

### Література

1. Килименчук Е.А. Разработка биотехнологии получения кормового белка на основе нетрадиционного сырья: Дис... канд. техн. наук: – 03.00.20. – О., 2003. – 232 с.
2. Величко Т.А. Ферментативная трансформация нетрадиционных растительных отходов в белковые кормовые добавки / Т.А. Величко, Е.А. Килименчук, О.В. Дышкантук // Наук. пр. ОНАХТ / Міністерство освіти України. – Одеса: 2008. – Вип. 32. – С. 182 – 186.
3. Ферментативный гидролиз целлюлозы. 4.1: Активность и компонентный состав целлюлозных комплексов из различных источников / А.А. Клесов, М.Л. Рабинович, А.П. Сеницы и др. // Биоорган. Химия. – 1980. – № 8. – С. 12 – 25.
4. Радионова Н.А. Ферменты микроорганизмов, устойчивые к экстремальным условиям. 4.1: Ферменты, катализирующие расщепление полисахаридов клеточных стенок растений // Итоги науки и техники. Сер. Биотехнология. – 1989. – т. 19. – С. 69 – 71.

УДК [577.112 – 035.2:613.2]: 001.891

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ У БІЛКОВИХ СИСТЕМАХ

Д'яконова А.К. канд. техн. наук, доцент, Ткаченко О.С. зав. лабораторією  
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса

*Білки, як поліелектроліти легко вступають у взаємодію із солями, іншими білками й зарядженими групами присутніх у харчовому середовищі полісахаридів. За рахунок процесу білок – білкове комплексоутворення можна значно підвищити біологічну цінність білків з дефіцитом окремих незамінних амінокислот і регулювати їхні фізико-хімічні властивості.*

*Squirrel, as polyelectrolyte, easily enter into co-operating with salts, other squirrel and charged groups of present in food environments polysaccharides. Due to protein - protein a complex formation it is possible considerably to promote the biological value of albumens with the deficit of separate irreplaceable aminoacid and regulate their physical and chemical properties.*

Ключові слова: Білок – Комплексоутворення – Амінокислоти – Функціональні властивості.

Для регулювання фізико-хімічних властивостей білків використовують процеси термоденатурації, комплексоутворення з іншими компонентами, а також фазове розшарування білок – полісахаридних систем.

Білки, як поліелектроліти легко вступають у взаємодію із солями, іншими білками й зарядженими групами присутніх у харчовому середовищі полісахаридами. За рахунок білок – білкового комплексоутворення можна значно підвищити біологічну цінність білків з дефіцитом окремих незамінних амінокислот і регулювати їхні фізико-хімічні властивості. Деякими авторами висловлене припущення, що в основі білок – білкового комплексоутворення лежать тільки гідрофобні взаємодії.

Кукурудзяний білок, отриманий з залишків кукурудзяних зародків після вилучення олії, має низьку розчинність, а амінокислотний склад його характеризується дефіцитом ряду незамінних амінокислот. Для підвищення біологічної цінності й покращення функціональних властивостей, провели модифікацію кукурудзяного білка шляхом комплексоутворення з збалансованим за амінокислотним складом соєвим білком.

З метою дослідження процесу білок – білкове комплексоутворення використали білок, отриманий методом лужної екстракції з суміші відходів переробки олійної сировини – залишків кукурудзяних зародків та соєвих бобів.

Нами проведено дослідження процесу комплексоутворення в системі білок – білок – вода і визначена роль нековалентних взаємодій в утворенні комплексних структур, зміні функціональних властивостей і біологічної цінності отриманих білкових комплексів.

Процес білок – білкове комплексоутворення в значній мірі залежить від вмісту й співвідношення гідрофільних і гідрофобних амінокислот у білках. Відомо, що існує високий рівень взаємної кооперативності між окремими парами залишків амінокислот: глутамінова кислота – лізин, метіонін – аргінін, аспарагін – триптофан, глутамін – пролін. Відомо також, що процес комплексоутворення в системі білок – білок – вода звичайно зміщається у бік білка, що має більшу гідрофобність.

Для того, щоб оцінити внесок гідрофобної взаємодії у процес комплексоутворення в системі білок – білок, нами проведена оцінка ступеня гідрофобності вихідного білка і отриманого комплексу, використовуючи величини різниці вільних енергій розчинення амінокислот у слабополярному розчиннику (спирті) і воді (табл. 1).

За співвідношенням полярних і неполярних амінокислот ( $b_s$ ), відповідно до теорії Фішера, визначили передбачувану форму і об'єм білкової глобули (табл. 2).

При комплексоутворенні білків відбувається зниження масової частки гідрофільних амінокислот на 1,19 % і збільшення гідрофобних – на 5,1 %, що свідчить про конформаційні зміни білка в результаті комплексоутворення. З огляду на те, що в модифікованому білку показник ( $b$ ) майже повністю збігається з показником співвідношення залишків полярних амінокислот до неполярних ( $b_s$ ), білкова глобула має форму сфери ( $b = b_s$ ). При білок – білковому комплексоутворенні збільшується радіус ядра глобули, а ( $b_s$ ) менше ( $b$ ). Це свідчить про те, що число полярних залишків амінокислот у білку, який отримали способом купажування, містить більше необхідної кількості залишків амінокислот для покриття ядра і глобула витягується, приймаючи вигляд еліпсоїда з більшою поверхнею, ніж у сфери.

Таблиця 1 – Зміна гідрофобності білка при комплексоутворенні

Амінокислоти	$\Delta F$ , кДж/моль	Ступінь гідрофобності амінокислот ( $\Delta F$ , кДж/моль)	
		Кукурудзяний білок (вихідний)	Купажований білок
Гідрофільні (ГФЛ)			
Аланін	3,05	18,48	16,25
Аргінін	3,05	27,39	24,34
Цистеїн	2,71	1,30	2,46
Глютамінова кислота	2,26	19,34	19,64
Аспарагінова кислота	2,50	40,77	43,97
Треонін	1,84	7,47	7,65
Серін	0,17	0,96	0,85
Гліцин	0,00	0,00	0,00
Всього		115,71	115,16
Гідрофобні (ГФ)			
Триптофан	12,50	13,50	12,75
Ізолейцин	12,40	45,00	53,32
Тирозин	12,00	44,76	41,52
Фенілаланін	11,10	50,28	58,83
Пролін	10,85	76,60	63,79
Лейцин	10,10	72,92	82,92
Валін	7,06	29,93	32,62
Лізин	6,27	36,99	54,48
Гістидин	5,85	14,51	20,41
Метіонін	5,45	7,68	7,63
Всього		392,17	428,27

Таблиця 2 – Характеристика білкової глобули

Показники	Кукурудзяний білок (вихідний)	Купажований білок
Вміст залишків полярних амінокислот, $C_{\Pi}$	55,29	54,10
Вміст залишків неполярних амінокислот, $C_{\text{НП}}$	41,28	46,37
Співвідношення $C_{\Pi}/C_{\text{НП}}$ ( $b_s$ )	1,34	1,17
Радіус глобули, $r_o$ , мкм	$0,162 \cdot 10^{-2}$	$0,178 \cdot 10^{-2}$
Радіус ядра глобули, $r$ , мкм	$0,112 \cdot 10^{-2}$	$0,128 \cdot 10^{-2}$
Об'єм глобули, $V$ , мкм <sup>3</sup>	$0,018 \cdot 10^2$	$0,024 \cdot 10^2$
Показник заповнення ядра глобули гідрофільними залишками амінокислот ( $b$ )	1,35	1,25

Поводження білкових молекул у процесі комплексоутворення в системі білок – білок – вода може регулюватися трьома видами взаємодії: електростатичними силами взаємодії між іонізованими карбоксильними і основними групами (кількість і знак заряду визначається ступенем їхньої іонізації залежно від рН середовища), міжмолекулярними водневими зв'язками й гідрофобними взаємодіями. Слабкі нековалентні зв'язки відіграють важливу роль у створенні та стабілізації структури, завдяки їх кооперативності. Як показали результати наших досліджень, використовуючи процес білок – білкове комплексоутворення, збільшується радіус ядра глобули, у порівнянні з контролем, на  $0,016 \cdot 10^{-2}$  мкм, що можна пояснити підвищенням вмісту неполярних амінокислот і їхньою гідрофобною взаємодією. При цьому ядро глобули повністю заповнено залишками гідрофільних амінокислот.

Для оцінки ступеня внеску нековалентних міжмолекулярних взаємодій білків у стабілізацію отриманої структури, дослідили розчинність купажованого білка в ряді розчинників, дія яких спрямована на руйнування певних сил взаємодії.

Провели послідовну обробку купажованого білка: розчином  $7 \text{ М/дм}^3$  сечовини, що містить угруповання  $-\text{CO}-\text{NH}-$  і конкурує з пептидними угрупованнями за утворення водневого зв'язку, зруйнували гідратну оболонку білка й перевели в розчин молекули, які утримуються водневими зв'язками; введенням розчину  $0,1 \text{ н}$  соляної кислоти знизили рН середовища до  $3,0$  і, надавши білку позитивний заряд, перевели в розчин молекули з'єднані іонними або електростатичними зв'язками; за допомогою  $1,0 \%$  розчину диметилсульфоксиду (ДМСО) зруйнували білкові асоціати, внаслідок утворення більш міцних зв'язків між ДМСО і функціональними угрупованнями окремих гідрофобних амінокислот, і перевели в розчин молекули білка, які утримуються за рахунок гідрофобної взаємодії.

Визначивши масову частку білка, яка перейшла в розчин після кожного виду обробки, встановлено, що основну роль у міжмолекулярних взаємодіях білків відіграють водневі зв'язки –  $88,4 \%$ , на частку гідрофобних взаємодій доводиться  $4,1 \%$ , іонних –  $1,5 \%$ . У складі нерозчинного залишку міститься  $6,0 \%$  білка, який на наш погляд утворений ковалентними внутрішньомолекулярними зв'язками.

У білках гідрофільні групи розподілені нерівномірно й відрізняються одна від одної різною здатністю приєднувати воду. Карбоксильна група ( $-\text{COOH}$ ) приєднує 4 молекули води, гідроксильна ( $-\text{OH}$ ) – 2, амінна ( $-\text{NH}_2$ ) – 2, імінна ( $-\text{NH}$ ) – 2.

При розчиненні білок – білкової комплексної структури у воді, навколо іонізованих ( $-\text{COO}^-$ ,  $-\text{NH}_3^+$ ) і полярних ( $-\text{OH}$ ,  $-\text{SH}$  та ін.) груп утворюється водний шар, який складається з орієнтованих молекул води.

Гідратація іонізованих груп білка відбувається за рахунок електростатичних сил взаємодії з диполями води, полярних груп – за рахунок утворення з диполями води водневих зв'язків. У ІЕТ білка диполі води утримуються тільки за рахунок полярних груп.

Результати дослідження хімічного скору незамінних амінокислот свідчать про підвищення їхнього вмісту в складі купажованого білка (табл. 3).

Таблиця 3 – Амінокислотний склад білків

Амінокислота	Хімічний скор незамінних амінокислот, %	
	Кукурудзяний білок (вихідний)	Купажований білок (кукурудзяно-соєвий)
Лізин	107,27	158,00
Треонін	101,50	104,00
Валин	84,80	92,00
Ізолейцин	90,75	107,50
Лейцин	103,14	117,29
Фенілаланін + тирозин	137,66	146,00
Метіонін + цистеїн (залишки після лужного гідролізу)	54,00	66,00
Триптофан	108,00	102,00
Перетравлення, %	76,31	87,64

У результаті білок – білкового комплексоутворення підвищується біологічна цінність вихідного білка за рахунок збагачення його дефіцитними незамінними амінокислотами при купажуванні з білком, в амінокислотному складі якого вони містяться у надлишку.

Для одержання додаткової інформації щодо атомних угруповань, задіяних в процесі утворення зв'язків при білок – білковому комплексоутворенні, застосували метод диференціальної ІК-спектроскопії.

Зняті спектри білків досить близькі за положенням найбільш сильних смуг поглинання. Є присутнім ряд типових смуг характерних для коливання пептидної групи:  $1650...1640\text{ см}^{-1}$  – валентні коливання ( $\text{C}=\text{O}$ ) – Амід I;  $1550...1540\text{ см}^{-1}$  – деформаційні коливання ( $\text{N}-\text{H}$ ) – Амід II;  $1260...1200\text{ см}^{-1}$  – плоскісні  $\text{H}$  – деформаційні коливання з великою амплітудою і ( $\text{C}-\text{N}$ ) валентними коливаннями, з фазовим взаємозв'язком між ними – Амід III;  $700...650\text{ см}^{-1}$  – неплоскісні деформаційні коливання ( $\text{N}-\text{H}$ ) – Амід V [ 1, 2 ].

В отриманому спектрі присутня характерна для білків широка смуга поглинання  $\text{NH}$ -груп у високо-частотній області  $3200...3500\text{ см}^{-1}$  – Амід А. Серія смуг  $1440, 1380, 1120\text{ см}^{-1}$  відповідає деформаційним коливанням  $-\text{CH}$ , серія смуг  $2920$  і  $2950\text{ см}^{-1}$  – валентним коливанням  $-\text{CH}$  у групах  $-\text{CH}_2$ . Відсутність смуги поглинання при  $3650\text{ см}^{-1}$  свідчить про те, що практично всі гідроксильні групи включені у водневий зв'язок. Смуга поглинання  $1730\text{ см}^{-1}$  відповідає валентним коливанням карбонілу у карбоксильних групах,  $2850\text{ см}^{-1}$  – симетричним валентним коливанням  $-\text{CH}_3$  у групах  $-(\text{OCH}_3)$ ,  $1140\text{ см}^{-1}$  – асиметричним валентним коливанням ( $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ),  $1060\text{ см}^{-1}$  і  $1020\text{ см}^{-1}$  – симетричним валентним коливанням ( $=\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ). Кількісний аналіз ІК-спектрів здійснювали за значенням величин відносної оптичної щільності (ВВОЩ), використовуючи метод базисної лінії й внутрішнього стандарту. Базисну лінію проводили як дотичну до мінімуму поглинання в області  $3800...2500\text{ см}^{-1}$  і  $1800...700\text{ см}^{-1}$ . В якості внутрішнього стандарту використали максимум смуги поглинання  $1420\text{ см}^{-1}$ , що відповідає деформаційним коливанням  $\text{CH}$ -груп. Величини відносної оптичної щільності одержали в результаті математичної обробки даних на ПЕВМ "Іскра-1030.11".

Порівнюючи ВВОЩ дослідних білків, визначили їх зміни і побудували розрахунковий диференціальний спектр зразків у координатах: ВВОЩ – частота поглинання (рис. 1).

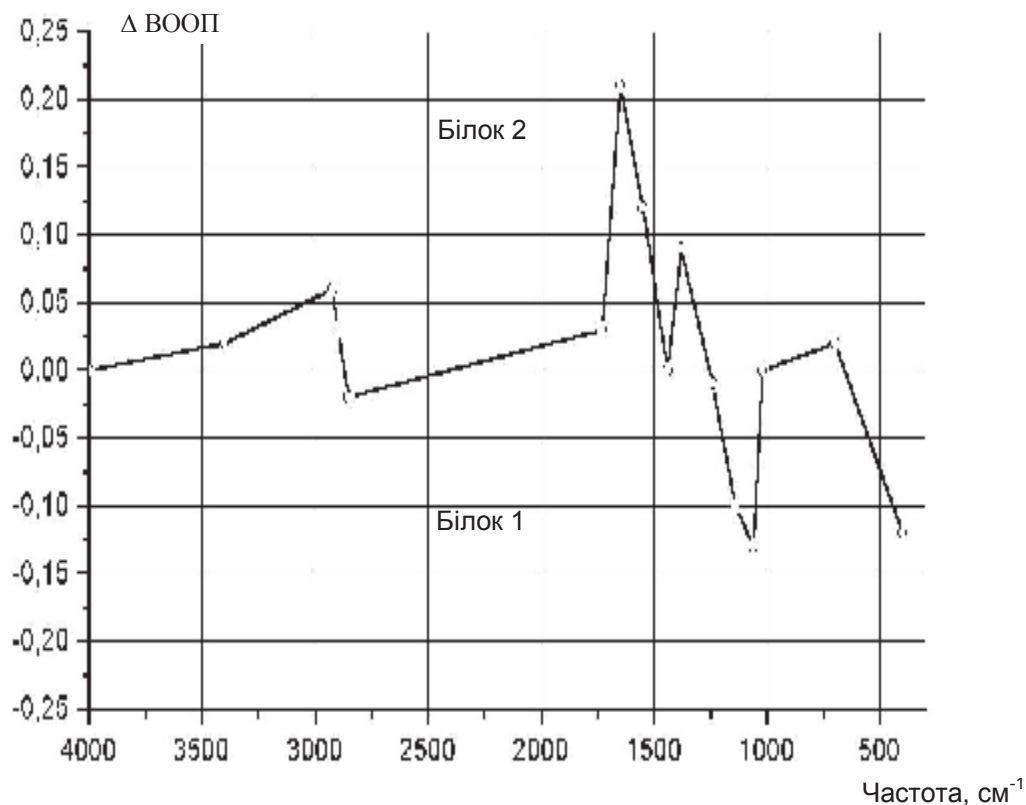


Рис. 1 – Диференціальний ІК-спектр купажованого білка (2) щодо вихідного білка (1)

Зміни, які ледь помітні на ІК-спектрах знятих на приладі, чітко виділяються на розрахунковому диференціальному ІК-спектрі. Так, більш ніж на 80 % збільшується ВВОЩ купажованого білка (2) в області смуг характерних для коливання пептидних груп Амід I ( $1650\text{ см}^{-1}$ ), що відповідають валентним коливанням ( $\text{C}=\text{O}$ ), і Амід II ( $1550\text{ см}^{-1}$ ), що характеризують деформаційні коливання ( $\text{N}-\text{H}$ )-груп, що свідчить про підвищення вмісту пептидних зв'язків у купажованому білку. Отримані дані підтверджуються

збільшенням масової частки протеїну у купажованому білку (2) до 88,66 %, в порівнянні з вихідним білком (1), у якому вміст протеїну не перевищує 69,74 %.

Отже, в процесі комплексоутворення в системі білок-білок – вода беруть участь водневі зв'язки, гідрофобні взаємодії і електростатичні сили.

#### Література

1. Эллиот А. Инфракрасные спектры и структура полимеров. – М.: Мир, 1972. – 159 с.
2. Чиргадзе Ю.Н. Инфракрасные спектры и структура полипептидов и белков. – М.: Наука, 1965. – 136 с.

УДК 628.161.08:537.6

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ І МЕДИЦИНІ ОМАГНІЧЕНИХ РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ

Штепа Є.П., канд. техн. наук, доцент, Дроздов О.І., канд. техн. наук, доцент,  
Нурудінова К.А., студ. 4 курсу ф-ту ІТХРС  
Одеська Національна академія харчових технологій, м. Одеса

*Електромагнітна активація води, рідин, суспензій та інших продуктів широко використовується в багатьох галузях промисловості.*

*У статті наведено результати аналізу використання магнітної обробки технологічної, питної води та харчових продуктів. На підставі власних досліджень з використанням магнітної обробки природної мінеральної води зроблено висновки про ефективність такої обробки та подальші перспективи щодо її впровадження.*

*The electromagnetic activating of water, liquids, suspensions and other products wide uses in many branches of industry. The article represents the results of magnet usage of technologic, drinking water and foods. By the results of own researches with natural mineral water magnet treatment were made the conclusions about efficiency of such treatment and for its using perspectives.*

Ключові слова: магнітна обробка, магнітна активація, магнітне імпульсне поле, вода, рідина, солі жорсткості, функціональні продукти, лікувально-профілактичне харчування.

Найважливішою частиною харчового раціону є вода, яка забезпечує перебіг обмінних реакцій, травлення, виведення з сечею продуктів обміну речовин, теплорегуляцію і т.д. Вода складає майже 2/3 маси тіла людини. Втрата організмом більше 10 % води загрожує його життєдіяльності. Потреба у воді залежить від характеру живлення і праці, клімату, стану здоров'я й інших чинників. Середня потреба – 2,5 л/добу. Людина одержує 1,5 л води у вигляді вільної рідини (суп, чай, компот і ін.) 1 ... 1,5 л – з харчових продуктів і 0,3 ... 0,4 л утворюється в самому організмі під час обміну речовин. З цієї кількості виділяється з сечею близько 1,4 л, через шкіру (потовиділення і випаровування) – 0,6 л, з повітрям що видихається через легені – 0,4 л, з калом – 0,1 л. Витрата води зростає при посиленні потовиділення, проносах, блювоті, лихоманці, у хворих після операції, при опіках.

При надмірному вживанні води створюється підвищене навантаження на серце і нирки, з організму виводяться мінеральні речовини і вітаміни. При обмеженні води збільшується концентрація сечі, в ній можуть випадати солі, зменшується виділення з крові продуктів обміну речовин. Натрій хлорид сприяє затримці води в організмі, солі калію і кальцію дають протилежну дію. Збільшення рідини в дієті рекомендується при інтоксикації, інфекційних захворюваннях, високій температурі тіла, пієлоциститах, сечокам'яній хворобі, подагрі, захворюваннях печінки і жовчних шляхів, в післяопераційний період. Кількість рідини зменшують (спільно з обмеженням натрію хлориду) при захворюваннях серцево-судинної системи, особливо з набряками, при ожирінні, хворобах нирок з порушенням функції виділення. При гастритах з підвищеною секрецією, ентероколітах з проносами, холециститах, недостатчі кровообігу, інфаркті міокарду і багатьох інших захворюваннях газовані напої виключаються.

У їстівній частині овочів, фруктів і ягід міститься 85 ... 95% води, в молоці – 88%, яйцях – 74%, рибі – 75...80%, м'ясі – 60...70%, хлібі – 40...45%.