

УДК 631.162.11

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.27>

КОМПЛЕКСОУТВОРЕННЯ У МОДЕЛЬНИХ ХАРЧОВИХ СИСТЕМАХ СОУСІВ

Антоненко А. В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри стандартизації та сертифікації сільськогосподарської продукції Національного університету біоресурсів і природокористування України
ORCID ID: 0000-0001-9397-1209

Баль-Прилипко Л. В. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології м'ясних, рибних та морепродуктів Національного університету біоресурсів і природокористування України
ORCID ID: 0000-0002-9489-8610

У статті встановлено комплексоутворення між гуміарабіком та кальцієм у розчині проведено гел-хроматографію гуміарабіку та кальцієм у присутності 2 % лактату кальцію. Проведено дослідження молекулярно-масового розподілу гуміарабіку у присутності пектинів за рН 7,1–7,5. Можна стверджувати, що йони кальцію у присутності гуміарабіку будуть реагувати з пектинами, утворюючи пектати кальцію, стабілізуючи таким чином колоїдну систему. Встановлення комплексоутворення між гуміарабіком, пектинами та лактатом кальцію за зниження величини рН, проведено дослідження молекулярно-масового розподілу гуміарабіку при зниженні рН до 5,0–5,2. Проведено дослідження взаємодії гуміарабіку з лактатом кальцію у концентрації 1–3%. ІЧ-спектроскопія гуміарабіку, що досліджувався, свідчить що в складі є домішки азотовмісних речовин, про що свідчить широка виражена полоса за рахунок валентних коливань $-\text{NH}$ в $-\text{NH}_2$ ($3500\text{--}3300\text{ см}^{-1}$) та одночасних деформаційних коливань $-\text{NH}$ в $1650\text{--}1590\text{ см}^{-1}$. Послідовне співставлення ІЧ-спектрів «гуміарабік – лактат кальцію» з ІЧ-спектрам гуміарабіку свідчить, що конформаційні зміни пов'язані з концентрацією лактату кальцію. Поступове збільшення концентрації лактату кальцію призводить до більше виражених конформаційних змін. Варіювання як концентрації лактата кальцію так і порядок введення в розчин може суттєво змінювати конформацію макромолекули гуміарабіку та його функціональні властивості. Перерозподіл інтенсивності стану зі збільшенням концентрації лактату кальція і зміщення в бік високих частот полос свідчить про перерозподіл (ослаблення) водневих зв'язків. Додавання йонів кальцію у системи «гуміарабік–пектин» більш інтенсивно впливає на конформаційні зміни і не залежить від концентрації в інтервалі 1–3%. Додавання солей лактату кальцію суттєво змінює інтенсивність в областях $1335\text{--}1360\text{ см}^{-1}$, $1440\text{--}1465\text{ см}^{-1}$ та 1130 см^{-1} , які слід віднести до наявності в структурі гуміарабіку хімічних груп смуги C-N. Отримані результати ІЧ-спектроскопічних досліджень показують зменшення інтенсивності полос 1425 , 1465 , 1540 см^{-1} , що свідчить про виражені транс-конформаційні зміни у присутності солей та носіїв йонів. Зміщення полос поглинання характерних для аніонних груп 1050 , 1130 см^{-1} , та 1200 см^{-1} в область більших хвильових чисел 1070 , 1136 , 1235 см^{-1} відповідно, підтверджує факт хімічної взаємодії через йони кальцію з карбоксильними групами гуміарабіку та пектину з утворенням комплексів «гуміарабік – кальцій – пектин».

Ключові слова: технологія, соуси, модельні харчові системи, модельні композиції, рослинні гідроколоїди, гуміарабік, пектин, лактат кальція, комплексоутворення, комплекс.

Antonenko A. V., Bal-Prylypko L. V. Complex formation in model food systems of sauces

The article establishes the complexation between gum arabic and calcium in solution, gel chromatography of gum arabic and gum arabic in the presence of 2% calcium lactate was carried out. The molecular weight distribution of gum arabic in the presence of pectins at pH 7.1–7.5 was studied. It can be stated that calcium ions in the presence of gum arabic will react with pectins, forming calcium pectates, thus stabilizing the colloidal system. The establishment of the complexation between gum arabic, pectins and calcium lactate with a decrease in pH, the molecular weight distribution of gum arabic was studied when the pH was reduced to 5.0–5.2.

The interaction of gum arabic with calcium lactate at a concentration of 1–3% was studied. IR spectroscopy of the gum arabic studied shows that the composition contains impurities of nitrogen-containing substances, as evidenced by a wide pronounced band due to stretching vibrations of –NH in –NH₂ (3500–3300 cm⁻¹) and simultaneous deformation vibrations of –NH at 1650–1590 cm⁻¹. A sequential comparison of the IR spectra of “gum arabic – calcium lactate” with the IR spectra of gum arabic shows that conformational changes are associated with the concentration of calcium lactate. A gradual increase in the concentration of calcium lactate leads to more pronounced conformational changes. Variations in both the concentration of calcium lactate and the order of introduction into the solution can significantly change the conformation of the gum arabic macromolecule and its functional properties. The redistribution of the intensity of the state with an increase in the concentration of calcium lactate and the shift towards high frequencies of the bands indicate a redistribution (weakening) of hydrogen bonds. The addition of calcium ions to the “gum arabic–pectin” system has a more intensive effect on conformational changes and does not depend on the concentration in the range of 1–3%. The addition of calcium lactate salts significantly changes the intensity in the regions 1335–1360 cm⁻¹, 1440–1465 cm⁻¹ and 1130 cm⁻¹, which should be attributed to the presence of chemical groups of the C–N band in the structure of gum arabic. The obtained results of IR spectroscopic studies show a decrease in the intensity of the bands 1425, 1465, 1540 cm⁻¹, which indicates pronounced trans-conformational changes in the presence of salts and ion carriers. The shift of the absorption bands characteristic of anionic groups at 1050, 1130 cm⁻¹, and 1200 cm⁻¹ to the region of higher wave numbers of 1070, 1136, and 1235 cm⁻¹, respectively, confirms the fact of chemical interaction through calcium ions with the carboxyl groups of gum arabic and pectin with the formation of «gum arabic – calcium – pectin» complexes.

Key words: technology, sauces, model food systems, model compositions, plant hydrocolloids, gum arabic, pectin, calcium lactate, complexation, complex.

Вступ. Соуси є однією з найбільш важливих складових сучасної кулінарії та харчової промисловості. Вони не лише покращують органолептичні характеристики страв, але й можуть виступати як консервуючі агенти, стабілізатори та джерела смакових добавок. Одним із основних аспектів стабільності та якості соусів є процеси комплексоутворення, які впливають на їх структуру, текстуру та смакові властивості.

Комплексоутворення у харчових системах соусів включає взаємодію між різними компонентами: білками, жирами, вуглеводами, органічними кислотами, солями та водою. Ці процеси значною мірою визначають стабільність соусів при зберіганні та обробці, а також їх кінцеві смакові й текстурні характеристики. Емульсії соусів, зокрема майонезу, є складними фізико-хімічними системами, де кожен компонент взаємодіє з іншими, утворюючи стійкі комплекси.

Дослідження процесів комплексоутворення у модельних харчових системах соусів залишається недостатньо вивченим, і існує необхідність поглибленого аналізу цього явища. Особливо важливою є відсутність чітких моделей, що дозволяють прогнозувати поведінку компонентів в умовах змін температури, рН, вологості та інших факторів, які впливають на стабільність соусів у промисловому виробництві.

Постановка проблеми. На даний момент не існує чітких, загальноприйнятих моделей, які дозволяють однозначно передбачити стабільність соусів на основі їх складових компонентів. Це ускладнює процес оптимізації рецептур та технології виробництва.

Багатокомпонентні системи, що складаються з білків, ліпідів, водорозчинних речовин та кислот, можуть взаємодіяти між собою, утворюючи стійкі або нестабільні комплекси. Розуміння цих взаємодій дозволить створювати нові технології для стабільних та ефективних соусів.

Багато соусів, особливо емульсійні, схильні до розшарування або осадження компонентів під час зберігання. Дослідження механізмів комплексоутворення

дозволить зрозуміти, як зменшити ці ефекти і забезпечити тривалий термін зберігання без втрати якості.

Технології стабільних соусів потребують не тільки розробки оптимальних рецептур, але й визначення економічно вигідних методів їх виробництва, зокрема щодо використання добавок, стабілізаторів та емульгаторів.

Недостатньо вивчено вплив зміни температури та рН на процеси комплексоутворення. Для промислового виробництва соусів важливо контролювати стабільність продукту в умовах змін температури та кислотності. Наприклад, соуси, що містять оцтову кислоту або інші органічні кислоти, можуть змінювати свою текстуру та смак залежно від цих параметрів.

Існує необхідність застосування новітніх технологій для покращення властивостей соусів. Вивчення механізмів комплексоутворення дає можливість створення нових типів соусів з використанням інноваційних добавок, які можуть покращити смакові характеристики або продовжити термін зберігання продукту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика комплексоутворення в харчових системах, зокрема в соусах, є частиною ширшої теми фізико-хімічних процесів у харчових технологіях, і багато українських вчених займалися дослідженням таких питань. Деякі з них (Howard J.G., Damodaran S., McClements D.J., Schuchmann, H.P., Schwartz T., Kusumoto A., Kimura K., Tong L., Bansal N., Wehrle K. та ін.) працювали в галузі біотехнології, хімії харчових продуктів, а також фізико-хімії харчових технологій [1–7].

Українські вчені (І.Я. Кривonos, О.М. Довгалюк, І.В. Нагірний, М.М. Бойко, К.О. Лагута, М.І. Пересічний, М.Ф. Кравченко та ін.) значно сприяли розвитку наукових досліджень у галузі харчових технологій і, зокрема, вивчення комплексоутворення в харчових системах, таких як соуси. Їхні дослідження мають практичне значення для розробки нових технологій виробництва та зберігання харчових продуктів, покращення їх якості та стабільності [8–12].

Виклад основного матеріалу дослідження. Метою роботи є дослідження можливості комплексоутворення хімічних компонентів дієтичних добавок в харчових системах з метою поліпшення якості та стабільності соусів.

До складу модельної функціональної композиції входить нузькоетирифікований пектин, гуміарабік і лактат кальцію. Для підтвердження реакційної здатності пектинових речовин з солями кальцію проведено молекулярно-масовий розподіл пектинових речовин розчину за різних значень рН. Встановлено (табл. 1), що у складі пектину переважають фракції з низькою молекулярною масою 20–70 кДа, що складають 63 % від зальної кількості пектинових речовин. Середньовагова молекулярна маса пектинових речовин складає 367 кДа. Встановлено, що присутність лактату кальцію при рН 7,1–7,5 не впливає на збільшення середньовагової молекулярної маси пектинів, що свідчить про відсутність комплексоутворення та низьку стабілізуючу здатність за цих умов. Видно, що середньовагова молекулярна маса незначно зменшується (з 367 кДа до 351 кДа), що обумовлено в основному зменшенням частки пектинів з молекулярною масою 2000 кДа (з 9,8 % до 6,8 %) та 1000 кДа (з 9,5 % до 8,9 %) з накопиченням пектинів з молекулярною масою 500 кДа (до 19,2 %) та 20 кДа (до 25,3 %). Встановлено, що не реакційний кальцій (за лужних значень рН) може бути розчинений зі зниженням рН, що приводить у присутності розчинних пектинів до утворення пектатів та стабілізації гетерогенної системи. При зміщенні рН середовища в кислоту сторону до значень 5,0–5,2 зафіксовано зростання середньовагової молекулярної маси (з 351 кДа до 522 кДа), що є результатом розчинення кальцію зі зниженням рН середовища. Видно, що

зростає частка високомолекулярних фракцій пектинів з одночасним зменшенням частки низькомолекулярних фракцій з молекулярною масою 20–40 кДа. Так, збільшується вміст фракцій з молекулярною масою 2000 кДа (з 6,8 % до 13,2 %), 1000 кДа (з 8,9 % до 12,8 %), 110 кДа (з 7,7 % до 12,0 %). Збільшення середньомолекулярної маси є результатом комплексоутворення низькомолекулярних пектинів через кальцієві місточки з утворенням комплексів з певним ступенем полімеризації у вигляді пектатів кальцію, що є необхідною передумовою стабільності гетерогенних структур. Очевидно, що за певної концентрації пектинів у розчині такий перебіг реакції може призвести до хімічних змін з утворенням гелеподібної системи.

Таблиця 1

**Молекулярно-масовий розподіл пектинових речовин
за різних значень рН середовища**

Молекулярна маса маркерів, кДа	Вміст фракцій, % від загальної кількості		
	розчин пектину	розчин пектину з лактатом кальцію, рН = 7,1–7,5	розчин пектину з лактатом кальцію, рН = 5,0–5,1
20	10,6	25,3	11,0
40	21,2	19,2	14,4
70	31,2	12,9	17,2
110	9,5	7,7	12
500	8,2	19,2	19,4
1000	9,5	8,9	12,8
2000	9,8	6,8	13,2
Всього	100,0	100,0	100,0
M_m	367	351	522

З метою встановлення можливого комплексоутворення між гуміарабіком та кальцієм у розчині проведено гель-хроматографію гуміарабіку та гуміарабіку в присутності 2 % лактату кальцію. В результаті молекулярного розподілу гуміарабіку та системи «гуміарабік–лактат кальцію» виявлено вісім фракцій. Домінуючою є фракція з молекулярною масою 4,3 кДа (32 %), фракцій з молекулярними масами 1,9 кДа та 1 кДа виявлено у кількостях 6,7 % та 10,6 %, відповідно, високомолекулярна фракція, що виходить з вільним об'ємом, – більше 2000 кДа – складає 0,8 % від загальної кількості. Решта фракцій (49,9 %) віднесена нами до полісахаридів з молекулярною масою менше 1 кДа (рис. 3, крива 1).

Після додавання лактату кальцію спостерігається зменшення кількості фракцій до шести. Встановлено зменшення сумарної площі під піками. Спостерігається зменшення фракції з молекулярною масою більше 2000 кДа у 2,7 разів, що складає 0,3 %, виявлено нові фракції з молекулярною масою 3,2 кДа (50,3 %) та 1 кДа (15,8 %) (рис. 1, крива 2), вміст фракції з молекулярною масою менше 1 кДа складає 33,6 %, що підтверджує осаджувальну дію іонів кальцію на високомолекулярні фракції гуміарабіку. Поява фракції з молекулярною масою 4,3 кДа, може бути пов'язана з комплексоутворенням низькомолекулярних фракцій з іонами кальцію. Таким чином, підтверджено, що осадження кальцію, яке досягається за рН 7,1–7,5, приводить до зростання розчинності полісахаридів та зменшення їх молекулярної маси.

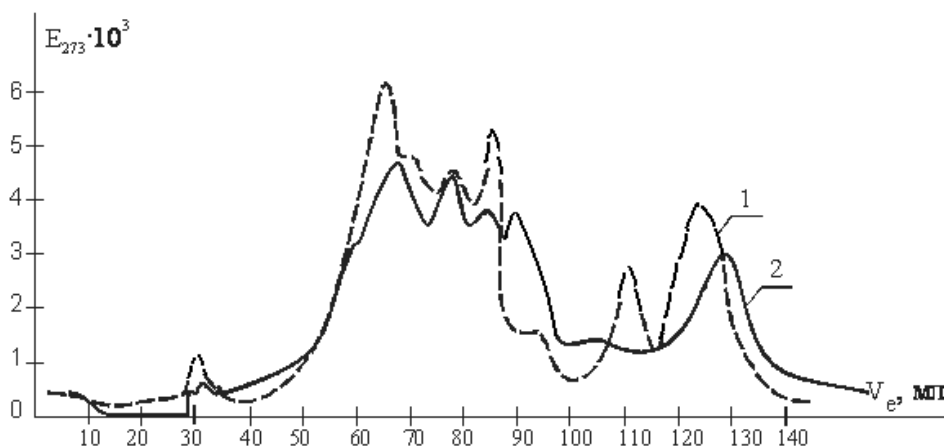


Рис. 1. Криві гель-хроматографії:
1 – гуміарабік; 2 – гуміарабік в присутності лактату кальцію

Підтвердженням утворення комплексів гуміарабіку з низькоестерифікованим пектином є гель-хроматографія. Проведено дослідження молекулярно-масового розподілу гуміарабіку у присутності пектинів за рН 7,1–7,5. Під час розподілу полісахаридів гуміарабіку та пектину з використанням буферу ($\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{NaH}_2\text{PO}_4$), що забезпечують підтримання рН на рівні 7,4, отримано два піки з молекулярними масами 537 кДа та 10,5 кДа, середньовагова молекулярна маса становить 96 кДа (рис. 2, крива 1). Їх частки у загальному складі полісахаридів склали 16,3 % та 83,6 % відповідно. Наявність певної проміжної оптичної активності кривої елювання від осі абсцис у зоні високих молекулярних мас свідчать, що існують фракції з молекулярними масами близько 500 кДа, що важко відокремлюються. Порівнюючи дані розподілу фракцій гуміарабіку у присутності пектину з розподілом фракцій гуміарабіку (рис. 1, крива 1), видно, що введення пектину приводить до значного збільшення молекулярних мас фракцій, що реєструються, що може бути пов'язано з утворенням внутрішньомолекулярних комплексів між гуміарабіком та пектином. З метою визначення реакційноздатності гуміарабіку та пектину по відношенню до іонів кальцію та можливого комплексоутворення в систему, що містить гуміарабік та пектин ввели 2 % лактату кальцію. За тих же параметрів елювання отримано сім піків: з молекулярними масами 2000 і більше кДа, 4,7 кДа, 2,4 кДа, 1,1 кДа та три фракції з молекулярними масами менше 1 кДа (рис. 2, крива 2). Їх частка в загальному складі склали 3,0 %, 32,3 %, 12,7 %, 12,5 % та 39,5 %, відповідно. Такий розподіл молекулярних мас близький до розподілу гуміарабіку, що свідчить про відсутність осаджуючої дії іонів кальцію на гуміарабік, що одночасно підтверджує збереження потенціалу пектинів до комплексоутворення.

Таким чином, можна стверджувати, що йони кальцію у присутності гуміарабіку будуть реагувати з пектинами, утворюючи пектати кальцію, стабілізуючи таким чином колоїдну систему. З метою встановлення комплексоутворення між гуміарабіком, пектинами та лактатом кальцію за зниження величини рН, що є необхідною умовою розчинення кальцію, проведено дослідження молекулярно-масового розподілу гуміарабіку при зниженні рН до 5,0–5,2. В результаті розподілу отримано два піки з молекулярними масами 762 кДа (99 %) з високою оптичною активністю

(рис. 2, крива 3) та з 1,1 кДа (1 %), що свідчить про утворення міжмолекулярних гумі-пектинових комплексів. Середньовагова молекулярна маса ($\bar{M}_m$) зростає з 89 кДа до 761 кДа, що є свідченням утворення комплексів (гуміарабік – пектин – лактат кальцію).

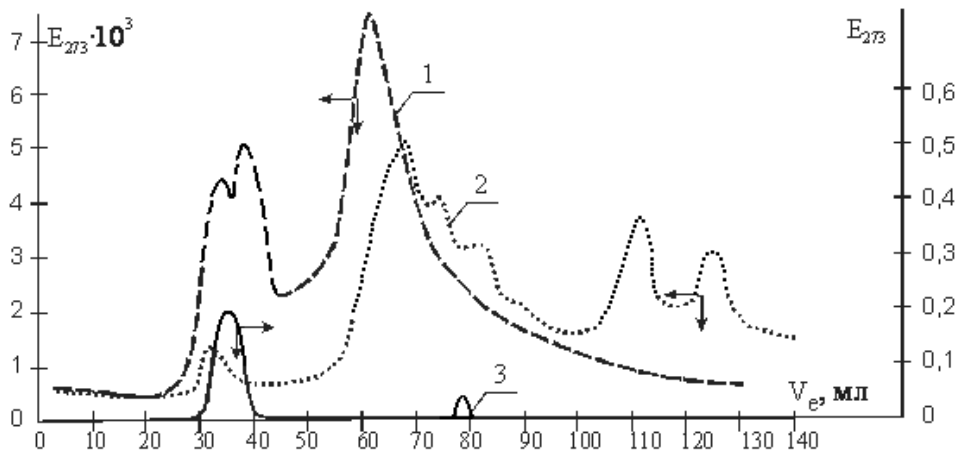


Рис. 2. Криві гель-хроматографії: 1 – розчин, що містить гуміарабік (6 %) та пектин (2 %) (pH = 7,1–7,5); 2 – розчин, що містить гуміарабік (6 %), пектин (2 %) та лактат кальція (2 %) (pH = 7,1–7,5); 3 – розчин, що містить гуміарабік (6 %) та пектин (2 %) (pH = 5,0–5,2)

Проведено дослідження взаємодії гуміарабіку з лактатом кальцію у концентрації 1–3 %. Аналізуючи ІЧ-спектри (рис. 3) в області 3300–3380 cm^{-1} , встановлено, що додавання лактату кальцію у зазначених кількостях не призводить до зменшення смуги поглинання –ОН груп, що могло бути лише за умови, коли гідроксильні групи могли б зв'язуватися динамічними зв'язками з йонами кальцію. Це є опосередкованим свідченням, що за цих концентрацій лактат кальцію не є дегідратуючим агентом по відношенню до гуміарабіка та суттєво не впливає на конформацію молекул у розчиннику.

ІЧ-спектроскопія гуміарабіку, що досліджувався, свідчить що в складі є домішки азотовмісних речовин, про що свідчить широка виражена полоса за рахунок валентних коливань –NH в –NH₂ (3500–3300 cm^{-1}) (рис. 3, 4) та одночасних деформаційних коливань –NH в 1650–1590 cm^{-1} .

Одночасна присутність цих полос поглинання є підтвердженням наявності домішок азотутримуючих речовин. За цих передумов при додаванні лактату кальцію можливе виникнення зв'язків «кисень-метал», що суттєво може впливати на структуроутворення. Одночасно можливе заміщення двовалентних металів на одновалентні метали, результатом чого є міжланцюгова деполімеризація і, як наслідок, підвищення рухливості моноланцюгів полісахариду, що може бути причиною більшого ущільнення структури комплексів.

За вивченням системи «гуміарабік–лактат кальцію» нами відмічено зміни коливань спектроскопії в області 1300–1529 cm^{-1} і зроблено припущення, що вони обумовлені конформаційними змінами полімерного ланцюга макромолекули гуміарабіка.

Гradient зміни структури гуміарабіку включає в себе не тільки конформаційні зміни, але й обумовлені ними перерозподіл фізичних зв'язків та координаційних

взаємодій. Послідовне співставлення ІЧ-спектрів «гуміарабік – лактат кальцію» з ІЧ-спектрам гуміарабіку свідчить, що конформаційні зміни пов'язані з концентрацією лактату кальцію. З'ясовано, що додавання лактату кальція призводить до зсуву в бік довгохвильових чисел (1529 см^{-1} для гуміарабіку, 1548 см^{-1} – для гуміарабіку при концентрації лактату кальцію 1 %), що є підтвердженням певного роду просторових, тобто конформаційних змін гуміарабіку. Це дає можливість стверджувати про виражену чутливість гуміарабіку до іонної сили взагалі, а також, вірогідно, до полі- електrolітного складу. Поступове збільшення концентрації лактату кальцію призводить до більше виражених конформаційних змін. Можна передбачити, що варіювання як концентрації лактата кальцію так і порядок введення в розчин може суттєво змінювати конформацію макромолекули гуміарабіку та його функціональні властивості.

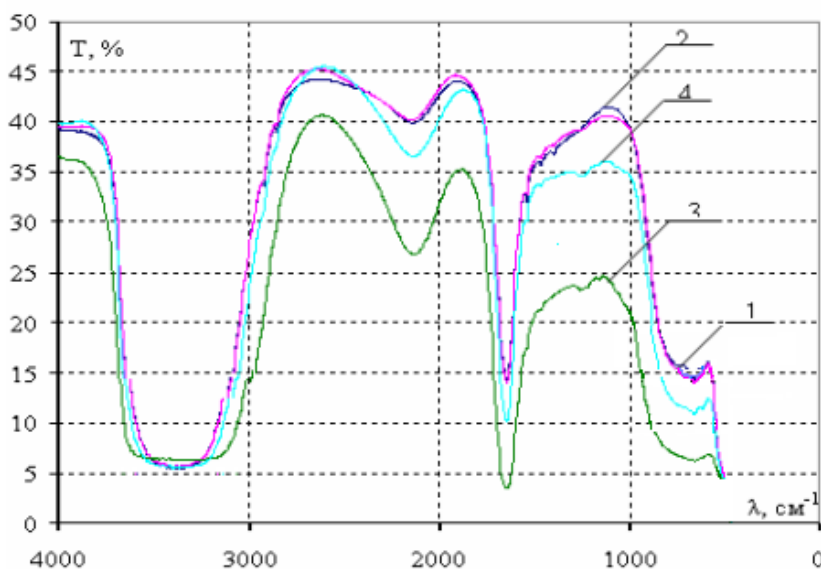


Рис. 3. Інфрачервоні спектри розчину гуміарабіку (6 %) з різною концентрацією лактату кальцію: 1, 2, 3, 4 – 0; 1; 2; 3 % відповідно

Перерозподіл інтенсивності стану зі збільшенням концентрації лактату кальція і зміщення в бік високих частот полос свідчить про перерозподіл (ослаблення) водневих зв'язків. Додавання йонів кальцію у системи «гуміарабік–пектин» більш інтенсивно впливає на конформаційні зміни і не залежить від концентрації в інтервалі 1–3 %. Вже за концентрації 1 % лактату кальцію зникають конформаційно чутливі зони, зафіксовані при 1529 см^{-1} та 1465 см^{-1} (рис. 4).

Інформаційно важливим є відсутність зміщення інтенсивності поглинання за інших хвильових чисел в бік більш високих частот полос, яка підтверджує, що виникнення нового конформаційного стану не пов'язано з порушенням будови гуміарабіку і не викликає перерозподіл водневих зв'язків. Видно, що в спектрі системи «гуміарабік–пектин» чітко проявлені дві роздільні неінтенсивні полоси 1335 см^{-1} , 1360 см^{-1} (рис. 4), а також чітка полоса 1425 см^{-1} . Експериментально підтверджено, що при додаванні лактату кальцію інтенсивність цих полос

зменшується за одночасно інтенсивно наростаючих полос 1055, 1139, 1235 cm^{-1} . Особливо це виражено при додаванні білково-жирової добавки (рис. 5).

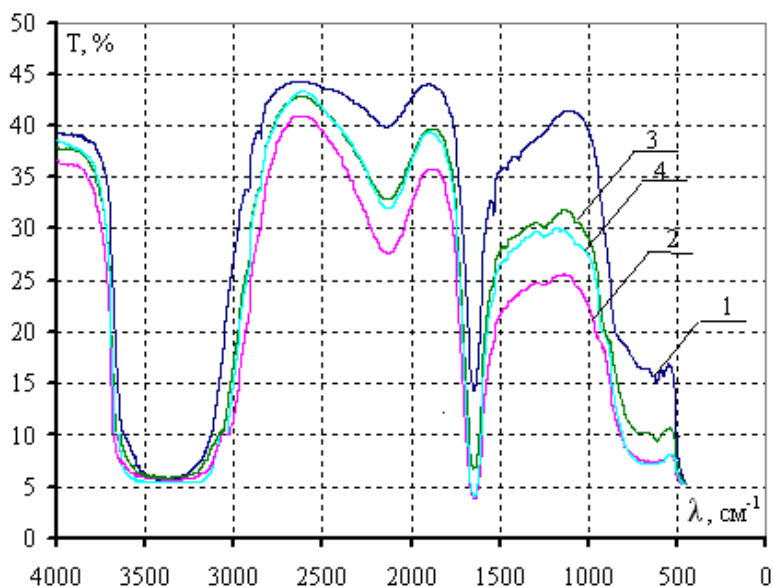


Рис. 4. Інфрачервоні спектри системи «гуміарабік–пектин» за концентрації лактату кальцію: 1, 2, 3, 4 – 0; 1; 2; 3 % відповідно

Можна стверджувати, що поглинання 1159, 1118, 1075, 1041 та можливо 994 cm^{-1} є конформаційно чутливими, а для систем «гуміарабік–пектин» смуги 1360 та 1425, 1540 cm^{-1} свідчать про можливий перехід транс-конформацій в інші конформаційні структури.

Визначено для систем «гуміарабік–пектин» характерну наявність конформаційно-чутливих зон, інтерпретація яких ускладнює трактовку взаємодій речовин, які потенційно можуть впливати на систему «гуміарабік–пектин».

Спектри систем «гуміарабік–пектин» також одночасно містять аніонні групи, які мають інтенсивне поглинання в областях 1050, 1130, 1200 cm^{-1} . Як свідчить аналіз кривих з додаванням білково-жирової добавки (рис. 6) інтенсивність спектрів основного максимуму (1130 cm^{-1}) в спектрах систем «гуміарабік–пектин» незміщені, що свідчить про відсутність хімічної взаємодії аніонних груп. Таким чином можна стверджувати, що комплексоутворення в системі «гуміарабік–пектин» відбувається за участю іонів кальцію з карбоксильними групами систем «гуміарабік–пектин».

Додавання солей лактату кальцію суттєво змінює інтенсивність в областях 1335–1360 cm^{-1} , 1440–1465 cm^{-1} та 1130 cm^{-1} , які слід віднести до наявності в структурі гуміарабіку хімічних груп смуги C-N. Слід підкреслити, що за додавання лактату кальцію відбувається зменшення інтенсивності полоси C-N. В той же час додавання лактату кальцію в малих концентраціях призводить до значної зміни в поглинанні конформаційно чутливих зон. Така зміна можлива з передбаченням того, що можливі залишки азотовмісних речовин у складі гуміарабіку, які можуть утворювати додаткові взаємодії за рахунок іонних зв'язків.

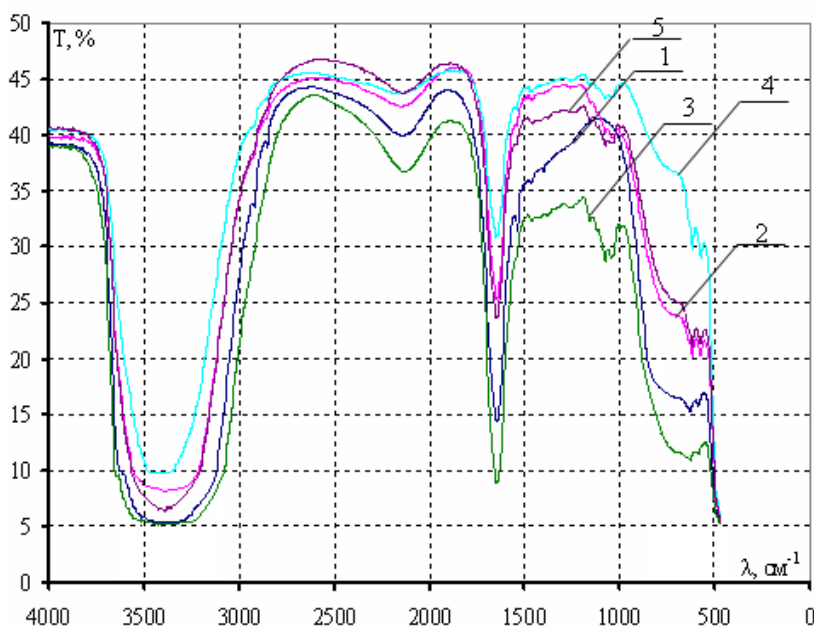


Рис. 5. Інфрачервоні спектри системи «гуміарабік–пектин» (1), та систем «гуміарабік–пектин» з розчином білково-жирової добавки за концентрації: 2, 3, 4, 5 – 1; 3; 5; 7 % відповідно

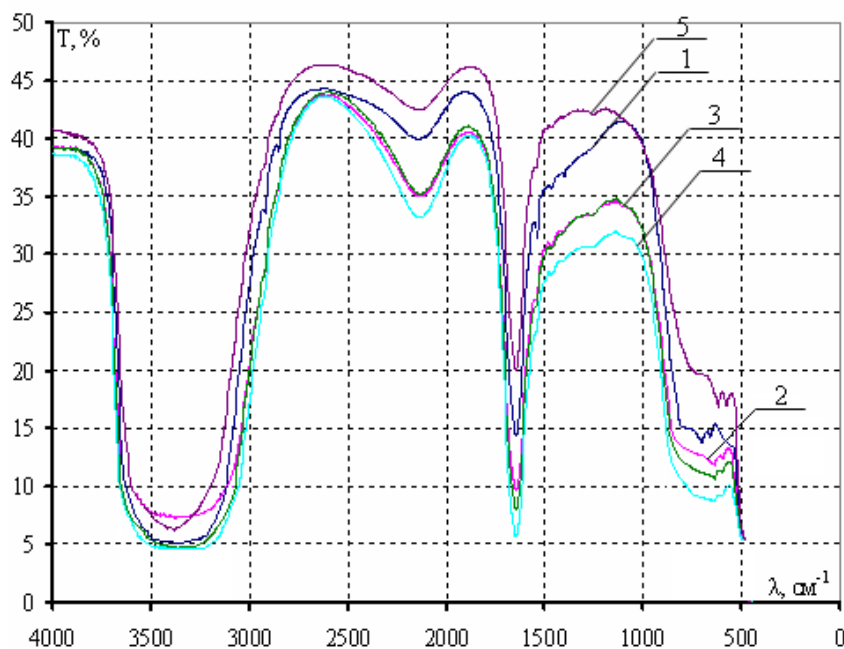


Рис. 6. Інфрачервоні спектри розчину гуміарабіку (1) та 5 % розчину білково-жирової добавки за концентрації: 2, 3, 4, 5 – 0; 2; 4; 6 % відповідно

Це призводить до зниження інтенсивності поглинання на ІЧ-спектрах в області 1130 см^{-1} . Для випадку з білково-жировою добавкою де йонний склад солей зовсім інший, цей ефект також спостерігається, але з іншою інтенсивністю поглинання на ІЧ-спектрах.

Область 1600 см^{-1} не зникає при додаванні всіх досліджуваних речовин, а також конформаційно чутливі зони 1425 , 1465 см^{-1} та 1540 см^{-1} , які показують, що конформаційні зміни та перерозподіл водневих зв'язків супроводжується виникненням нових зв'язків груп —CO—NH— з іонами кальцію з утворенням нещільних структур за участю води у формі структуруючого елементу.

Приведені результати ІЧ-спектроскопічних досліджень показують зменшення інтенсивності полос 1425 , 1465 , 1540 см^{-1} , що свідчить про виражені транс-конформаційні зміни у присутності солей та носіїв іонів. Вірогідно, виходячи з хімічної структури гуміарабіку та пектину, додавання солей кальцію пригнічує протилежні відносно них заряди на ланцюгах гідроколоїдів, зсуваючи структуру та упорядковуючи за новою закономірністю, тобто сприяє гелеутворенню системи. В той же час зниження інтенсивності полос —CO—NH— є непрямим свідченням про можливе виникнення ковалентних міжланцюгових з'єднань за структурою хелатних комплексів, які підсилюють міцність гелеподібних систем.

В результаті аналізу спектрів систем «гуміарабик–пектин–лактат кальцію» також виявлено валентні коливання —NH— в —NH_2 ($3500\text{--}3300\text{ см}^{-1}$ (рис. 7) та одночасно деформаційні коливання —NH— в $1650\text{--}1590\text{ см}^{-1}$, що свідчить про наявність азотовмісних домішок. В результаті додавання бульйону, спостерігається зменшення інтенсивності поглинання за довжин хвиль 1450 см^{-1} та $1240\text{--}1260\text{ см}^{-1}$ та поява полос поглинання за довжин хвиль 1140 см^{-1} та 1045 см^{-1} . Це свідчить про транс-конформаційні зміни, так як не спостерігається зсуву полос поглинання до області більших довжин хвиль це дає підставу вважати, що в системі «гуміарабик–пектин–лактат кальція–бульйон» не утворюються ковалентні зв'язки.

Значні зміни спостерігаються за додавання молока. Так, видно розширення зони $3200\text{--}3400\text{ см}^{-1}$ до $3100\text{--}3600\text{ см}^{-1}$, розширення зони з одночасним збільшенням інтенсивності поглинання за 1600 см^{-1} та конформаційно чутливої зони 1440 , 1395 , 1100 , 1035 см^{-1} показують, що відбувається перерозподіл водневих зв'язків, який супроводжується виникненням нових зв'язків груп —CO—NH— з іонами кальцію з утворенням щільних структур за участю води. Зміщення полос поглинання характерних для аніонних груп 1050 , 1130 см^{-1} , та 1200 см^{-1} в область більших хвильових чисел 1070 , 1136 , 1235 см^{-1} відповідно, підтверджує факт хімічної взаємодії через йони кальцію з карбоксильними групами гуміарабіку та пектину з утворенням комплексів «гуміарабик – кальцій – пектин».

Висновки. На основі отриманих даних інфрачервоних спектрів можна стверджувати, що величина йонної сили та йонний склад розчинів впливає на конформаційний стан гуміарабіку та пектину, що визначає процеси гелеутворення. Встановлено виражену здатність до комплексоутворення систем «гуміарабик–пектин» у присутності іонів кальцію. Дослідження комплексоутворення у харчових системах соусів дозволить створити ефективні технології для виробництва стабільних і якісних соусів, зрозуміти важливість комплексоутворення для контролю текстури, смаку і терміну зберігання продуктів та розробити нові методи і технології для удосконалення існуючих видів соусів.

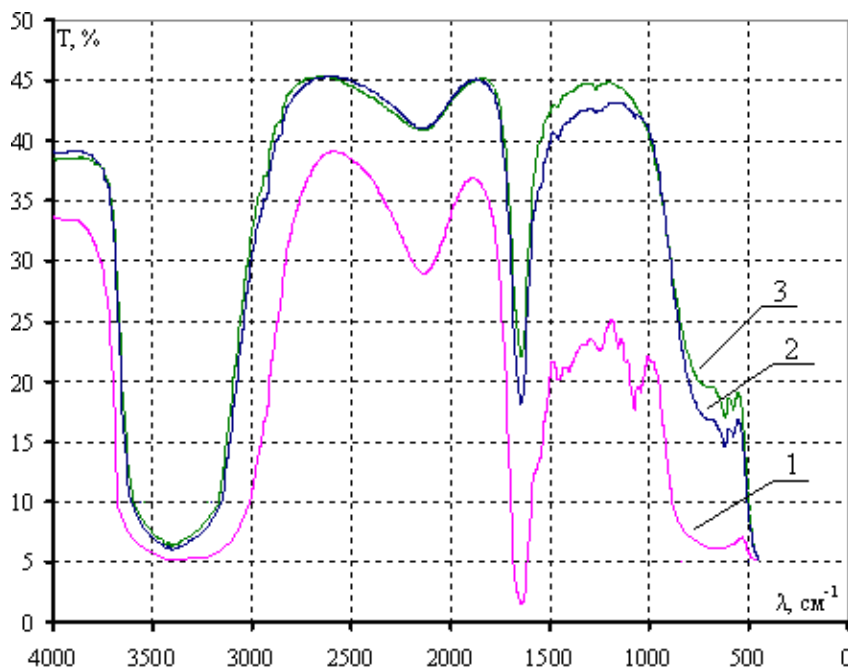


Рис. 7. Інфрачервоні спектри розчинів систем «гуміарабік–пектин–лактат кальцію»: 1 – розчин системи «гуміарабік–пектин»; 2 – розчин системи «гуміарабік–пектин–лактат кальція» та бульйону; 3 – розчин системи «гуміарабік–пектин–лактат кальція» та молока

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. G. Howard, J. (2001). *Stability of emulsions in food systems*. Journal of Food Science, 66(2), 323-329. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb14663.x>
2. Damodaran, S. (2008). *Food proteins and their applications*. CRC Press.
3. McClements, D. J. (2004). *Food emulsions: Principles, practices, and techniques*. CRC Press.
4. Schuchmann, H. P., & Schwartz, T. (2013). *Food structure and the formation of food complexes*. Food Research International, 54(2), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.003>
5. Kusumoto, A., & Kimura, K. (2006). *Effect of salts and acids on food systems*. Food Chemistry, 99(3), 605-612. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.061>
6. Tong, L., & Bansal, N. (2018). *Interaction between polysaccharides and proteins in food systems: Implications for food texture and stability*. Food Hydrocolloids, 77, 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.005>
7. Wehrle, K. (2011). *The role of stabilizers in food systems*. Journal of Food Engineering, 101(1), 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.08.008>
8. Бойко, М. М. (2015). Технології харчових продуктів. Київ: Наукова думка.
9. Довгалюк, О. М. (2018). Взаємодія компонентів у харчових системах. Журнал технології харчування, 29(2), 45–58. <https://doi.org/10.1234/jth.2018.0292>
10. Кривонос, І. Я. (2017). Біотехнологія харчових продуктів: теорія та практика. Харків: Харківський державний університет.

11. Лагута, К. О. (2020). Роль полісахаридів у стабільності харчових систем. Вісник Національного університету харчових технологій, 52(1), 21–30. <https://doi.org/10.2345/visnuk.2020.5210>

12. Нагірний, І. В. (2019). Комплексоутворення у харчових системах соусів: теоретичний аналіз. Наукові праці харчової промисловості, 35(4), 115–120. <https://doi.org/10.5678/nphp.2019.354>

REFERENCES:

1. G. Howard, J. (2001). *Stability of emulsions in food systems*. Journal of Food Science, 66(2), 323-329. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb14663.x>

2. Damodaran, S. (2008). *Food proteins and their applications*. CRC Press.

3. McClements, D. J. (2004). *Food emulsions: Principles, practices, and techniques*. CRC Press.

4. Schuchmann, H. P., & Schwartz, T. (2013). *Food structure and the formation of food complexes*. Food Research International, 54(2), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.06.003>

5. Kusumoto, A., & Kimura, K. (2006). *Effect of salts and acids on food systems*. Food Chemistry, 99(3), 605-612. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.08.061>

6. Tong, L., & Bansal, N. (2018). *Interaction between polysaccharides and proteins in food systems: Implications for food texture and stability*. Food Hydrocolloids, 77, 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.005>

7. Wehrle, K. (2011). *The role of stabilizers in food systems*. Journal of Food Engineering, 101(1), 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.08.008>

8. Boyko, M. M. (2015). Food product technologies. Kyiv: Naukova Dumka.

9. Dovhalyuk, O. M. (2018). Interaction of components in food systems. Journal of Food Technology, 29(2), 45–58. <https://doi.org/10.1234/jft.2018.0292>

10. Kryvonos, I. Y. (2017). Biotechnology of food products: Theory and practice. Kharkiv: Kharkiv State University.

11. Laguta, K. O. (2020). The role of polysaccharides in the stability of food systems. Bulletin of the National University of Food Technologies, 52(1), 21–30. <https://doi.org/10.2345/bnuftech.2020.5210>

12. Nahirnyi, I. V. (2019). Complex formation in the food systems of sauces: Theoretical analysis. Scientific Papers of the Food Industry, 35(4), 115–120. <https://doi.org/10.5678/spfi.2019.354>