімічної будови внаслідок взаємодії крохмалю з різними хімічними речовинами призводить до зміни його властивостей: ступеню гідрофільності, здатності до клейстеризації, стабільності в різних умовах.

За типом модифікації виділяють набрякаючі, розщеплені, стабілізовані і зшиті крохмалі. Набрякаючі крохмалі здатні набрякати у холодній рідині, їх одержують нагріванням крохмальної суспензії в певних умовах (150-175⁰С) задля швидкої клейстеризації і висушування. Розщеплені (гідролізовані) - мають властивості, які залежать від каталізатора і умов гідролізу. Стабілізовані крохмалі одержують приєднанням до гідроксильних груп різних

функціональних агентів (ацильних, вуглеводневих залишків, тощо). У зшитих крохмалях утворюються поперечні зв'язки між молекулами внаслідок дії фосфатної, адипінової кислоти, гліцерину. Вони утворюють стійкі гелі до зміни рН, термічної і механічної обробки, які повільно набухають, мають високу в'язкість.

До гелеутворювачів білкової природи належить желатин, який є сумішшю поліпептидів з різною молекулярною масою, одержаних шляхом гідролізу білків сполучної тканини. Він дуже широко використовується у харчовій галузі для стабілізації м'ясних і рибних продуктів. Білок казеїн одержують з обезжиреного молока. осадженням при рН 4,6 різними коагулянтами, від яких залежать властивості цього продукту. Його використовують як згущувач і емульгатор в майонезних соусах, кондитерських виробках.

7.8. Консерванти й антиоксиданти

Консервантами вважають речовини, які захищають сировину і готову продукцію від мікробіологічного псування у процесі технологічної переробки та зберігання. Консерванти використовують у тих випадках, коли інші засоби зберігання продуктів неможливі. Не дозволено вводити хімічні консерванти у продукти масового споживання: борошно, хліб, молоко, свіже м'ясо, дієтичні продукти і продукти дитячого харчування, а також у вироби, які позначаються як "натуральні".

Для консервування продуктів можна використовувати комбінації не більше ніж з двох хімічних консервантів. Харчові продукти повинні відповідати встановленим вимогам щодо вмісту у них консервантів.

Уротропін (гексаметилентетрамін; E239) являє собою білі кристали, без запаху. Цей препарат колись використовували для консервування ікри, пресервів з риби і ракоподібних, а інколи при виробництві сирів з метою регулювання процесів бродіння. В Україні не одержали абсолютного статусу дозволеності наступні консерванти: похідні параоксибензойної кислоти (E214-219), диметилдикарбонат (E242), амонію ацетат (E264), дегідроацетова кислота (E265), натрію дегідроацетат (E266), пропіонова кислота (E280), пропіонати (E281-283),

Диметилдикарбонат - своєрідний антимікробний агент, який

використовується для фруктових соків, безалкогольних напоїв та вин. У водних розчинах він не стабільний і зразу розкладається на метанол і двоокис вуглецю. В невеликій кількості також утворюється диметилкарбонат і метилетилкарбонат.

Амонію ацетат, оцтовокислий амоній не дозволений до використання у всіх країнах Європи і Росії.

Сорбінова кислота являє собою білу кристалічну речовину з помірно гострим запахом, важкорозчинна у холодній воді. Вона активна проти пліснявих грибів, дріжджів і в меншій мірі - проти бактерій. Найбільшу активність сорбінова кислота проявляє при рН4,5.

Бензойна кислота (E210) - безбарвна кристалічна речовина, важкорозчинна у воді і легкорозчинна в етиловому спирті (1 г у 3 мл). Антимікробна дія бензойної кислоти зумовлена здатністю пригнічувати в мікробних клітинах активність окисновідновних ферментів. Вона пригнічує ріст дріжджів і маслянокислих бактерій, слабо діє на бактерії оцтовокислого бродіння і в незначній мірі - на молочнокислу мікрофлору і плісняву. Бензонат натрію - біла кристалічна речовина, майже без запаху, добре розчинна у воді, погано у спирті. Бензонат натрію дуже ефективний для кислих і підкислених продуктів.

Двоокис сірки (E220) може служити консервантом і стабілізатором консистенції. Він пригнічує ріст пліснявих грибів, дріжджів і аеробних бактерій.

Натрію метабісульфіт (E223) застосовують як консервант для тих самих продуктів, що і двоокис сірки з коефіцієнтом перерахунку 1,48. Крім того, він може служити розпушувачем для листового напівфабрикату, виготовленого на потоково-механізованих лініях. У перерахунку на двоокис сірки (коефіцієнт 1,48) максимально допустимий рівень повинен не перевищувати 120-140 мг/кг борошна залишкової кількості, в напівфабрикаті - не більше ніж 100, а в готовому торті - не більше 70 мг/кг.

Біфеніл, дифеніл (E230) і ортофеніл фенол (E231) - це циклічні сполуки з неприємним запахом, важкорозчинні у воді. Їх використовують для обробітки цитрусових, так як вони є сильними фунгістатичними засобами перешкоджають розвитку пліснявих та інших мікроскопічних грибів.

Нізін (E234) - консервант антибіотичної природи, затримує ріст різних видів стафілококів, стрептококів, клостридій та інших

мікроорганізмів. Найбільш чутливі до нізину стафілококи, завдяки чому вдається попередити розвиток його патогенних штамів і утворення в продуктах токсинів. В Україні нізін дозволений для овочевих консервів (зелений горошок, томати, цвітна капуста та ін.) з максимально допустимим рівнем 100 мг/кг і 1 мг/кг заливки, а також для сичужних і плавлених сирів - 12,5 мг/кг.

Пімаріцин (E235) - консервант антимікробної природи, дозволений в Україні, Росії і Німеччині для оброблення поверхні сирів з максимально допустимим рівнем 1 мг/дм і проникністю на глибину не більше ніж 5 мм. Лактоцид використовується у виробництві спирту. Пероксид водню в Україні дозволено використовувати при виробництві напівфабрикатів-заготовок для консервної промисловості з моркви, цибулі та білого коріння. У готових напівфабрикатах залишки перексиду водню не допускаються.

Мурашина кислота (E236) характеризується сильною антимікробною дією, особливо стосовно дріжджів і плісняви. При високій концентрації проявляє токсичну дію порушуючи функції печінки і нирок. У харчових продуктах здатна переводити в осад пектинові речовини, що в деякій мірі обмежує її використання.

Нітрат натрію (E251) може використовуватись як антимікробний засіб для м'ясних продуктів. Недопустима добавка нітратів у продукти дитячого харчування.

Нітрат калію (E252) використовується як консервант при виробництві сирів і бринзи з введенням до 300 мг/кг обробленого молока. У готових продуктах залишок нітратів не повинен перевищувати 50 мг/кг, включаючи нітрити, які утворюються з нітратів. Консервантами харчових продуктів є також оцтова кислота, ацетати калію, натрію і кальцію.

Борна кислота (E284) - біла кристалічна речовина, без запаху, з трохи кислуватим присмаком. Вона допущена в Україні як консервант ікри осетрової (МДР 400 мг/кг) до 4.01.2000 р. Борна кислота здатна накопичуватись в організмі, переважно в мозку і в центральній нервовій системі великих концентраціях вона знижує споживання тканинами кисню, синтез аміаку і глутатіону мозку, окиснення адреналіну.

Тетраборат натрію (бура) (E285) - це білий кристалічний порошок, без запаху, , трохи солоного лужного смаку.

Використовується аналогічно борній кислоті для консервування ікри осетрових. Обмеження кількості бури ведеться у перерахунку на борну кислоту.

Лізоцим (E1 105) - це ферментний препарат, не дозволений в Росії. В Україні може використовуватись як консервант при виробництві сирів.

Крім консервантів при пакуванні харчових продуктів можуть використовуватись кілька консервуючих газів: аргон (E938), гелій (E939), азот (E941).

Антиоксидантами вважають речовини, що подовжують термін зберігання продуктів шляхом продовження терміну їх зберігання. Наприклад, прогірклість жирів і зміна кольору, зумовленого окисненням. Найчастіше харчові продукти, що містять жир, зазнають окислюючого авто- каталітичного прогіркнення або автоокислення. Значна кількість антиоксидантів міститься в різних рослинах. Частина з них має лікувальні властивості. Феноли і поліфеноли, які знаходяться в плодах, овочах і чаї, знижують ризик виникнення ракових захворювань. Виявлено, що 2%-ний розчин кверцетину і 4%-ний розчин рутину пригнічують ріст пухлин.

Санітарними правилами і нормами по застосуванню харчових добавок передбачено, що введення антиоксидантів у жири допускається тільки при виробництві харчових жирів, призначених для тривалого зберігання (більше 3 місяців). Антиоксиданти слід вводити у високоякісні свіжі жири.

В одному продукті може використовуватись тільки один антиоксидант не беручи до уваги синергістів.

В Україні без обмежень дозволені такі антиоксиданти і синергісти: аскорбінова кислота, аскорбат натрію (E301), концентрат суміші токоферолів (E306), а-токоферол (E307), у-токоферол (E308), 5-токоферол (E309), лецитини (E322).

Аскорбінова кислота проявила антиокиснюючі властивості для різних жирів, жирових емульсій, сухого молока. О.Г.Котова виявила антиокислюючу активність аскорбінової кислоти у порівнянні з іншими інгредієнтами при зберіганні вершкового масла.

Токофероли широко поширені в природі. Вони не мають ні токсичності, ні тератогенних, ні мутагенних або канцерогенних ефектів. У ліпідах тварин виявлений тільки а-токоферол, тоді як у рослинних ліпідах знайдено 4 ізомери токоферолу і відповідні токотрієноли.

Оптимальні концентрації а-токоферолів, при яких підвищується стійкість соєвої олії до окиснення, складають відповідно 100, 250 і 500 ч/млн. При більш високому вмісті токоферол діють як каталізатори окиснення.

Лецитин входить до групи фосфоліпідів, переважна більшість яких природного походження, їх отримують з рослинних олій при гідратації. Залежно від походження виділяють соняшникові, соєві та ін. Вони широко використовуються в кондитерському виробництві, хлібопеченні, при виготовленні морозива. Синтетичні фосфоліпідиди являють собою складну суміш амонієвих або натрієвих солей фосфорних кислот з тригліцеридами. їх використовують у шоколадному, маргариновому виробництві і для виготовлення емульгаторів.

Фосфоліпідиди жирів відіграють важливу роль в організмі людини, можуть переривати ланцюги по реакціях з пероксидними радикалами і бути синергістами природних антиоксидантів. Вони здатні утворювати з важкими металами слабоактивні комплекси, регенерувати фенольні антиоксиданти, інактивувати вільні радикали у процесі утворення пероксидів.

Розділ 8. ЗАБРУДНЕННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

Здоров'я людини залежить від факторів навколишнього середовища, у тому числі якості і безпеки харчових продуктів. Недбайливе, корисливе ставлення людини до біосфери призвело до того, що у процесі переробки рослинної і тваринної сировини виникає все більше екологічних проблем. Забезпечення безпеки продуктів харчування з кожним роком стає все більш актуальним і невідкладним завданням вчених, виробників харчової продукції, контролюючих державних і громадських організацій. Безпека продуктів харчування – це відсутність шкідливого впливу на здоров'я людини при їх вживанні, а саме токсичної, канцерогенної, мутагенної і тератогенної дії всіх складників.

Забруднення харчових продуктів спричинюють промислові викиди хімічних та радіоактивних відходів у навколишнє середовище; неправильне застосування хімічних добрив і пестицидів; використання недосконалої технології та обладнання при виробництві харчових продуктів і як наслідок потрапляння

шкідливих домішок у кінцевий продукт, утворення шкідливих речовин під час виробничого процесу. За даними науково-дослідних установ, сьогодні на реалізацію надходить значна частина продукції, в якій вміст забрудників перевищує допустимий рівень.

Харчова продукція вважається якісною, якщо вміст у ній певних шкідливих речовин не перевищує максимально допустимого рівня. Законодавством України розроблені методи і методики вимірювання вмісту забрудників та їхні кількісні допустимі показники. В основу санітарно-гігієнічних нормативів покладено допустиму добову дозу (ДДД, у мг/кг) токсиканта, яка при постійному надходженні в організм є безпечною, не погіршує здоров'я людини, а також не має негативного впливу на нащадків. Ця доза встановлена внаслідок тривалих експериментальних досліджень властивостей забрудника та його впливу на живі організми. ДДД визначає допустиме добове надходження, яке залежить від маси тіла людини, а також гранично допустиму концентрацію (ГДК) – базисний нормативний показник якості і безпеки продуктів харчування. ГДК визначають враховуючи токсичність забрудника, його орієнтовний вміст у певній продукції, а також частку цієї продукції у харчовому раціоні населення. Для позначення основного нормативного показника безпеки продуктів харчування використовують різні терміни: максимально допустимий рівень (МДР) – для фізичних забрудників, гранично допустимий рівень – для важких металів, пестицидів, допустимий вміст, межа, тощо.

Антропогенне забруднення харчових продуктів—це складні органічні й неорганічні речовини, які являють собою побічні продукти промислових, хімічних та інших процесів. Забрудники, які потрапляють із навколишнього середовища, мають різну хімічну будову. Це стабільні та стійкі сполуки, які мають здатність до біоаккумуляції. Багато шкідливих сполук також утворюється при зберіганні сировини, технологічній її обробці. У процесі виробництва харчових продуктів також використовують різні барвники, підсолоджувачі, консерванти, що не завжди корисні для організму людини.

Комітетом експертів Продовольчої і сільськогосподарської організації при ООН і експертною групою ВООЗ розроблені значення ДДД для багатьох забрудників харчової продукції і харчових добавок. Зважаючи на те, що до організму людини з

водою, їжею, повітрям надходить одночасно декілька небезпечних для здоров'я речовин, які проявляють комбіновану дію, тому цей показник знижують на 30-40%. Але щорічно у світі виробляють і застосовують сотні нових хімічних речовин, а встановлення критеріїв безпеки для них досить тривалий трудоміємкий процес, який відстає від потреб сучасного розвитку харчової галузі.

На початку 70-их років ХХ ст. розроблена концепція критичної контрольної точки при аналізі небезпечного фактора (ККТАНФ), суть якої у тому, що основний акцент контролю безпеки харчових продуктів необхідно робити на попередження критичних ситуацій при їх виробництві, а не на перевірку готової продукції. Відповідальність за виявлення критичних точок у технології виробництва несе виробник. Цей процес потребує виявлення небезпечних факторів і визначення контрольних заходів, організацію системи моніторингу і усунення недоліків виробництва.

Комісією Codex Alimentarius опубліковано документ «Система аналізу небезпечного фактора і контрольної точки і керівництво до її застосування», який використовується у всьому світі як стандарт, що забезпечує належний контроль харчової продукції.

8.1. Забруднення харчових продуктів нітратами

Нітрати - це солі нітратної кислоти безбарвні кристалічні речовини, добре розчинні у воді. Вони досить розповсюджені, є невід'ємною частиною біосфери і колообігу азоту в природі. Особливо відомі натрієва, калієва і амонійна селітра, які застосовуються у сільському господарстві як мінеральні добрива.

Вивчення їх як токсикантів почалося зовсім недавно. Це пов'язано із значним забрудненням водоїм, рослинної сировини, а також чисельними випадками отруєнь людей і тварин нітратами, внесених на поля мінеральних добрив. Цілим рядом епідеміологічних досліджень у певних геохімічних регіонах встановлено залежність між наявністю в питній воді високих концентрацій нітратів і високою частотою захворювання на рак шлунку, адже у більшості випадків при використанні азотних добрив рослини засвоюють не більше 30-40% внесеної кількості, решта потрапляє у ґрунтові води.

У наш час більше 40% світового виробництва продуктів харчування є результатом використання нітратів. Відомо, що азот

відіграє важливу роль у процесі росту і розвитку овочевих культур. Він надходить до рослини у вигляді нітрат-іонів та іонів амонію добре розчинних у воді. Ці сполуки використовуються рослиною для побудови органічних речовин – амінокислот і білків. Азот сприяє тривалому перебуванню рослини в молодому і плодоносному стані, входить до складу хлорофілу, вітамінів групи В, багатьох ферментів, прискорює інтенсивність фотосинтезу. Але, якщо швидкість надходження нітрат-іонів більша швидкості проходження фотосинтезу, тоді більша частина нітратів залишається в незміненому вигляді у тканинах рослин.

Підвищений вміст цих сполук знижує якість продуктів. Накопичення нітратів в овочах і фруктах, м'ясі, молоці та інших харчових продуктах викликає отруєння, кисневе голодування організму, генетичні порушення та інші захворювання людини і тварин.

Доведено, що нітрати в організмі людини і тварин можуть відновлюватися до нітритів, які мають досить високий окисно-відновний потенціал. Нітрити здатні стимулювати окиснювальні реакції, відновлюють окиснені цитохромні системи, змінюють активність багатьох ферментних систем, руйнують вітамін А та ін.

Головна небезпека дії нітритів на організм людини полягає у здатності перетворювати гемоглобін крові на метгемоглобін, не здатний переносити кисень. Найчутливіші до нітратів діти у перші місяці життя, люди похилого віку та хворі на анемію, із захворюваннями серцево-судинної, дихальної і видільної систем. Чутливість до нітратів посилюється в умовах гірської місцевості, при підвищеному вмісті у повітрі оксидів азоту, окису і двоокису вуглецю, а також при вживанні спиртних напоїв. Судиннорозширювальна дія нітратів з поступовим зниженням артеріального тиску збільшує нестачу кисню у тканинах. Метгемоглобінемія може протікати без помітних зовні клінічних проявів, або ж з проявами, на які ми, як правило, не звертаємо уваги. Це швидка втомлюваність організму, сонливість, легке головокружіння та ін.

Нітрати також є попередниками ще більш шкідливих речовин – канцерогенних нітрозамінів. Вміст у їжі нітратів, як попередників канцерогенних сполук, вимагає особливої уваги, так як утворення в організмі цих речовин відбувається при менших концентраціях нітрат- і нітрит-іонів, ніж утворення метгемоглобіну та інших

патологічних явищ.

Сільське господарство на сучасному етапі не може гарантувати екологічно чисту продукцію. Тому пошук і розробка заходів, що дозволяють відчутно знизити надходження нітратів в організм людини є однією з актуальних проблем сьогодення. Близько 85% нітратів надходить в організм з овочами і фруктами, приблизно 10% - з водою, 5% - з іншими харчовими продуктами.

Профілактичними заходами зниження нітратів є вирощування сортів культур з низькою здатністю до накопичення цих сполук. Необхідний пошук оптимальних режимів зберігання і переробки свіжої рослинної продукції, які забезпечують зниження рівня нітратів у готових стравах.

Зниження нітратів в овочах при зберіганні залежить від багатьох факторів: виду, сорту, району й умов вирощування, термінів збирання врожаю, тощо. Встановлено, що при зберіганні овочів у приміщеннях з підвищеною вентиляцією, відбувається зниження вмісту нітратів залежно від терміну зберігання. Небезпечно зберігати при кімнатній температурі овочі, які містять велику частку вологи і швидко псуються. У пошкоджених плодах під дією мікрофлори нітрати відновлюються до нітритів, а при подальшому зберіганні і до інших сполук азоту.

Так, при зберіганні шпинату при кімнатній температурі за 4 дні кількість нітратів в ньому знижується на 30%, але значно підвищується вміст нітритів. Встановлена також можливість накопичення нітритів у розморожених і протертих овочевих продуктах. Нестерилізовані соки при кімнатній температурі уже через декілька годин можуть бути небезпечними для здоров'я людини. Тому готувати свіжі соки і пюре потрібно безпосередньо перед вживанням, переробку проводити при низьких температурах з охолодженої сировини, нетривалий час зберігати в холодильнику, або ж піддавати тепловій обробці. Факти гибелі великої кількості сільськогосподарських тварин пов'язана саме із вживання ними подрібнених буряків, гички та інших соковитих рослин, забруднених нітратами.

Вміст нітратів в добовому раціоні людини найбільшою мірою залежить від вмісту їх в готових кулінарних виробках. Одним із основних способів зменшення кількості нітратів в готових стравах є застосування різних способів кулінарної обробки овочів і фруктів.

Результати дослідження різних авторів значно відрізняються, що залежить, в основному, від умов проведення експерименту, виду сировини, ґрунтів, на яких вирощували рослини та інших факторів.

Кулінарна обробка, як правило, знижує концентрацію нітратів у продуктах. Найбільші зміни відбуваються в очищених і подрібнених овочах. Зменшенні розмірів нарізування, збільшення кількості рідини при варінні прискорюють втрату нітратів. Попереднє очищення і вимочування продуктів рослинного походження знижує вміст нітратів в середньому на 10%-40%., а варіння у воді моркви на 60%, картоплі – на 80%, буряка – на 40%. Неоднаковий відсоток втрати нітратів пояснюється впливом структури рослинних клітин на здатність нітратів переходити в рідину. Нітрати розподіляються між овочами і відваром. Зразу після варіння в овочах міститься лише 15% від загальної кількості нітратів, а надалі відбувається вирівнювання концентрацій. Овочеві відвари з великим вмістом нітратів краще не використовувати.

При варінні овочів на пару зниження концентрації нітратів у продуктах нижче, ніж при варінні у воді. Бланшування овочів, зливання відвару і подальше варіння до готовності – на 50-70%. Нарізування сировини з подальшим бланшуванням і варінням дозволяє знизити вміст нітратів на 80-90%. Варіння овочів під тиском порівняно із звичайними способами сприяє більш значному зниженню вмісту азотистих речовин у продуктах. Припускають, що вони частково руйнуються з утворенням оксидів азоту і кисню. Відсоток перетворення нітратів залежить від температури і часу обробки продуктів.

Поряд з цим, є повідомлення, що смаження, пасерування, запікання овочів і фруктів у шкірці збільшує кількість нітратів. При кулінарних процесах, пов'язаних з випарюванням рідини і концентрацією сухих речовин кількість нітратів зростає в декілька разів Але зустрічаються і протилежні твердження.

При засолюванні і квашенні продуктів кількість нітратів до кінця ферментації зменшується у 1,5-2 рази. Підвищений вміст нітратів у свіжій сировині негативно впливає на якість квашених продуктів. Кавуни, огірки, помідори, що містять кількість нітратів у 1,5-2 рази перевищуючу ГДК, при квашенні набувають неприємного смаку і запаху, у кавунів часто спостерігається від'єднання шкірки від м'якоти.

При консервуванні нітрати втрачаються частково при

ошпарюванні, частково переходять до заливок, тому розсіл і маринад краще не вживати. У розсолі з капусти і помідорів міститься більше нітратів і аскорбінової кислоти, ніж в самих овочах. Інші способи консервування також знижують вміст нітратів в продукції. Заморожені овочі, як і свіжі, містять більше нітратів, ніж фрукти, і більше, ніж овочі консервовані іншими способами, особливо з використанням термічних способів обробки.

Технологічні властивості зниження нітратів і нітритів обмежені. Але слід відмітити, що більшість із згаданих методів кулінарної обробки рослинної продукції призводить до значних втрат інших цінних компонентів: мінеральних речовин і вітамінів.

У наш час вчені пропонують альтернативні способи зниження вмісту нітратів в продуктах харчування. Серед них такі, як: мікробіологічний (застосування денітрифікуючих бактерій), хімічний (обробка харчовими солями заліза, розчинами аскорбінової кислоти, фолієвої кислоти, цистеїну), електрофізичні (іонний обмін) та інші.

8.2. Радіоактивне забруднення харчових продуктів

Радіоактивне забруднення продуктів харчування зумовлене природними і штучними джерелами надходження до них ізотопів. Радіонукліди природного походження постійно присутні у всіх об'єктах живої і неживої природи. До них відносяться ^{40}K , ^{14}C , ^3H , ^7Be , ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Rn та інші. У результаті діяльності людини: добування корисних копалин, спалювання органічного палива, освоєння ядерної енергії до природних джерел іонізуючого випромінювання додалися штучні, такі як ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{89}Sr , ^{106}Ru , ^{144}Ce , ^{131}I , ^{95}Zr та інші.

Розрізняють зовнішнє і внутрішнє опромінення. Основним джерелом внутрішнього опромінення людини, яке складає близько 5/6 від загальної його кількості є радіоактивні речовини, які потрапляють в організм з їжею, водою, повітрям, а також через шкіру і рани.

Найвагомішим природним радіонуклідом у структурі опромінення людини (більше 70%) є радон (^{228}Rn) – продукт розпаду радію (^{226}Ra). Із ґрунтових вод і ґрунту цей газ потрапляє в атмосферу, де його дочірні радіонукліди - α і β -частинки адсорбуються пилом і потрапляють під час дихання в організм

людини.

Величина екскреції радіонуклідів визначається перш за все шляхом їх надходження в організм і фізико-хімічними властивостями радіонуклідів, які впливають на всмоктування й інтенсивність їх обміну між кров'ю й органами. Якщо радіонукліди однотипні з елементами, що споживає людина з їжею (Na- K, Cl, Ca, Fe, Mn, I, та ін.), то вони швидше виводяться з організму. Окремі радіоактивні речовини концентруються в різних внутрішніх органах. Розрізняють радіоактивні речовини, які відкладаються у печінці - церій, лантан, плутоній; у м'язах – калій, рубідій, цезій; у щитоподібній залозі – йод; у селезінці, лімфатичних вузлах, наднирниках – ніобій, рутеній та інші. Елементи, які акумулюються в м'яких тканинах і органах легше виділяються з організму.

Джерела α -випромінювання (радій, уран, плутоній), β -випромінювання (стронцій, ітрій) і γ -випромінювання (цирконій) відкладаються в кістках у вигляді хімічно зв'язаних сполук з кістковою тканиною і тому важко виводяться з організму.

Різні види випромінювання радіоактивних ізотопів несуть різну кількість енергії і мають різну проникаючу здатність, тому по-різному діють на тканини живого організму. α -випромінювання являє собою потік важких часточок, що складається з нейтронів і протонів, практично затримується шкірою тіла людини. Тому воно небезпечне лише при внутрішньому опроміненні. β -випромінювання має більшу проникаючу здатність. Це потік електронів, який проникає через тканини організму на глибину до 1—2 см. Проникаюча здатність γ -випромінювання, яке поширюється із швидкістю світла, надзвичайно велика. Його може затримати лише товста свинцева, або бетонна перегородка

Іонізуюче випромінювання має високу біологічну активність. Воно уражає носіїв спадковості — молекули ДНК, спричинюючи хромосомні та генні мутації. Наслідки таких мутацій проявляються відразу, або через декілька поколінь. Також іонізуюче випромінювання здатне уражати клітини і тканини та викликати соматичні порушення, що проявляються в опіках, катарактах, зниженні імунітету, розвитку злоякісних пухлин різних органів. Пошкодження в живому організмі радіоактивними променями тим істотніше, чим більше енергії воно передає тканинам. Кількість переданої таким чином енергії називають дозою опромінення.

Кількість енергії опромінення, яку поглинула одиниця маси

тіла опроміненого організму, називається дозою поглинання і вимірюється у греях (Гр). Якщо враховувати, що при однаковій дозі поглинання α -випромінювання значно небезпечніше ніж β -або γ -випромінювання, то дозу слід помножити на коефіцієнт, який характеризує здатність даного виду випромінювання пошкоджувати тканини організму. Визначена таким чином доза називається еквівалентною і вимірюється в одиницях Зіверта (Зв). Одиниця активності радіонуклідів — бекерель (Бк). Один бекерель відповідає одному розпаду радіонукліда в секунду.

Загальну схему дії іонізуючого випромінювання на організм людини можна представити основними етапами. На першому – поглинута енергія випромінювання спричиняє іонізацію і збудження макромолекул у найслабкіших місцях (SH-групи білків, ненасичені зв'язки ліпідів). На другому етапі відбувається взаємодія радикалів білків, амінокислот, жирів з водою, киснем і утворення вільних радикалів пероксиду (H_2O_2) і гідрпероксиду (HO_2) водню, які є сильними окиснювачами, мають високу хімічну активність і вступають у реакцію з білками, ферментами та іншими елементами клітини, що призводить до зміни у ній біологічних процесів. Третій етап пов'язаний з біохімічним розладом функціонування клітини. В організмі порушуються процеси розпаду глюкози, полісахаридів, з ліпідів утворюються пероксиди, що призводить до порушення клітинних мембран і загибелі клітини. Патологічні процеси в організмі, ріст пухлин пов'язані з хромосомними ураженнями соматичних клітин.

Продукція рослинного і тваринного походження характеризується нерівномірним розподілом радіонуклідів, так як переважно являє собою багатоконпонентну і багатофазну суміш. Використовуючи традиційні і спеціальні прийоми обробки можна знижувати вміст радіонуклідів у продуктах харчування.

У рослинній продукції спостерігається прямопропорційна залежність між накопиченням у ній радіонуклідів і щільністю забруднення місцевості. При контамінуванні плодів радіоактивним дощем, кутикула є перепорою для проникнення радіонуклідів всередину. Радіоізотопи Cs^{137} і Sr^{90} не проникають глибше одного міліметра в яблука, груші, картоплю протягом 10 год контамінування. Основна частина Sr^{90} нагромаджується у целюлозі і крохмалі плодів і овочів. Нестандартна продукція (дрібна, ушкоджена) містить у 2-3 рази більше радіонуклідів.

Перехід радіоактивних ізотопів із раціону сільськогосподарських тварин у молоко, яйця, м'ясо і субпродукти залежить від рівня їх надходження з кормами, від збалансованого харчування тварин. Молочні продукти здатні акумулювати радіонукліди в білково-ліпідних оболонках, особливо міцний комплекс з білками утворює Sr, йод більше акумулюється в жировій фазі. При виробництві кисломолочних продуктів, вершків більша частина радіонуклідів переходить у сироватку і маслянку. Вміст радіонуклідів у вершках тим нижчий, чим вищий у них вміст жиру. Промивання вершків є простим і ефективним способом зниження концентрації радіонуклідів. При виробництві топленого вершкового масла вилучаються лецитино-білкові оболонки, а з ними і радіоактивні речовини. Сири, які виробляються сичужно-кислотним способом містять більше радіонуклідів, ніж кислотним. У сичужний сир переходить близько 19%, а в кислотний – 8% всіх радіонуклідів, що містяться в молоці.

У промисловості існують іонообмінні методи виведення радіонуклідів з молока. Із сироватки близько 50% Sr можна вивести обробкою її трикальційфосфатом.

Вміст радіонуклідів у різних тканинах м'яса значно відрізняється. М'ясо містить Sr у 1000 разів менше, ніж кістки. У жировій тканині ізотопів у 4-10 разів менше, ніж у м'язовій. У перетопленому салі - у 20 разів менше, ніж у сирому.

Головним завданням профілактики і зменшення внутрішнього опромінення людини є зниження радіоактивного забруднення харчових продуктів і води, а також зниження засвоєння радіонуклідів при їх тривалому надходженні в організм. Встановлено, що повноцінне харчування, збагачення раціону Ca, K, вітамінами A, E, C, харчовими волокнами, а також речовинами з радіопротекторною дією (цистеїн, глутатіон) сприяє профілактиці опромінення радіонуклідами організму людини.

При нестачі в організмі людини кальцію особливо інтенсивно в кістки проникає ^{90}Sr . Він виводиться багатьма органічними кислотами, пектиновими речовинами, які містяться у сухофруктах, желе, варенні. Треба пити більше соків, вживати екологічно чисті овочі і фрукти. Цезій ^{137}Cs виводиться з організму під впливом свого хімічного аналогу - калію. Багато калію міститься в петрушці, селері, шпинаті, шавлі, хроні, картоплі, родзинках, кисломолочних сумішах, чорній смородині, шовковиці. Дуже важливі для

профілактики засвоєння радіонуклідів каротинвмісні продукти: абрикоси, хурма, обліпіха, горобина чорноплідна, морква, шпинат, цибуля зелена, томати, перець солодкий, гарбуз та інші.

Вміст радіонуклідів значно знижується під час технологічної і кулінарної обробки продуктів. Наприклад, при технологічній переробці фруктів і овочів при консервуванні вміст ^{90}Sr у готовому продукті зменшується майже у 6 разів порівняно із сировиною. Миття зелені і салатів 2 % розчином лимонної кислоти зменшує кількість ^{137}Cs на 57% і ^{90}Sr на 19%. Миття і тушкування квасолі сприяє зменшенню кількості, ^{90}Sr на 56%. Стерилізація стручкової квасолі в домашніх умовах зумовлює зниження його вмісту на 50%. При очищенні помідорів від шкірки після занурення у гарячу воду (90°C на 3 хв) вміст того ж радіоізоотопу зменшується на 39%.

При переробці цукрових буряків на цукор досягають майже повного очищення від ^{90}Sr , тим часом як від ^{137}Cs залишається 38% його початкової кількості в буряках.

Радіоізотопи цезію і стронцію відкладаються в основному в зовнішніх оболонках пшеничного зерна, тобто при його помолі вони переходять у висівки. Від 3 до 40% радіоізоотопів цезію і від 18 до 21% ізоотопів стронцію переходить у борошно, залежно від його сорту. Більш низький вміст радіоізоотопів у найвищих сортах борошна, у яких менший вміст оболонки зернівки.

При варінні м'яса в бульйон переходить близько 70% Cs і соті частки Sr. При додаванні до води кислоти, або солі „виварювання” радіонуклідів збільшується до 85%. Радіоізотопи Sr при тепловій обробці можуть переходити з кісток у м'ясо і жир. У яйцях найбільше радіонуклідів нагромаджується у шкаралупі, з якої при варінні вони також переходять у їстівну частину.

Радіологічний контроль продуктів харчування здійснюється органами і установами санепідемслужби (СЕС), ветеринарної і агрохімічної служб.

Нині на основі численних радіобіологічних експериментів на клітинному і молекулярному рівнях прийнято концепцію безпорогової залежності „доза - біологічних ефект”, згідно з якою навіть поодинокі заряджена частинка створює уражувальний ефект, який здатний викликати порушення в спадковому апараті клітини.

Особливої актуальності у нашій країні набуває збільшення виробництва профілактичних продуктів, які містять біологічно активні речовини (пектин, альгінат натрію, рутин, вітамін С, β -

каротин, цикорій, харчові волокна). Розробка продуктів радіозахисної дії здійснюється з використанням всіх груп радіозахисних речовин: сорбентів, антиоксидантів, комплексоутворювачів, імуномодуляторів. Розроблені нові продукти з лікувально-профілактичними властивостями. Вони не тільки знижують вміст шкідливих для здоров'я радіонуклідів, а й сприяють виведенню з організму переважно цезію і стронцію, які переважають у харчових продуктах після Чорнобильської катастрофи.

8.3. Забруднення продуктів харчування пестицидами

За призначенням ці сполуки поділяють на гербіциди, які використовують для боротьби з бур'янами, зооциди - з гризунами, інсектициди - з комахами, фунгіциди – з грибковими хворобами, бактерициди – з бактеріальними хворобами, нематоциди – з круглими червами, акарициди – з кліщами, афіциди – з личинками комах та інші. Багато препаратів має комбіновану дію.

Пестициди класифікують також за токсичністю, тобто ступенем отруйності при потрапленні однакової кількості цих сполук в організм людини. Сильнодіючими ядовитими речовинами вважаються речовини ЛД₅₀ яких менше 50 мг/кг, високотоксичними – 50-200, середньо токсичними – 200-1000 і низько токсичними – більше 1000 мг/кг.

Існує класифікація пестицидів за стійкістю. Їх поділяють на дуже стійкі, розкладання яких у навколишньому середовищі триває більше 2 років, стійкі - 0,5-2 роки, помірно стійкі - 1 рік-6 місяців і малостійкі - до 1 місяця.

Запропоновано класифікацію пестицидів за їх кумулятивними властивостями. Матеріальна кумуляція характеризується нагромадженням в організмі речовини, або їх метаболітів. Функціональна – супроводжується нагромадженням патологічних ефектів.

Порушення гігієнічних норм зберігання, транспортування і застосування пестицидів призводить до їх нагромадження у навколишньому середовищі. Пестициди мігрують по ланцюгу: повітря – ґрунт – рослини – тварини – людина. Тому потраплення пестицидів в організм людини можуть бути пряме і не пряме - по харчових ланцюгах. Харчові продукти як кінцева ланка цього

ланцюга підлягають суворому санітарно-гігієнічному контролю.

Для попередження і профілактики отруєння забрудненими пестицидами продуктів встановлюють безпечні терміни збирання рослин після обробки їх пестицидами, забою тварин. Основний фактор, який впливає на цей термін – стійкість отруйної речовини у зовнішньому середовищі, рослинних і тваринних організмах.

Встановлено допустимі добові дози (ДДД) надходження пестицидів в організм відносно маси тіла людини, а також максимально допустимий рівень (МДР) у навколишньому середовищі і продуктах харчування.

Таблиця 30. Допустимі добові дози надходження пестицидів в організм людини (у мг/кг маси тіла)

Пестицид	ДДД	Пестицид	ДДД
Діацинон	0,002	Метилпаратіон	0,001
Диметоат	0,002	Трихлорфон	0,005
Мелатіон	0,002	Фенітротіон	0,005
Фоздрин	0,0015	Фозалон	0,006

За хімічною природою найбільш розповсюджені фосфорорганічні, хлорорганічні, пестициди, препарати міді, ртуті, сірки, карбамати, піретроїди та інші.

Хлорорганічні пестициди найбільше використовуються в сільському господарстві. Вони дуже добре акумулюються в організмі і деякі з них досить стійкі. Найвідоміший із цих сполук інсектицид ДДТ (дихлородифенілтрихлорометилметан). Застосування ДДТ з середини ХХ ст. різко підвищило сільськогосподарське виробництво і дало змогу здійснити «зелену революцію» в країнах Латинської Америки та Південно-Східної Азії. Однак незабаром з'явилися дані про те, що деякі комахи набули стійкість до ДДТ, почали гинути деякі види комахоїдних птахів, бджоли, підвищений уміст препарату стали виявляти в тканинах риб, в печінці пінгвінів і навіть у жіночому молоці. З'ясувалося, що ДДТ є хімічно стійкою сполукою з періодом природного напіврозпаду 49 років, він тривалий час у незміненому вигляді перебуває в ґрунті, воді, ланцюгах живлення. Потрапляючи у великих дозах до організму людини ДДТ нагромаджувався у тканинах і спричиняв захворювання нервової системи, серця, печінки. Отже, ДДТ виявився токсичним стійким пестицидом із

вираженою кумулятивною дією. Через небезпечність для здоров'я людини цей пестицид було заборонено практично в усіх країнах світу.

Фосфорорганічні пестициди швидко розпадаються під впливом факторів зовнішнього середовища (світла, температури, у кислому середовищі) і руйнуються при тепловій обробці. При дотриманні правил використання отруїтись ними не можливо, тому вони досить широко використовуються у сільському господарстві. Більшість фосфорорганічних сполук характеризуються кумулятивним ефектом і тому можуть становити небезпеку для здоров'я людини. Токсичність цих сполук зумовлена тим, що вони пригнічують діяльність ряду ферментів, порушують функцію центральної нервової і серцево-судинної системи.

З ртутьорганічних сполук для протравлення насіння використовуються гранозан і меркуран. Вони стійкі, леткі, високотоксичні. Неорганічні препарати, до складу яких входять Cu, S, P та інші використовуються для захисту плодових культур. Сполуки, які містять Cu (сульфат міді, мідний купорос, бордоська рідина, купронафт) широко використовуються для захисту садів, виноградників. Це дуже токсичні препарати, особливо мідний купорос, який при потраплянні в організм викликає отруєння, що характеризується металевим присмаком в роті, нудотою, блюванням, болем в животі, діареєю.

При обробці рослин пестициди концентруються в місцях стикання їх з листя та в основі стебла, на плодах, біля черешка, в чашечці та шкірці. У зовнішньому листі капусти їх менше, у качані - у 2,5-10 разів більше. У шкірці огірків, у верхній лусці цибулі пестицидів у 3-4 рази більше, ніж в центральній частині плодів. Будова і склад кутикули такі, що вона забезпечує природний захист внутрішньої частини, м'якоті фруктів і овочів.

Залишки пестицидів у борошні вищого сорту у 20 разів нижчі, порівняно із зерном. Проте у першому і другому сортах борошна кількість пестицидів зростає відповідно до збільшення у ньому залишків оболонки зернівки. Температура випікання і процес ферментації хліба суттєво не впливають на залишок пестицидів. Останні є інгібіторами ферментативного процесу, пригнічують розвиток дріжджів при виробництві хлібобулочних виробів.

Організм тварин є своєрідним фільтром пестицидів. Залишковий вміст цих сполук залежить від виду тварин, від будови

травної системи і насамперед від властивостей хімічних сполук, з яких складаються пестициди. Фосфорорганічні та хлорорганічні інсектициди й акарициди, потрапляють в організм тварин і через шкіру, а також дихальні шляхи, коли їх застосовують проти мух, комарів та інших паразитуючих комах. Майже всі фосфорорганічні пестициди нестійкі, тому в організмі тварини швидко розкладаються і рідко можуть перейти у молоко, м'ясо. Хлорорганічні пестициди, потрапляючи в організм тварин, повільно змінюються й кумулюються в жирових запасах, де затримуються протягом місяців і навіть років. Вони практично постійно присутні в організмі тварин, а також безперервно виділяються з нього з молоком.

Специфічна локалізація і спосіб зв'язування молекул пестицидів з різними структурними компонентами, які входять до складу харчових продуктів, істотно впливають на характер та ступінь їх перетворення та перерозподілу у процесі технологічної та кулінарної обробки.

Міграція їх стосується розподілу між фракціями харчового продукту. У деяких випадках основна кількість пестициду із сировини переходить у харчовий продукт. Прикладом є вища концентрація хлорорганічних інсектицидів у маслі та олії порівняно з молоком і насінням, з яких їх виробляють. Жиророзчинні пестициди при центрифугуванні молока концентруються у сметані та маслі, водорозчинні в основному переходять у знежирене молоко і маслянку.

Зниження концентрації залишків пестицидів підчас зберігання харчової сировини, або готової продукції відбувається переважно за рахунок деградації сполук. Суттєво, що кінцеві метаболіти у цьому випадку мають бути менш токсичні і цілком безпечні.

Залишкова кількість пестицидів у оболонці та поверхневих шарах харчових продуктів рослинного походження можуть бути знижена під час кулінарної і технологічної переробки. При митті овочів і фруктів вміст цих сполук, за даними різних дослідників, знижується на 25-80%, залежно від виду плодів.

Оскільки температура плавлення, кипіння і розпаду більшості пестицидних речовин значно вища за 100 °С, тому ефект зниження вмісту цих сполук при тепловій обробці харчових продуктів незначний. Кількість деяких пестицидів може бути зменшена шляхом випаровування. При різних способах висушування, залежно

від леткості пестициду, їх вміст знижується на 15-20 % від початкової концентрації.

Отже, ефект зниження пестицидів має конкретне і специфічне значення для кожного окремого випадку. Ряд фізико-хімічних процесів, таких як сатурація у виробництві цукру, дистиляція при одержанні спирту і ефірних масел, сприяють повному очищенню кінцевих продуктів від пестицидів. При накопиченні пестицидів у харчовій сировині понад норму її додають до незабрудненої, переробляють на консерви, крохмаль, кондитерські вироби, або застосовують як посівний матеріал.

8.4. Забруднення продуктів харчування важкими металами

Харчові продукти забруднюються важкими металами через газоподібні, рідкі, тверді викиди та відходи промислових підприємств, ТЕС, транспорту, комунальні побутові відходи, стічні води, засоби захисту рослин.

З продуктами харчування в організм людини надходить близько 40 важких металів. Найтоксичнішими вважають свинець, олово, мідь, нікель, берилій, селен, мишак, кадмій, ртуть, вісмут тощо. Але деякі з цих металів (Zn, Cu, Cr, Co, Sr, Mn) є "металами життя", у невеликих кількостях вони необхідні для життєдіяльності організму людини. Тим більше, у деяких країнах (США- Німеччина, Фінляндія) на основі сучасних досліджень дії макро- і мікроелементів, добові норми переглядаються і навіть збільшуються. Наприклад в Україні добова норма Se -0,5 мг а у США - 10 мг, що пояснюється його блокувальною дією на шкідливі та канцерогенні елементи, зокрема Cd, Pb, Hg. Тому межа між біологічно необхідною і токсичною для організму людини кількістю мінеральних сполук ще досліджується.

За токсичністю близько важкі метали поділяють на 3 класи. Перший клас включає найбільш небезпечні токсиканти - Cd, Pb, Ni, Hg, Co, As. Другий клас - Cu, Zn, Mn, а третій - всі інші.

Проблема забруднення навколишнього середовища сполуками найбільш розповсюдженого у біосфері важкого металу - Pb спричинена в основному застосуванням етильованого бензину у двигунах внутрішнього згорання. Сполуки Pb застосовують також у виробництві акумуляторів, електричного кабелю, фарб, пластмас,

кристалю, захисних засобів проти іонізуючого випромінювання, обладнання, тощо. Рослини акумулюють Pb, викинутий у атмосферу більше листям, ніж кореневою системою. До організму людини Pb переважно потрапляє по харчових ланцюгах з продуктами рослинного походження, печінкою і нирками тварин. Депонується цей елемент у кістках, м'язах, печінці, нирках, головному мозку, серці, лімфатичних вузлах. Допустима добова доза Pb становить 0,007 мг/кг маси тіла. ГДК у воді – 0,05 мг/л.

Hg поступає в організм переважно з рибою і морепродуктами, які акумулюють його із води і корму, завдяки наявності в їх м'язовій тканині білка, здатного утворювати з металами комплексні сполуки. М'ясо риби, особливо хижої може містити від 60 до 600 мг/кг Hg. Багато ртуті також акумулюється у перезрілих грибах, з яких при варінні Hg, на відміну від м'яса і риби, не переходить у відвар. Добова норма надходження Hg – 0,05мг/кг. ГДК у воді – 0,0005 мг/л.

Cd надходить до біосфери з гірничо-рудної галузі, при спалюванні палива на ТЕС, його застосовують у складі лікувальних препаратів у ветеринарії. Допустима добова доза – 1 мкг/кг маси тіла.

Важкі метали небезпечні для людини внаслідок їх стійкості і ліпофільності, тривалого періоду виведення із організму, який триває від декількох місяців до декількох років. Вони здійснюють різний вплив на організм, що пов'язано з характером їх акумуляції. При цьому вибірково вражаються різні органи і тканини.

Pb витісняє кальцій з кісткової тканини, викликає підвищення артеріального тиску, спазми судин і кишківника, судороги, анемію. Cd відкладається у кістках, спричиняє ураження нервової системи, нирок, статевих органів. Hg акумулюється у клітинах нервової системи, порушує функції слуху, зору, викликає ішемічну хворобу серця, гіпертонію.

Хронічне отруєння організму людини важкими металами спостерігається, коли токсин поступає в організм швидше, ніж виводиться з нього. Для важких металів не існує механізмів природного самоочищення, вони нагромаджуються у харчових ланцюгах, а очисні споруди практично повністю пропускають мінеральні солі.

Для зниження вмісту важких металів, як і інших забрудників, рекомендується забруднені продукти ретельно мити (вміст важких

металів знижується при цьому приблизно на 3-5 %), замочувати, бланшувати у воді, не використовувати воду з неперевіраних джерел. У покривних тканинах важких металів більше ніж у м'якоті. У дрібних плодах більше нагромаджується свинцю, але менше міді, цинку, миш'яку ніж у великих. У сік більше переходить свинцю і міді, ніж їх залишається у м'якоті.

Велике значення у профілактиці інтоксикації важкими металами має повноцінне харчування. Дефіцит у раціоні Ca, P, Fe, Zn, Se, аскорбінової кислоти, повноцінних білків, пектинових речовин підвищує засвоєння в організмі важких металів. Рекомендується вживати більше молочних продуктів, овочів, фруктів, зернових продуктів, які містять багато харчових волокон, каротиноїдів, які сприяють виведенню важких металів з організму. Також слід приділяти увагу особистій гігієні: мити руки, у приміщенні частіше проводити вологе прибирання для видалення пилу, який акумулює важкі метали.

8.5. Мікробне забруднення харчових продуктів

Причиною харчових отруєнь можуть бути токсини не лише хімічного, але й біологічного походження. Забруднюються харчові продукти мікроорганізмами та їх токсинами у процесі виробництва, транспортування, зберігання та реалізації готової продукції, в також за відсутності належного санітарного контролю та нагляду за особами, які працюють на харчових підприємствах.

Харчові отруєння спричинені мікроорганізмами умовно поділяють на токсикоінфекції, викликані потраплянням і розмноженням у кишечнику людини патогенних мікроорганізмів та бактеріальні інтоксикації, які виникають внаслідок потрапляння до організму токсинів, утворених мікроорганізмами.

Токсикоінфекції викликають в основному умовно-патогенні бактерії, які є звичайними представниками мікрофлори людини. Серед таких найбільш відомих мікроорганізмів є окремі серотипи кишкової палички (*E. coli*), бактерії роду протея (*Proteus*), клостридії (*Clostridium perfringens*), палички цереус (*Bacillus cereus*), стрептококи (*Streptococcus*) та інші. Більшість із них не має патологічних властивостей, але окремі штами за певних умов можуть викликати токсикоінфекції, клінічні ознаки яких схожі між собою. Захворювання проявляється у вигляді помірно вираженого

синдрому інтоксикації (загальна слабкість, головний біль, відсутність апетиту, біль у м'язах кінцівок) у поєднанні з симптомами ураження шлунково-кишкового каналу (різкі болі в ділянці живота, нудота, блювання, діарея зі слизом і кров'ю).

Серед бактерій, що спричиняють харчові інтоксикації, слід відзначити золотистий стафілокок (*Staphylococcus aureus*). За частотою випадків стафілококове отруєння посідає перше місце серед харчових отруєнь. Інфікування їжі відбувається під час контакту осіб із захворюваннями носа та горла з харчовими продуктами та недотримання правил особистої гігієни. Розвиваючись у харчових продуктах, стафілокок в аеробних і анаеробних умовах може виділяти ентеротоксин, що є загальною причиною харчових отруєнь.

Стафілококи можуть рости у продуктах при неналежному зберіганні, з відносно низьким вмістом вологи, високим вмістом цукру і кухонної солі, наприклад, в сирах, ковбасах, кондитерських виробках. Вони відсутні у кислих продуктах. Процес кип'ятіння вбиває бактерій, але ентеротоксини термостійкі і легко витримують кип'ятіння протягом кількох хвилин. Отруєння такими продуктами супроводжується болем у животі, нудотою, блюванням. Часто можуть виникати нариви, гнійне запалення слизових оболонок і шкіри.

Ботулінові мікроорганізми (*Clostridium botulinum*) живуть і розвиваються у ґрунті, воді, кишковому тракті не викликаючи захворювання, поза організмом утворюють стійкі спори, які витримують температуру 120⁰С протягом 20 хвилин. Потрапляючи в анаеробні умови, переважно при консервуванні продуктів, багатих на білок, ці мікроорганізми утворюють дуже небезпечний токсин, який є однією з найсильніших отрут у світі.

Перші клінічні ознаки захворювання на ботулізм це розлади зору (відчуття туману, сітки, двоїння), головний біль, нестійка хода. Пізніше з'являються втрата голосу, параліч повік, мимовільні рухи очима, напруження жувальних м'язів, параліч м'якого піднебіння, порушення ковтання і відчуття нестачі повітря. При відсутності лікування спеціальною сироваткою летальність досягає 70%.

Проблема мікотоксинів як забруднювачів продуктів харчування зростає при інтенсифікації сільського господарства та втраті рослинами стійкості до фітопатогенів. Внаслідок застосування антибіотиків для знищення бактерій виникла

біологічна ніша, яку успішно заповнюють мікроскопічні патогенні гриби. Плісняві грибки, пристосовуючись до нових пестицидів, збільшують концентрацію мікотоксинів у декілька десятків разів. Вражаються грибами, які утворюють мікотоксини, переважно рослинні продукти, які мають достатньо високу вологість.

Мікотоксини - велика група низькомолекулярних токсичних метаболітів, що продукуються мікроскопічними, в основному пліснявими грибами, які розвиваються у харчових продуктах. За будовою - це ароматичні поліциклічні сполуки, які володіють канцерогенною, мутагенною, тератогенною, імунодепресивною, гепато-, нейро- кардіотоксичною та іншою негативною дією у дуже малих концентраціях. Тому дослідження цих сполук розпочалося лише з появою сучасних високочутливих методів аналізу.

Відомо більше 300 видів пліснявих грибів, які мають токсиноутворюючу здатність, найбільше з них відноситься до родів: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Fusarium*, *Mirothecium*, *Trichotecium* та інших. Серед найбільш розповсюджених і небезпечних для здоров'я людини мікотоксинів є афлатоксини, трихотецени охратоксини, стеригматоксин, патулін, зеаралеон та інші.

Афлатоксини – одні з найбільш розповсюджених і небезпечних мікотоксинів, які володіють канцерогенною дією. Здатністю утворювати афлатоксини володіють 2 види грибів: *Aspergillus flavus* і *A. parasiticus*. Позначення токсинів: В₁, В₂, G₁, G₂- означають перші літери слів «blue» і «green», які відповідають кольору флюоресценції цих сполук при їх опроміненні.

Сприятливіші умови для утворення афлатоксинів у бобових, які містять більше В, Mg, Ca, Zn, що стимулюють розвиток пліснявих грибів. Часто зустрічаються ці мікотоксини в арахісі, кукурудзі, горіхах. Афлатоксини утворюються під час росту грибів при температурі 7,5- 40⁰С (оптимальна - 24 ⁰С) і відносній вологості більше 83% , рН від 2,5 до 8,0. Максимальна доза афлатоксину В₁ , яка безпечна для людини – 0, 005-0,01 мг/кг маси тіла. ГДК встановлено ВООЗ для афлатоксину В₂ - 5 мг/кг для розвинутих країн і 30 мг/кг – для країн, що розвиваються.

Афлатоксини викликають в організмі гострий токсикоз (синдром Рея), який проявляється у пожовтінні м'язової тканини, а згодом епітелію слизових оболонок, втраті апетиту, порушенні діяльності ЦНС, цирозі печінки, гіперплазії жовчних клапанів.

Стеригматоцистин (*A. flavus*) виявлений у зелених зернах

кави, у пшениці, рисі. Охратоксини (А, В, С) виявлені у зернових, а також у печінці, нирках і жировій тканині поросят, які вживали забруднений ними корм.

Інший канцерогенний мікотоксин – патулін часто виявляється у запліснявілих ягодах, овочах і фруктах, а також соках, джемах та іншій продукції, виготовленій із неякісної сировини. Зеаралеон – завжди присутній у запліснявілій кукурудзі, вомітоксин – у зерні, враженому фузаріозом.

Ерготизм – захворювання спричинене грибом *Claviceps purpurea*, який утворює склероції (ріжки) з токсичними алкалоїдами на різних зернових культурах. Характерними симптомами отруєння цим грибом є галюцинації, конвульсії, аборти, гангрена кінцівок. Розрізняють конвульсивну та гангренозну клінічні форми ерготизму. При конвульсивній формі ерготизму спостерігаються відчуття повзання мурашок, оніміння, сонливість, інколи блювота, спазми та контрактура розгинальних м'язів рук та ніг, епілептиподібні судоми, психічні розлади, парези та атрофії мускулатури. Гангренозна форма проявляється трофічними розладами на кінцівках з наступним посинінням шкірних покривів, утворенням пухирів, сухою гангреною кінцівок

Враховуючи здатність пліснявих грибів до утворення токсинів слід дотримуватись вимог щодо виробництва, зберігання харчових продуктів, не допускаючи їх запліснявіння. Видалення уражених пліснявою ділянок, промивання і очищення такої продукції не завжди гарантує усунення токсинів, тому що метаболіти проникають глибше у продукт, ніж сам міцелій. Тим більше, деякі продукти їхнього розпаду можуть бути токсичніші за вихідні сполуки.

Особливої уваги потребують продукти, одержані із запліснявілої сировини. Ферментативні процеси з участю мікроорганізмів використовують у виробництві алкогольних напоїв, квасу, маслин, кави, квашених плодів і овочів. Горіхи у шкаралупі, кісточкові плоди, бобові, ферментні препарати містять афлотоксини.

Спори мікроскопічних грибів, тобто небезпека зараження грибами є на всіх етапах збору, зберігання, переробки сільськогосподарської продукції. Засобами для попередження й обмеження забруднення харчових продуктів мікотоксинами є термообробка, вчасне висушування, або використання

протигрибкових препаратів.

8.6. Забруднення харчових продуктів антибактеріальними та гормональними препаратами

У харчових продуктах можуть зустрічатися антибіотики різного походження: природні антибіотики, які містяться у сировині, які утворилися у процесі приготування продуктів, антибіотики лікувально-ветеринарних засобів і біостимуляторів, а також ті, що вживаються для консервування.

Природні компоненти з антибіотичною дією містяться у яйцях, цибулі, хроні, прянощах, ефірних оліях, меді, молоці, крупах. При мікробно-ферментативних процесах, таких як виробництво деяких сирів, соєвого соусу, кави теж утворюються речовини з антибіотичною дією.

З метою підвищення продуктивності сільського господарства, профілактики і лікування хвороб рослин і тварин, прискорення росту тварин, збереження якості кормів широко застосовуються антибіотики, сульфаніламіді, нітрофурані, гормональні препарати та інші.

Близько половини виготовлених антибіотиків використовується у сільському господарстві. У корми добавляють препарати-антибіотики: гризин і бацітрацин, тетрацикліни, які поступають на ферми у складі білково-вітамінних добавок, комбікормів. У зв'язку з тим, що ці сполуки переходять у м'ясо, молоко, яйця, не дозволяється їх добавляти у корм коровам, племінним тваринам і виключати з раціону не пізніше ніж за добу до забою. Молоко тварин, які лікували антибіотиками забороняють використовувати 7 діб, воно не придатне для виробництва кисломолочних продуктів і сирів. При пастеризації руйнується всього 5-20% антибіотиків.

Антибіотики мають токсичну дію, вони приводять до порушення функціональних властивостей органів людини, викликають алергії, зміну мікрофлори кишечника, приводять до порушення синтезу вітамінів, розвитку патогенних організмів.

Антибіотики з групи тетрациклінів, нізин, солі бензойної та саліцилової кислоти використовуються як консерванти для виробництва овочевих консервів (зелений горошок, цвітна капуста, гірчиця), рибних пресервів, сиру, а також з метою попередження псування м'ясної, рибної та іншої продукції. Антибіотик піморіцин

допускається для обробки поверхні сирів (МДР 1 кг/дм з проникненням не більше 5 мм).

Сульфаніламіді використовуються для боротьби з інфекційними захворюваннями тварин, так як мають антимікробну дію. ГДК сульфаніламідів у м'ясних продуктах - 0,1 мг/кг, у молочних – 0,01 мг/кг. Нітрофурани мають більшу антибактеріальну дію і використовуються в боротьбі з інфекціями, які стійкі до антибіотиків і сульфаніламідів.

Гормональні препарати використовуються у тваринництві для поліпшення засвоєння кормів, стимуляції росту, прискорення статевого дозрівання. Сучасні синтетичні препарати відносно дешеві, за своїми властивостями значно ефективніші від природних гормонів, повільно перетворюються і накопичуються в організмі тварин. Вони також стійкі до дії різних факторів при приготуванні їжі. Потрапляючи по харчових ланцюгах до організму людини, вони порушують обмін речовин, функції окремих органів. ГДК естрадіолу у м'ясі (маслі), молочних продуктах і казеїні відповідно складає – 0,0005 і 0,0002 мг/кг; тестостерону – 0,015 мг/кг

У сучасних соціально-економічних умовах забруднення харчової продукції стало масштабним і неконтрольованим. Враховуючи суматій ну комбіновану дію багатьох сторонніх речовин на організм людини, все більшого значення набувають профілактичні заходи і пошуки шляхів зниження вмісту забрудників у продуктах харчування та їх надходження до організму людини.

Технологічна обробка харчової сировини рослинного і тваринного походження поєднує гідро-механічні, біологічні і фізико-хімічні процеси. Тому дуже складно врахувати вплив усіх факторів на міграцію і деградацію різних забрудників. Математичне моделювання цих процесів у продуктах харчування дає можливість для цілісного аналізу процесів, які відбуваються на певних етапах технологічної переробки і зберігання продукції.

У боротьбі з забрудненням харчових продуктів належить усунути не наслідки а причини, що його спричиняють. Перш за все необхідні заходи на державному рівні щодо забруднення біосфери.

ЛІТЕРАТУРА

1. Біохимия растительного сырья / [Щербаков В.Г., Лобанов В.Г., Прудникова Т.Н. и др.]; под ред. В.Г. Щербакова. – М.: Колос, 1999. – 376с.
2. Біохимия хранения картофеля, овощей и плодов / Отв. ред. В.Л. Кретович - М.: Наука, 1990. – 183с.
3. Біохімія. Практикум (статика) / [Боєчко Ф.Ф., Боєчко Л.О., Шмиголь І.В., Чепчуренко Н.В.]. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2006. – 352 с.
4. *Боєчко Ф.Ф.* Біологічна хімія / Ф. Ф. Боєчко. – Київ: Вища шк. 1995. - 536 с.
5. *Боєчко Л.О.* Основи біохімії вітамінів і гормонів: Навчальний посібник / Л.О. Боєчко. – Черкаси, Видавництво ЧНУ, 2012. – 344с.
6. *Вітол І. С., Кобелева І. Б., Траубенберг С. Є.* Ферменти та їх застосування в харчовій промисловості - Київ: ІК МГУПП, 2000. - 80 с.
7. *Голубев В.Н.* Основы пищевой химии / В.Н. Голубев – М.: Бионформсервис, 1997. – 223 с.
8. *Горбатова К.К.* Біохимия молока и молочных продуктов / Горбатова К.К. – М.: Пищ. пром., 1990.
9. *Грачова И. М., Кривова А. Ю.* Технология ферментных препаратов. - М.: Элевар, 2000. - 512с.
10. *Дудкин М. С., Щелкунов Л. Ф.* Новые продукты питания. - М.: Наука, 1998. - 304с.
11. *Євлаш В.В.* Харчова хімія : Навчальний посібник / В.В. Євлаш, О.І. Торяник, В.О. Коваленко, О.Ф. Аксьонова, Н.О. Отрошко, Т.О. Кузнецова, Л.Ф. Павлоцька, Д.О. Торяник. – Харків: Світ книг, 2012. – 504с.
12. *Жеребцов Н.А.* Ферменты: их роль в технологии пищевых продуктов: учеб. пособие / Жеребцов Н.А., Коренева О.С., Фараджаева Е.Д. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1999. – 120с.
13. *Занков Г.Е.* Роль химии в производстве продуктов питания / Занков Г.Е. – М.: Пищ. пром., 1986.
14. *Казаков Е.Д.* Біохимия зерна и продуктов его переработки / Е.Д. Казаков., В.Л. Кретович.. – М.: Агропромиздат, 1989. – 368с.
15. *Колісна А. Ю.* Біохимические системы в оценке качества продуктов питания. - М.: Харчова промисловість, 2000. - 414 с.

16. *Кретович В.Л.* Биохимия зерна и хлеба / Кретович В.Л. – М.: Наука, 1991. – 368с.
17. *Кретович В.Л.* и др. Техническая биохимия: учеб. пособие для студ. университетов / [Кретович В.Л, Метлицкий Л.В, Бокучава М.А. и др.]; под ред. Кретовича В.Л. - М.: Высш.шк. 1973. – 456с.
18. *Кузьмина Н.П.* Биохимия хлебопечения / Кузьмина Н.П. - М.: Пищ. пром. 1978.
19. *Никитин Г.А.* Биохимические основы микробиологических производств / Г.А. Никитин. - Київ: Вища шк. 1981.
20. Номенклатура ферментів. Рекомендації Міжнародного Біохімічного Союзу. - М., 1979. - 319 с.
21. *Орлова Н.Я.* Фізіологія та біохімія харчування.- Київ: К. держ. торг.- екон.ун-т., 2001.
22. *Павловский П.Е.* Биохимия мяса / П.Е. Павловский., В.В. Пальмин. – М.: Пищ. пром. 1976.
23. *Пасичный В.Н., Сабадаш П.Н.* Пищевые добавки в производстве продуктов питания // Продукты & ингредиенты.- Київ: ООО "Биопром". - 2003 - 2007 г., №1. - с.38-40.
24. *Петров К.П.* Биохимические методы исследования растительного сырья / К.П.Петров. – Київ: Вища школа, 1980.
25. Пищевая химия: учебн. для студ. высших учеб. завед. / [Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А. и др.]; под. ред. А.П. Нецаева. – СПб.: ГИОРД, 2001. – 592 с.
26. *Позняковський В. М.* Гігієнічні основи харчування і експертизи продовольчих товарів. - Новосибірськ: Вид. Новосибірського ун-ту, 1999. - 431с.
27. Пономарьов П.Х. Безпека харчових продуктів та продовольчої сировини / П.Х. Пономарьов, І.С Сирохман. – К.: Либідь, 1996.
28. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов / Под ред. И.М. Скурихина, В.А. Тутельяна. – М.: Брандер-Медицина, 1998. – 341с.
29. Санитарно-гигиенические методы исследования пищевых продуктов и воды (Справочное пособие) / Под ред. Г.С. Яцулы – Київ: Здоров'я, 1991. – 251с.
30. *Сарафанова Л. А.* Застосування харчових добавок: Практичні рекомендації. - СПб.: ГИОРД, 2002. - 160 с.
31. *Скоробогатий Я.П.* Харчова хімія. / Я.П. Скоробогатий, А.В. Гузій, О.М. Заверуха. – Львів: Новий світ, 2015. – 516с.

32. *Скурихин И. М., Нечаев А. П.* Все о пище с точки зрения химика. - М.: Вища школа, 1991. - 287с.
33. *Смоляр В.І.* Фізіологія та біохімія харчування / Смоляр В.І. – Київ: Здоров'я, 2000.
34. Токсичні речовини у харчових продуктах та методи їх визначення / Дубиніна А.А., Малюк Л.П., Селютіна Г.А. та ін. – Київ: ВД „Професіонал”, 2007, - 384 с.
35. *Толстогозув В. Б.* Новые формы белковой пищи. - М.: Агропромиздат, 1987. - 303с.
36. *Труфанов В. А.* Клейковина пшеницы. - Новосибирск: Наука, 1994. - 165 с.
37. *Тутельян В.А., Суханов Б.Н.* и др. Биологически активные добавки в питании человека. – Томск: Научно-техническая литература, 1999. – 229с.
38. Харчова хімія. Навч.посібник / Д.В.Дуленко, Ю.А.Горяйнова, А.В.Полякова та ін.. – Київ: Кондор, 2012. – 248 с.
39. Харчова хімія: опорний. конспект лекцій для студ. напряму підготовки 1401 "Сфера обслуговування" спец. 6.140100 "Готельно-ресторанна справа" / уклад.:Т.О. Кузнецова, С.О. Самойленко, О.Ф. Аксьонова; Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. – Харків: ХДУХТ, 2011. – 56 с.
40. Химический состав пищевых продуктов / Под ред. И. М. Скурихина, М.Н. Волгарева. - М.: Агропромиздат, 1987. - 360 с.
41. Хімія пищи. / В 2 книгах. / Рогов І.А., Антипова Л. В., Дунченко Н. І. и др. - М.: Колос, 2000. - 384с.
42. Хімія харчових продуктів : Опорний конспект лекцій./ Укл. Б.К. Пасальський - Київ: Київ. держ. торг.-екон. ун-т, 1999.–58 с.
43. *Щербаков В. Г., Лобанов В. Г. та ін.* Біохімія рослинної сировини / Под ред. В. Г. Щербакова. - М.: Колос, 1999. - 376 с.
44. Щербаков В.Г. Химия и биохимия переработки масличных семян / Щербаков В.Г. – М.: Пищ. пром., 1997. – 168с.
45. *Baltes W.* Lebensmittel-chemie. - Springer, 1995. - 476 p.
46. *BelitzH. D., Grosch W.*, Food Chemistry. - Berlin; New York; London; Paris; Tokyo: Springer-Verlag, 1987. - 635 p.
47. Food Additive user's Handbook / Edited by Jim Smith. - Chapman and Hall, 1996.
48. Functional Foods / Ed. by I. Goldberg. Chapman & Hall, 1994. - 572 p.