М.О. ПОЛУМБРИК, І.І. ОСИПЕНКОВА, Є.О. КОТЛЯР

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІ

М.О. ПОЛУМБРИК, І.І. ОСИПЕНКОВА, Є.О. КОТЛЯР

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

За редакцією доктора хімічних наук О.М. Полумбрика

Черкаси–Одеса–Київ
Логос
2019

УДК 664.-021.465: 544.016 (075)

Рекомендовано вченою радою
Черкаського державного технологічного університету
Протокол № 3 від 16.10.2018

Рекомендовано вченою радою
Одеської національної академії харчових технологій
Протокол № 14 від 26.06.2018

Рецензенти:

Л.В. Капрельянц — Завідувач кафедри біохімії, мікробіології та фізіології харчування ОНАХТ, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, лауреат в галузі науки і техніки Державної премії України, доктор технічних наук.

В.І. Максін — Професор кафедри аналітичної і біонеорганічної хімії Національного університету біоресурсів і природокористування, д. хім. наук, професор.

В.Л. Іксар — Директор ТОВ «АВА», Одеський завод кісточкових та рослинних олій.

Полумбрик М.О., Осипенкова І.І., Котляр Є.О.

Фізико-хімічні методи дослідження якості харчових продуктів. – Черкаси–Одеса–Київ: Вид-во «Логос», 2019. – 188 с.
ISBN 978-617-7446-61-2.

Розглянуто сучасний стан фізико-хімічних методів аналізу складу, функціональних властивостей, харчової цінності і якості природної сировини і харчових продуктів.

Призначено для фахівців харчової промисловості, викладачів, аспірантів, магістрантів і студентів, а також широкого загалу читачів, які цікавляться проблемами оцінки якості харчових продуктів і здорового харчування.

УДК 664.-021.465: 544.016 (075)

ISBN 978-617-7446-61-2

© Полумбрик М.О., Осипенкова І.І., Котляр Є.О., 2019

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА 5

I. ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СПЕКТР ЕНЕРГІЇ 8

II. ЕЛЕКТРОННА СПЕКТРОСКОПІЯ 13

II.1. СПЕКТРОСКОПІЯ У ВИДИМІЙ І УФ ОБЛАСТЯХ 13

II.2. ІНФРАЧЕРВОНА СПЕКТРОСКОПІЯ 20

II.2.1. ІЧ ФУР'Є СПЕКТРОСКОПІЯ 23

II.2.2. ІЧ СПЕКТРОСКОПІЯ З ПОРУШЕНИМ ПОВНИМ ВНУТРІШНІМ ВІДБИТТЯМ (ППВВ) 25

II.2.3. СПЕКТРОСКОПІЯ КОМБІНАЦІЙНОГО РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА 29

II.3. МІКРОХВИЛЬОВА (ОБЕРТОВА) СПЕКТРОСКОПІЯ 31

III. АТОМНА ЕМІСІЙНА І АДСОРБЦІЙНА СПЕКТРОСКОПІЯ 35

III.1. АТОМНО-ЕМІСІЙНИЙ СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ 35

III.2. АТОМНО-АБСОРБЦІЙНА СПЕКТРОСКОПІЯ 36

IV. ЛЮМІНЕСЦЕНТНИЙ АНАЛІЗ 40

V. РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ 46

VI. РАДІОАКТИВАЦІЙНИЙ, РАДІОМЕТРИЧНИЙ ТА РАДІОХІМІЧНИЙ МЕТОДИ АНАЛІЗУ 56

VII. МЕТОДИ ЕЛЕКТРОННОЇ МІКРОСКОПІЇ 61

VIII. ХРОМАТОГРАФІЧНІ МЕТОДИ 67

VIII.1. ГАЗОВА ХРОМАТОГРАФІЯ 69

VIII.1.1. ГАЗО-АДСОРБЦІЙНА ХРОМАТОГРАФІЯ 70

VIII.1.2. ГАЗО-РІДИННА ХРОМАТОГРАФІЯ 70

VIII.2. РІДИННА ХРОМАТОГРАФІЯ 76

VIII.3. ІОННООБМІННА ХРОМАТОГРАФІЯ 77

VIII.4. ПАПЕРОВА, ТОНКОШАРОВА, ГЕЛЬ І АФІННА ХРОМАТОГРАФІЯ 79

IX. МАС-СПЕКТРОСКОПІЯ 86

X. ТЕРМІЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ 95
XI. ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ 104
XI.1. ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ 107
XI.2. КУЛОНОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ 112
XI.3. КОНДУКТОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ 115
XI.4. ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ 119
XII. УЛЬТРАЗВУКОВІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ 128
XIII. ЯДЕРНИЙ МАГНІТНИЙ РЕЗОНАНС 137
XIII.1. ХІМІЧНИЙ ЗСУВ 139
XIII.2. НАДТОНКА СТРУКТУРА СПЕКТРІВ ЯМР 142
XIII.3. ІНТЕГРУВАННЯ СИГНАЛІВ У СПЕКТРАХ ЯМР 148
XIII.4. ВИКОРИСТАННЯ ЯМР В ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ 148
XIV. ЕЛЕКТРОННИЙ ПАРАМАГНІТНИЙ РЕЗОНАНС 158
XIV.1. УМОВИ ВИНИКНЕННЯ СИГНАЛУ ЕПР 158
XIV.2. НАДТОНКА СТРУКТУРА СПЕКТРІВ ЕПР 161
XIV.3. ВЛАСТИВОСТІ НІТРОКСИЛЬНИХ РАДИКАЛІВ 162
XIV.4. ЗАСТОСУВАННЯ ЕПР В ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ 165
ПІСЛЯМОВА 171
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 174
ДОДАТКИ 178

ПЕРЕДМОВА

Їжа є одним з найбільш потужних засобів впливу на якість і тривалість життя людини. Продукти харчування являють собою складний комплекс хімічних речовин, основними з яких є білки, ліпіди (жири), вуглеводи, вітаміни, мінеральні речовини і вода. Вода є головною рецептурною складовою напоїв і майже всіх харчових продуктів. Вона впливає на більшість їх якісних характеристик, особливо на термін зберігання. Згідно з сучасними уявленнями якість харчових продуктів під час зберігання залежить не від вмісту вологи, а від активності води a, яка визначається як співвідношення тиску парів розчину і чистої води:

$$a = \frac{p}{p_0} = \frac{PBB}{100},$$

де p – парціальний тиск парів водяної пари над поверхнею харчового продукту, p_0 – тиск насиченої пари води за тієї ж температури, PBB – рівноважна відносна вологість.

Розрізняють вільну (незв'язану) і зв'язану воду. Вільна вода є розчинником органічних і неорганічних речовин, бере участь у всіх біохімічних процесах, її можна вилучити шляхом висушування, випарювання, виморожування тощо, або використанням вологоутримуючих речовин. Зв'язана вода за своїми властивостями відрізняється від вільної – вона не замерзає при низьких температурах (до –20 °С), не розчиняє електроліти, недоступна мікроорганізмам. Тому в харчових продуктах вільну воду повністю вилучають, або переводять у зв'язану, добавляючи солі, полісахариди, функціональні добавки (поліфосфати, лактозу, кухонну сіль, жир тощо), тобто активність води можна змінювати, підбираючи сировину і рецептуру. Для визначення активності води використовують хроматографічні методи і спектроскопію ядерного магнітного резонансу (ЯМР).

Білки в організмі людини виконують дуже важливі функції, багато з яких є незамінними. Постійна нестача повноцінного білка (що містить всі незамінні амінокислоти) призводить до виникнення багатьох хвороб і викликає важкі незворотні порушення фізіологічних функцій організму людини. В аналітичній хімії відомо багато методів визначення білка (К'єльдаля, Лоурі, Фоліна-Чокальтеу тощо). В останні роки широке розповсюдження отримали прискорені фотометричні методи, а також високоточні – хроматографія, зокрема іонно-обмінна, високоефективна рідин-

на, газо-адсорбційна, гель-хроматографія тощо. Методи хроматографії базуються на всіх можливих відмінностях молекул. Недоліком є потреба відповідного матеріально-технічного оснащення, що пов'язано з його великою вартістю, а також висококваліфікованого обслуговування.

Більшість ліпідів належать до естерів багатоатомних спиртів і вищих жирних кислот. В організмі людини вони виконують важливі функції, зокрема входять до складу біологічно активних структур, служать енергетичним матеріалом, виконують захисну роль тощо. Аналіз жирів зводиться до визначення їх масового вмісту, жирнокислотного складу, харчової і біологічної цінності тощо. До методів визначення масової частки жира безпосередньо в зразку відносяться інфрачервона (ІЧ) спектроскопія, ядерний магнітний резонанс, ультразвук (УЗ) тощо. До методів дослідження, які зв'язані з попереднім вилученням ліпідів, відносять екстрактивні, гравіметричний, хроматографічний, динамічної кавітації тощо.

Вуглеводи – це органічні речовини, що містять кілька алкілгідроксидів, а також альдегідну чи кетонну групу. Вуглеводи є основним джерелом енергії для людського організму, крім того виконують важливі фізіологічні функції – регуляторну, структурну, захисну, метаболічну тощо. Вуглеводи поділяються на прості, що не гідролізують, і складні, які гідролізують з утворенням простих вуглеводів.

Вітаміни – біологічно активні речовини, що забезпечують нормальне протікання біохімічних і фізіологічних процесів в організмі людини. Поділяються на жиро – (A, D, E, K тощо) і водорозчинні (B,C, PP тощо). Для аналізу вуглеводів і вітамінів використовуються спектральні, мас-спектрометричні, хроматографічні, електрохімічні методи тощо.

Антиоксиданти, що входять до складу харчових продуктів (β-каротин, феноли, флавоноїди, вітаміни С, Е тощо), захищають організм людини від дії вільних радикалів, уповільнюючи процеси старіння. Для дослідження антиоксидантних властивостей природних сполук застосовуються методи оптичної спектроскопії, електронний парамагнітний резонанс (ЕПР), мас-спектроскопія з індуктивно зв'язаною плазмою тощо.

Важливу роль в харчуванні людини відіграють мінеральні речовини, зокрема калій, магній, натрій, ферум, йод, фосфор тощо. Для їх аналізу використовуються методи полярографічного аналізу, атомно-абсорбційний, рентгено-флуоресцентний, радіометричний аналіз тощо.

Фізико-хімічні методи дослідження можуть надати цінну інформацію про екологічну безпеку харчових продуктів, про наявність в них

токсичних сполук (солі важких металів, канцерогени, радіонукліди, пестициди, антибіотики тощо), їх використовують також при оцінці забруднення патогенними мікроорганізмами вихідної сировини і продуктів харчування.

Контроль якості продуктів харчування базується як правило на поєднанні органолептичних і фізико-хімічних інструментальних методів дослідження. Останні можна класифікувати за такими напрямками: спектральні, хроматографічні, електрохімічні, термічний аналіз, структурний і фазовий аналіз, мас-спектроскопічний, електронна мікроскопія, радіометричний, які розглянуті нижче.

Ряд менш поширених методів, наприклад, поляриметрія, нефелометрія, титриметричні методи, імуноферментний метод з хроматографією залишились поза увагою авторів. В основу посібника покладені матеріали лекцій і практичних занять для студентів харчовиків, які проводили автори на протязі останніх років у Черкаському державному технологічному університеті і Одеській національній академії харчових технологій.