

2. Пат. 28590 Україна МПК (2006)A23G3/00 A23L1/06. Композиція інгредієнтів для виробництва зефіру./ Е.Г. Иоргачева, К.В.Аветисян, С.И. Банова, А.В. Куц. - № u 2007 10215; Заявл. 13.09.2007; Оpubл. 10.12.2007,Бюл. №20.
3. Дорохович В.В. Фруктоза: новые технологии производства и актуальность применения в пищевой промышленности // Продукты & ингредиенты – 2006 – №1 – С. 14–16.
4. Сборник рецептов на мармелад, пастилу и зефир / Разраб. Во ВНИИКП. – Утв. отделом пищ. пром-ти Госагропрома СССР 29 декабря 1986 г. – М.
5. Карнаушенко Л.И., Погонцева Э.И., Чмырь А.Д. Реологические свойства желейных масс // Кондитерская и хлебопекарная промышленность– 1981 – №3– С. 41–42.

УДК 664.746.24:661.94

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ КЛЕЙКОВИННИХ БІЛКІВ БОРОШНА, ПІДДАНОГО ОЗОНУВАННЮ

Сафонова О.М., д-р техн. наук, професор, Холодова О.А., аспірант  
Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П.Василенка,  
м. Харків

Голота В.І., канд. фіз.-мат. наук, Шуліка О.Ю., інженер-дослідник  
Національна академія наук України ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут», м. Харків

*Розглянуто питання, пов'язані з дослідженнями просторової структури клейковинних білків та зв'язок її з проявленнями пружно-пластичних і в'язкопластичних властивостей клейковини. Встановлено відмінності ІЧ-спектрів білків борошна, підданого озонуванню.*

*The issues concerning investigations on spatial structure of gluten proteins and its relation to manifestation of elastic-resilient and viscoplastic properties of gluten were considered. Differences in IR-spectra of flour proteins were determined.*

Ключові слова: білки клейковини, просторова структура, інфрачервоні спектри.

**Вступ.** Унікальність властивостей білкового комплексу пшеничної клейковини зумовлена складом і властивостями поліпептидів, які входять до його складу. Щодо будови клейковини та сил, які стабілізують її специфічну структуру, прийнято уявлення, за якими різниця між клейковиною різної сили йде від різниці внутрішньої структури макромолекул білка на вторинному, третинному та четвертинному рівнях його організації, від щільності „упакування” його поліпептидних ланцюгів і міцності внутрішніх та міжмолекулярних зв'язків [1, 2,3].

Численні дослідження просторової структури білків і поліпептидів свідчать, що критерієм ступеня упорядкованості та стабільності білкової молекули є сукупність  $\alpha$ -спіралей і  $\beta$ -структур [4].

Однак питання про зв'язок конформаційної структури запасних білків з проявленням в'язко-еластичних властивостей клейковини вивчено недостатньо. Не відпрацьовано єдиної думки про субмікроскопічну структуру білкових утворень клейковини.

Встановленню внутрішніх причин, від яких залежать реологічні властивості клейковинних білків (пружність, розтяжність, еластичність, зв'язаність), присвячено велика кількість фундаментальних і науково-практичних досліджень.

Вважають, що навіть невеликі зміни в характері взаємодіючих активних груп здатні різко змінити щільність упаковки макромолекул, а остання визначає собою властивості біополімеру: пружність, розтяжність, пластичність, хрупкість. При всякому посиленні взаємодії сусідніх макромолекул полімеру, шляхом збільшення щільності упакування або поперечних містків головної валентності жорсткість усієї системи збільшується.

Дослідженнями спектрів ІЧ-поглинання білків клейковинного комплексу встановлено, що білки сильної клейковини характеризуються більш високим співвідношенням  $\alpha$ -спіралей з жорсткою структурою до  $\beta$ -форм з більш пухкою структурою [2]. При цьому молекули сильної клейковини упаковані більш джгутоподібно, мають більш високу кількість  $\alpha$ -структур з включенням потрібних  $\alpha$ -спіралей і повільні конформаційні  $\alpha \leftrightarrow \beta$  – переходи.

Дослідженнями авторів встановлено, що обробка слабого пшеничного борошна озono-повітряною сумішшю, сприяє помітній зміні клейковиною своїх реологічних властивостей в бік зростання пружнос-

ті, зниження розтяжності та розпливчастості. Напевне зазнає змін специфічна просторова структура макромолекул клейковинних білків.

**Мета досліджень.** Тому метою досліджень було порівняльне вивчення ступеню структурної упорядкованості клейковинного комплексу пшениці слабкої якості, а також клейковини з борошна, підданого озонуванню, методом ІЧ-спектроскопії.

**Об'єкти та методи досліджень.** Інфрачервона спектроскопія є одним з важливих сучасних методів ідентифікації хімічних сполук і вивчення будови молекул. Інтерпретація зсувів характеристичних частин і їхньої інтенсивності дозволяє пояснити вплив різних факторів на конформаційні зміни в макромолекулах біополімерів. З розходженнями у вузлах, утворених водневими зв'язками O...H-N-, або з різним ступенем взаємодії диполів – OCN<sup>+</sup> може бути пов'язане існування різних молекулярних форм білка (α-спіралей і β-форми). Розходження в інтервалах хвильових чисел для вторинних структур білкових макромолекул показані в табл. 1.

**Таблиця 1 – Характеристики основних смуг ІЧ-поглинання білків [5]**

Коливання	Структури з водневими зв'язками, см <sup>-1</sup>		Структури без водневих зв'язків, см <sup>-1</sup>
	α- спіраль	β- шар	
Амід А	3300-3290	3300-3280	близько 3400
Амід І	1660-1650	1630	1700-1680
Амід ІІ	1550-1540	1525-1520	менше 1520

Досліджено ІЧ-спектри клейковинних білків слабого пшеничного борошна з пружністю більше 120 од. ВДК, а також слабого борошна, обробленого озono-повітряною сумішшю з концентрацією озону 1 г/м<sup>3</sup> та тривалістю озонування 9, 18 та 27 хв. Дослідні зразки готували методом пресування таблеток з КВг [3].

**Обговорення результатів експериментальних досліджень.** Спектральні характеристики ІЧ-спектрів клейковини з добавками і без добавок в області (3800-2600) см<sup>-1</sup>, (1900-1200) см<sup>-1</sup> та (800-400) см<sup>-1</sup> наведено в табл. 2.

**Таблиця 2 – Частотні положення (см<sup>-1</sup>) основних смуг ІЧ- спектрів поглинання білків клейковинного комплексу**

Тривалість обробки борошна озono-повітряною сумішшю, хв	Амід І		Амід ІІ		Амід А	Інші смуги
	α- спіраль	β- шар	α- спіраль	β- шар		
0 (контроль)	1680	-	1540	-	3360	3080, 2965, 2690, 1460
9	1680	1650	1540	-	3350	3080, 2960, 1460, 460
18	1680	1640, 1610	1540	-	3310	3050, 2950, 2600, 1460, 460
27	1680	1640	1560	*	3290	3050, 2925, 2650, 1460, 460

\* – замість смуги поглинання присутнє плече.

Наявність у борошна смуги поглинання 3360-3290 (Амід А) зумовлено валентними коливаннями групи NH білка. У борошна пшеничного обробленого озono-повітряною сумішшю пік смуги поглинання Амід А знаходиться в області менших хвильових чисел та має меншу інтенсивність порівняно зі слабким

борошном. Окрім коливань Амід-А, широка смуга поглинання в інтервалі (3450...3200)  $\text{см}^{-1}$  свідчить про наявність міжмолекулярних водневих зв'язків.

Відомо, що гідроксильна група є дуже полярною та взаємодіє з будь-якими іншими молекулами, які тією чи іншою мірою поляризовані. Тому валентні коливання незв'язаної групи ОН можна спостерігати тільки у випадку дуже розведених розчинів в області (3700...3500)  $\text{см}^{-1}$  у вигляді вузької смуги. Зв'язана група ОН (валентні коливання) внаслідок утворення міжмолекулярних водневих зв'язків дає смугу поглинання (3450...3200)  $\text{см}^{-1}$ .

Інформацію про стан вторинної структури білкової молекули можуть давати смуги Амід I та Амід II. Спектральні характеристики смуг поглинання Амід-I та Амід-II дослідних зразків свідчать, що в слабкої клейковини максимуми поглинання відповідають поглинанню  $\alpha$ -спіралей: 1680  $\text{см}^{-1}$  і 1540  $\text{см}^{-1}$ .

Спектральні характеристики зразків, оброблених озono-повітряною сумішшю, показують, що з'являються нові смуги, відсутні в спектрах контрольного зразка. Додатково з'являється пік поглинання в області більш низьких частот (1650-1610  $\text{см}^{-1}$ ). Це свідчить про наявність у вторинній структурі їх макромолекул структур двох типів:  $\alpha$ -спіралей та  $\beta$ -конформацій.

Деформаційні коливання групи NH (Амід II) зазнають менш помітних змін. Лише у зразка, обробленого озono-повітряною сумішшю протягом 27 хв з'являється плече, в області хвильових чисел, що відповідають коливанням пептидних зв'язків в  $\beta$ -конформації.

Окрім характеристичних смуг поглинання ІЧ-спектрів білків, у досліджуваних зразках можна відмітити інші області хвильових чисел максимумів поглинання. Збільшується пік при 460  $\text{см}^{-1}$  ІЧ-спектру борошна, обробленого озono-повітряною сумішшю, тоді як у контрольного зразка він відсутній. Ця характеристична смуга валентних коливань притаманна дисульфідним зв'язкам (максимум поглинання при 500-400  $\text{см}^{-1}$ ). Зазвичай дана смуга слабо ідентифікується. Автор стверджує, що «наличие полосы валентных колебаний S-S связи в области 500-400  $\text{см}^{-1}$  достаточно хорошо установлено; однако учитывая малую энергию источников излучения в этой области спектра и большое количество рассеянного излучения, использовать указанную полосу (если только ее интенсивность не очень высока) можно лишь с большой осмотрительностью» [6]. Інші дослідники пов'язують виникнення даної смуги з позаплощинними коливаннями зв'язку C-N [7].

Якщо дотримуватися думки Л. Беллами, то виникнення досить інтенсивної смуги 460  $\text{см}^{-1}$  у спектрі зразків, оброблених озono-повітряною сумішшю, можливо пояснити утворенням додаткової кількості міжмолекулярних дисульфідних зв'язків у структурі макромолекули білка.

На підтвердження вищевикладеного необхідно провести додаткові дослідження фракційного складу клейковини, приділивши особливу увагу глютеїнової та проламінової фракціям. Збільшення глютеїнової фракції білків зумовлено утворенням додаткових міжмолекулярних дисульфідних зв'язків.

### Висновки

Обробка борошна озono-повітряною сумішшю призводить до розщеплення смуг поглинання Амід-I на низько- та високочастотні компоненти. Відмічені відмінності дають підставу для наступного припущення. Обробка озonom сприяє появі додаткових більш пухких  $\beta$ -шарів у вторинній структурі білкового комплексу клейковини. Ці шари фіксуються великою кількістю міжмолекулярних водневих зв'язків (згорнута  $\alpha$ -форма пептидних ланцюгів утримується внутрішньо-молекулярними водневими зв'язками). З'являються піки поглинання у дослідних зразків борошна за 460  $\text{см}^{-1}$ , а значить, утворюється значна кількість дисульфідних зв'язків. Все це упорядковує та зміцнює білкову молекулу.

### Література

1. Конарев В.Г. Белки пшеницы. – М.: Колос, 1980. – 351 с.
2. Луцишина Е.Г. Изменчивость клейковинного комплекса в связи с качеством зерна пшеницы. Автореф. дис...докт. биол. наук. – К., 1992. – 32 с.
3. Шульц Г., Ширмер Р. Принципы структурной организации белков. – М.: Мир, 1982. – 354 с.
4. Химия пищи. Белки: структура, функции, роль в питании / Рогов И.А., Антипова Л.В., Дунченко Н.И. и др. Кн.1. – М.: Колос, 2000. – 384 с.
5. Сузи Г. Инфракрасные спектры биологических макромолекул и модельных соединений // Структура и стабильность биологических макромолекул. – М.: Мир, 1973.-с. 481-573.
6. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М.: Издательство иностранной литературы., 1963. - 591 с.
7. Чиргадзе Ю.Н. Инфракрасные спектры и структура полипептидов и белков. М.: Наука, 1965. – 133 с.