

УДК 664.8/9:543.06

ШЛЯХИ ВИЗНАЧЕННЯ ВУГЛЕВОДІВ У ХАРЧОВИХ КОМПОЗИЦІЯХ

Бахлукова К. В., к.т.н., завідувачка відділу
аналітичних досліджень та якості харчової продукції
<https://orcid.org/0009-0006-3302-537X>

Заславський О. М., д.х.н., заступник завідувача відділу
аналітичних досліджень та якості харчової продукції
<https://orcid.org/0000-0001-8545-5554>

Кузьмін А. О., здобувач освітньо-наукового ступеня доктора філософії
<https://orcid.org/0009-0008-2790-1657>

Станіславів С. І., н.с. відділу аналітичних досліджень та якості харчової продукції
<https://orcid.org/0000-0003-2726-3671>

Листопад Ф. К., фахівець відділу аналітичних досліджень та якості харчової продукції
<https://orcid.org/0009-0000-3337-1818>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2026-26-26>

Надійшла 13.06.2026. Прийнята після рецензування 26.06.2026. Опублікована 30.06.2026

Ліцензія CC BY-NC-ND 4.0

Предмет. На прикладі підтвердження хімічної ідентичності та визначення вмісту каррагінану в свинині різними хімічними і фізико-хімічними методами проведено порівняльний аналіз шляхів визначення вуглеводів у харчових композиціях. Розглянуто проблему ідентифікації та кількісного визначення вуглеводів, які використовуються для покращення консистенції продукції або можуть бути внесені з метою її фальсифікації. **Мета.** Проведено аналітичне співставлення можливих методів визначення вуглеводів у харчових композиціях та здійснено вибір найбільш перспективних підходів для їх якісної і кількісної ідентифікації. **Методи.** Для досліджень використано гравіметричний метод, метод К'ельдаля, спектрофотометрію, інфрачервону спектроскопію та рідинну хроматографію. Досліджено стандартні зразки каррагінану, проведено їх гідроліз та ідентифікацію продуктів розкладу. Зі зразків свинини отримано екстракти, з яких послідовно видалено жир і білки з подальшим аналізом залишкових компонентів. Для встановлення коефіцієнта перерахунку між вмістом галактози та каррагінану застосовано спектрофотометричний підхід. **Результати.** Встановлено тотожність ІЧ-спектрів досліджених зразків каррагінану та підтверджено їх характерні структурні особливості. Показано, що рідинна хроматографія гідролізованих зразків дозволяє надійно ідентифікувати каррагінан за наявності галактози. В отриманому з свинини екстракті проведено розділення жиру, білків, амінокислот і вуглеводів, а результати різних методів порівняно між собою. Виявлено наявність вуглеводів у кількості близько 1% , що свідчить про можливу фальсифікацію продукції каррагінаном. Визначено найбільш перспективними методами ІЧ-спектроскопію та рідинну хроматографію, тоді як спектрофотометричний метод визнано недостатньо перспективним для безпосереднього визначення вуглеводів у досліджуваних зразках. **Сфера застосування результатів.** Запропоновані підходи можуть бути використані для аналізу харчових композицій з метою визначення вмісту вуглеводів, їх ідентифікації, встановлення фактів фальсифікації та вдосконалення методів контролю якості харчової продукції.

Ключові слова: ідентифікація вуглеводів, каррагінан, карагенан, харчові композиції, фальсифікація продукції

METHODS FOR CARBOHYDRATES DETERMINING IN FOOD COMPOSITIONS

Kseniia Bakhlukova, PhD, Engineering,
Head of Analytical Research and Food Products Quality Department
<https://orcid.org/0009-0006-3302-537X>

Oleksandr Zaslavskyi, D-r of Sc., Chemistry,
Deputy Head of Analytical Research and Food Products Quality Department
<https://orcid.org/0000-0001-8545-5554>

Anton Kuzmin, PhD Student
<https://orcid.org/0009-0008-2790-1657>

*Svitlana Stanislaviv, Researcher,**Analytical Research and Food Products Quality Department**<https://orcid.org/0000-0003-2726-3671>**Fedir Lystopad, Specialist of Analytical Research and Food Products Quality Department**<https://orcid.org/0009-0000-3337-1818>**Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine*

Subject. Using the example of confirming the chemical identity and determining the content of carrageenan in pork by various chemical and physicochemical methods, a comparative analysis of the ways of determining carbohydrates in food compositions was conducted. The problem of identifying and quantifying carbohydrates that are used to improve the consistency of products or can be introduced for the purpose of its falsification was considered. **Purpose.** An analytical comparison of possible methods for determining carbohydrates in food compositions was carried out and the most promising approaches for their qualitative and quantitative identification were selected. **Methods.** The gravimetric method, the Kjeldahl method, spectrophotometry, infrared spectroscopy and liquid chromatography were used for the research. Standard samples of carrageenan were studied; their hydrolysis and identification of decomposition products were carried out. Extracts were obtained from pork meat samples, from which fat and proteins were sequentially removed with subsequent analysis of residual components. To establish the conversion factor between the content of galactose and carrageenan, a spectrophotometric approach was used. **Results.** The identity of the IR spectra of the studied carrageenan samples was established and their characteristic structural features were confirmed. It was shown that liquid chromatography of hydrolyzed samples allows for reliable identification of carrageenan by the presence of galactose. In the extract obtained from pork, fat, proteins, amino acids and carbohydrates were separated, and the results of different methods were compared with each other. The presence of carbohydrates in an amount of about 1% was detected, which indicates a possible falsification of products with carrageenan. The most promising methods were determined to be IR spectroscopy and liquid chromatography, while the spectrophotometric method was recognized as not promising enough for the direct determination of carbohydrates in the studied samples. Scope of application of the results. The proposed approaches can be used to analyze food compositions to determine the content of carbohydrates, their identification, establish facts of falsification, and improve methods of quality control of food products.

Keywords: carbohydrate identification, carrageenan, carrageenin, food compositions, product adulteration

Постановка проблеми. Вуглеводи – одна з трьох найпоширеніших складових їжі. Вони забезпечують організм енергією, приймають участь у ефективному перетравленні їжі і ритмічній роботі кишківника, є єдиним джерелом живлення мозку [1]. Вуглеводи, за простого хімічного складу $C(H_2O)_n$, відрізняються величезним розмаїттям природних і синтетичних сполук, що обумовлено різною кількістю, поєднанням і просторовою будовою складових «цеглинок» – моносахаридів з різною кількістю атомів карбону, які за хімічною природою є альдегідоспиртами [2].

Більшість вуглеводів може бути використана в їжу. Моносахариди – глюкоза, фруктоза, які переважно містяться у фруктах, лактоза – у молоці, можуть безпосередньо засвоюватися організмом людини. Дисахарид – сахароза гідролізується у кислому ферментизованому середовищі шлунку на глюкозу і фруктозу. Крохмаль, що міститься у картоплі і злакових, потребує попередньої термічної обробки для часткового гідролізу довгих полісахаридних (глюкозних) ланцюгів і лише потім може бути засвоєним людиною [2]. Лігнін, целюлоза, хітин, хітозан, які за своєю природою також є природними полісахаридами і вуглеводами використовуються в їжу різними тваринами, але людиною не засвоюються.

Крім полісахаридів природного походження існує велика кількість продуктів, що сформувалися з природної сировини штучним шляхом під певним фізичним або хімічним впливом. Це, в першу чергу, модифіковані крохмалі [3–5].

Останнім часом велика увага дієтологів привертається до вуглеводів, які не розщеплюються в організмі людини і забезпечують його енергією, але сприяють перетравленню їжі і її транспорту в шлунково-кишковому тракті. Це харчові волокна [6].

Окремим типом вуглеводів є гелеутворюючі сполуки, які широко використовуються в кулінарії для надання стравам певної консистенції і структури. Це – агар-агар, камеді, каррагінани [7, 8].

Величезне розмаїття харчових вуглеводів і їх відносна хімічна інертність надзвичайно ускладнюють їх ідентифікацію і кількісне визначення.

За рекомендацією організації ООН з питань продовольства та сільського господарства (FAO) загальний вміст вуглеводів розраховується за різницею між масою продукту і сумарною кількістю води, білків, жирів, золи та алкоголю (за наявності) [9], які визначаються за стандартизованими методами. Кількість моно- і дисахаридів встановлюється хроматографічно. Енергетична цінність вуглеводів, зазвичай, не прив'язана до їх хімічної природи і розраховується за емпіричним коефіцієнтом.

Однак, на сьогоднішній день актуальною стає задача встановлення не тільки загальної кількості вуглеводів в харчових продуктах, а й диференціації їх за типом. Вуглеводи природного, а частіше штучного походження додаються в харчові композиції задля збільшення їх енергетичної цінності і покращення консистенції. В першу чергу це може стосуватися сушених і сублімованих композицій швидкого приготування і тривалого терміну зберігання, а також паштетів, ковбасних виробів.

Останнім часом також широкого розповсюдження набула фальсифікація харчових продуктів природного походження шляхом введення в їх структуру гелеутворюючих компонентів з метою збільшення ваги і пружності за рахунок утримання надлишкової води.

Метою даної роботи було аналітичне співставлення можливих методів визначення вуглеводів у харчових композиціях і обрання серед них найбільш перспективних.

Вуглеводом, що визначається, був обраний карагенан (каррагінан). Це природня гелеутворююча речовина, яка добувається з морських водоростей. В основі її полісахаридного ланцюга лежить галактоза. В залежності від особливостей будови розрізняють каппа-, йота- та лямбда-карагінан. Характерною особливістю, що відрізняє карагенани від інших полісахаридів, є наявність у структурі макромолекул сульфогруп $-SO_3$ [10].

Матеріали і методи. Карагенан був придбаний у торговельній мережі, як харчова добавка, а також у спеціалізованого постачальника, як хімічний реактив.

В якості харчової композиції виступала заморожена свинина, придбана у торговельній мережі.

Зразки досліджувалися методами: гравіметричним, К'ельдаля, спектрофотометричним, ІЧ-спектроскопії, рідинної хроматографії. Були використані прилади: аналітичні ваги OHAUS AR 2140, лабораторний блендер Retsch GM 200, сушильна шафа SNOL 58/350, побутовий холодильник «Атлант» 268, водяна баня Avalier, колбонагрівач LH 150, напівавтоматичний дистильатор FoodALYT D1000 та дигестор для спалювання органічної сировини Infrared Digestion Unit BEGER, центрифуга ОПн-8УХЛ 4,2, спектрофотометр Unicco S 2100, ІЧ-спектрометр Nicolet Nexus 470, рідинний хроматограф Shimadzu LC-20A, ексікатор, хімічний посуд і реактиви належної якості.

Проведення аналізів спиралось на затверджені методики.

Результати та обговорення.

Якісний аналіз карагенанів. Порошки каррагінанів у формі харчової добавки і хімічного реактиву були досліджені методом ІЧ – спектроскопії. Запис ІЧ-спектрів з перетворенням Фур'є проводили у режимі порушеного повного внутрішнього відбиття (ППВВ). Для цього використовували приставку ППВВ Smart Orbit (виробництво фірми Thermo Scientific), оптичний елемент – алмаз, кут падаючого променя $\theta = 45^\circ$. Діапазон вимірювання $4000-400\text{ см}^{-1}$, кількість сканів – 128, роздільна здатність – 4 см^{-1} . Фон записувався відносно оптичного елементу без зразку, спектри записували для подрібнених зразків без будь-якого розведення. Співставлення спектрів засвідчило їх тотожність між собою і з стандартним спектром карагенану, відмінною ознакою якого є наявність характеристичного коливання сульфогрупи

на 1230 см^{-1} та галактоза-4-сульфату, що характерний для каппа-каррагінана на 840 см^{-1} (рис.1).

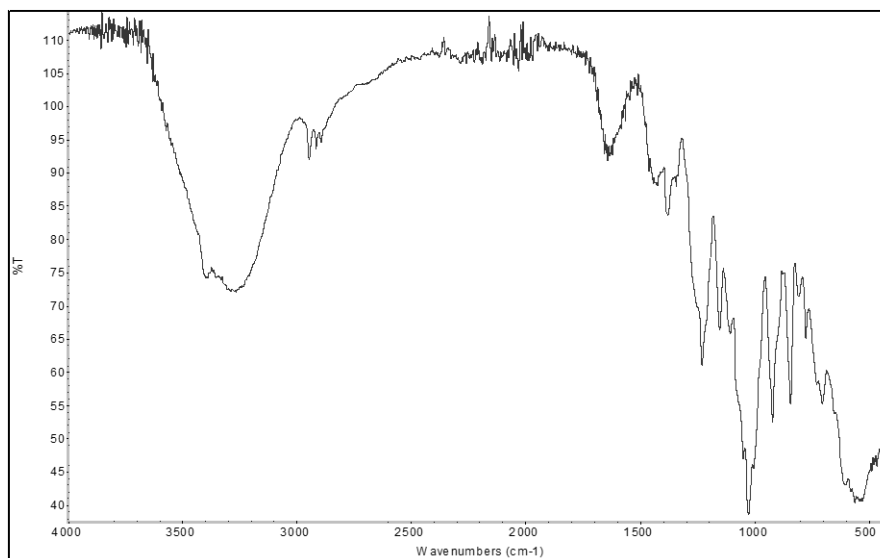


Рис. 1. ІЧ-спектр каррагінану

З порошків карагенанів при нагріванні на водяній бані були приготовані 1% водні розчини. Розчини були розведені в 10 разів (концентрація 1 мг/мл) і досліджені методом рідинної хроматографії. З аналізу хроматограм (рис. 2а та 2б) випливає суттєва відмінність між реактивом (рис. 2а) і харчовою добавкою (рис. 2б), оскільки остання, крім основної речовини неоднакової молекулярної маси, сфальсифікована ще сторонньою домішкою, ідентифікованою як глюкоза.

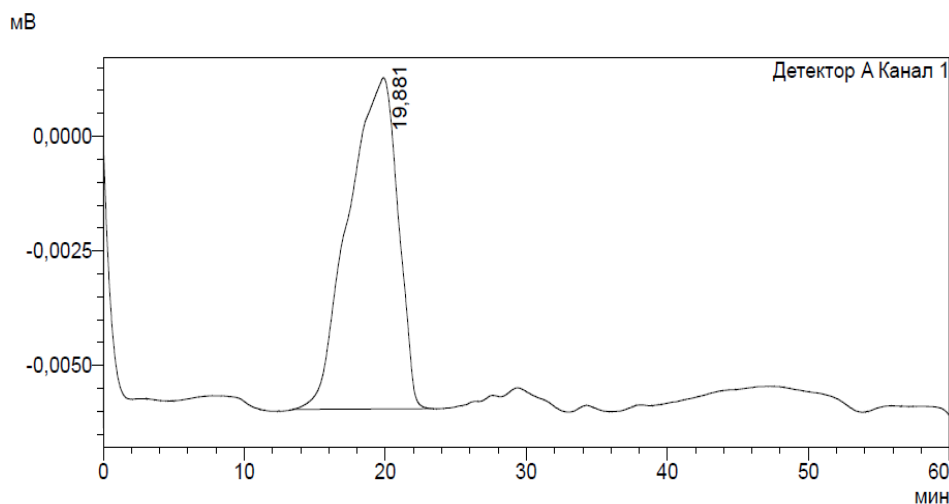


Рис. 2а. Хроматограма розчину каррагінану, 1 мг/мл, купленого в якості хімічного реактиву

Розчини карагенанів були піддані гідролізу у 20% розчині сірчаної кислоти протягом 24 годин при кип'ятінні зі зворотнім холодильником. Результати гідролізу, встановлені методом рідинної хроматографії, представлені на рис. 2в. Видно, що гідроліз спричиняє лише часткове руйнування полісахаридних ланцюгів, проте максимум галактози, яка є результатом цього процесу, фіксується чітко.

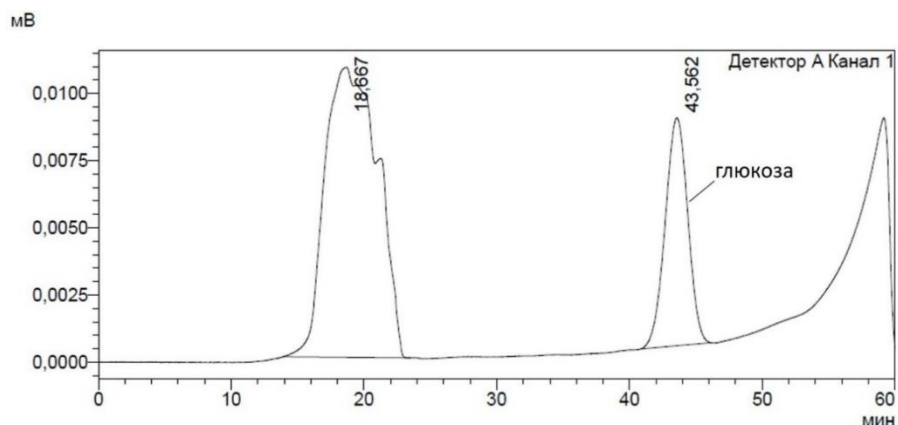


Рис. 2б. Хроматограма розчину каррагінану, 1 мг/мл, купленого в якості харчової добавки, що виявилась фальсифікована глюкозою

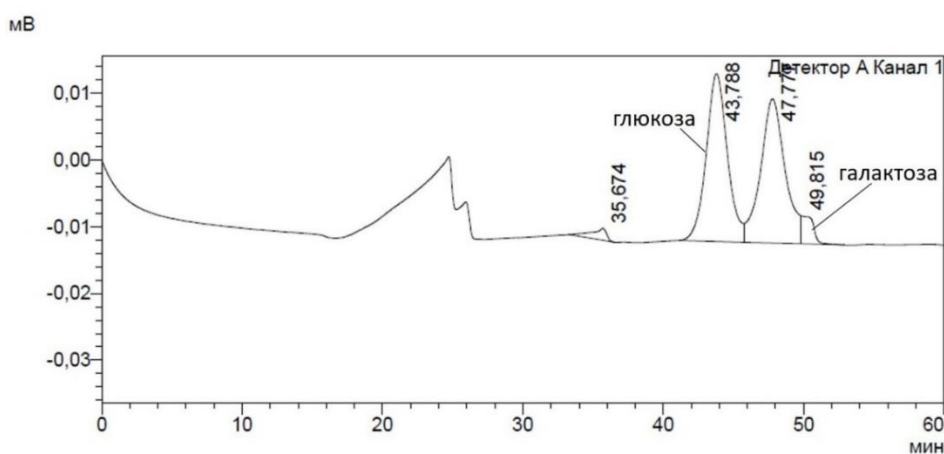


Рис. 2в. Хроматограма розчину каррагінану, 1 мг/мл, після гідролізу

Отже, ІЧ- спектроскопія і рідинна хроматографія, особливо гідролізованих розчинів, дозволяє чітко ідентифікувати карагенан серед інших полісахаридів.

Для кількісного визначення вмісту карагенану у харчовій композиції методом рідинної хроматографії необхідно порівняти між собою площу піку галактози, що утворилась внаслідок гідролізу розчину карагенану невідомої концентрації, з площею піку стандарту галактози відомої концентрації. Слід зазначити, що дана процедура може бути застосована для полісахаридів різних типів, утворених різними альдегідоспиртами.

Але, оскільки поєднання галактози у макроланцюги може відбуватися різними способами, треба встановити коефіцієнт перерахунку кількості визначеної хроматографічно галактози з кількістю карагенану.

Встановлення коефіцієнту перерахунку кількості визначеної хроматографічно галактози з кількістю карагенану методом спектрофотометрії. Наважки каррагінану і галактози від 0,01 до 0,05 грамів з кроком 0,01 г в пробірках заливали 20 мл хромової суміші і витримували протягом однієї години на киплячій водяній бані. Вміст пробірок переливали в мірні колби на 50 мл, доводили до мітки дистильованою водою і вимірювали оптичну густину на спектрофотометрі при довжині хвилі 590 нм у кюветах на 2 мл. За результатами досліджень були побудовані калібрувальні графіки (рис. 3).

За результатами досліджень були розраховані коефіцієнти лінійних рівнянь залежності оптичної густини від концентрації (рис. 3). Видно, що у всьому концентраційному інтервалі між вмістом каррагінану і галактози існує чіткий коефіцієнт перерахунку, який дорівнює 0,66.

Отже, метод рідинної хроматографії гідролізованих зразків вуглеводів дозволяє визначити і їх кількісний вміст за концентрацією моносахаридів і визначеним

спектрофотометрично коефіцієнтом перерахунку.

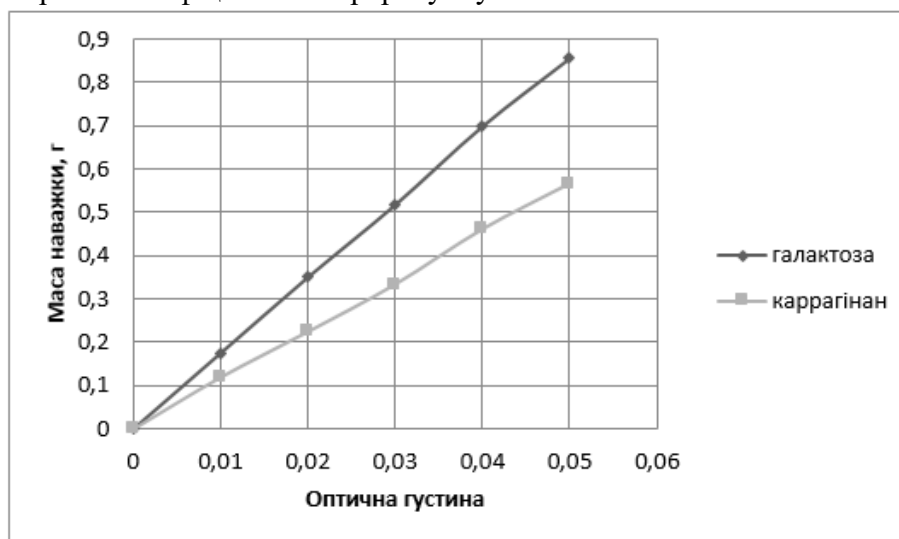


Рис. 3. Залежність оптичної густини розчинів при довжині хвилі 590 нм від вмісту а) карагенану; б) галактози

Приготування зразків для дослідження. Шматки м'яса були подрібнені за допомогою блендера у частково замороженому стані. Це дало змогу полегшити процес подрібнення і зберегти розчинні вуглеводи, які могли бути втрачені з вологою, що виділяється при розмороженні. Фарш заливали дистильованою водою у співвідношенні 1 : 2,5 і витримували у герметичній ємності при нагріванні у водяній бані протягом чотирьох годин. Фарш видалявся за допомогою грубого фільтру.

Основними компонентами в отриманому екстракті були: жир, білки, амінокислоти. Крім того він міг містити вкрай незначні кількості біологічно активних речовин.

Робочою гіпотезою було припущення, що в екстракті нефальсифікованого м'яса вуглеводів бути не повинно.

Видалення жиру. Для видалення жиру екстракт підігрівався майже до температури кипіння і фільтрувався через щільний фільтр у високий стакан. Розчин охолоджувався до кімнатної температури і заморожувався у морозильній камері. Залишки жиру знімалися з поверхні льоду фільтрувальним папером.

Існує певна імовірність втрати гелеутворюючих полісахаридів на щільному фільтрі при охолодженні розчину, яку треба у подальшому перевірити. Ще одним можливим способом відокремлення жиру, який слід розглянути, може бути екстракція у ділильній воронці.

Видалення білків. Білки видалялися з екстракту коагуляцією 10% розчином сульфосаліцилової кислоти (ССК) у співвідношенні 1 : 4 за об'ємом з подальшим центрифугуванням при 8000 об/хв і фільтруванням.

Застосування ССК є загальноприйнятим ефективним способом видалення білків. Але для наших досліджень він має певні недоліки, оскільки після відокремлення білків ССК лишається в розчині і може ускладнювати подальше аналізування.

Тому для коагуляції білків також була використана концентрована оцтова кислота, яка може бути видалена з відцентрифугованого і відфільтрованого розчину при випарюванні за температури 120 °С.

Аналіз методів дослідження підготовлених зразків.

Гравіметричний аналіз. Розчини були перелиті у попередньо прокалені і охолоджені в ексікаторі чашечки Петрі і випаровані у сушильній шафі за різних температур до сталої маси, визначеної після охолодження в ексікаторі. Розчини, що містили оцтову кислоту, випаровували за температури 120 °С, а розчини, що містили ССК, за температури 105 °С,

оскільки ця сполука є термічно нестабільною і за температури 120 °С розкладається.

1. Маса осаду первинного екстракту об'ємом 20 мл – 0,2916 г. Осад складається з білків, амінокислот, можливо вуглеводів.

2. Маса осаду відцентрифугованого і відфільтрованого первинного екстракту об'ємом 20 мл + 5 мл 10% ССК – 0,7094 г. Осад складається з амінокислот, ССК, можливо вуглеводів.

3. Маса осаду 10% розчину ССК об'ємом 5 мл – 0,5020 г.

4. Маса осаду відцентрифугованого і відфільтрованого первинного екстракту об'ємом 20 мл + 5 мл оцтової кислоти – 0,2782 г. Осад складається з амінокислот і можливо вуглеводів.

5. Розрахункова маса осаду 10% сульфосаліцилової кислоти $C_7H_6O_6S$ (молекулярна маса 218 г/моль) об'ємом 5 мл – 0,5556 г. У формі дигідрату (молекулярна маса 254 г/моль) – 0,4695 г. Спостерігаються суттєві розбіжності між розрахунковими і експериментальними даними. Для розрахунку візьмемо дані експерименту, оскільки вони отримані разом з іншими даними в однакових умовах.

6. Маса амінокислот і можливо вуглеводів $0,7094 - 0,5020 = 0,2074$ г. Це значення суттєво відрізняється від значення, отриманого в досліді з оцтовою кислотою – 0,2782 г.

7. Маса білків в первинному екстракті $0,2916 - 0,2074 = 0,0842$ г.

Похибка методу обумовлена, в першу чергу, втратою рідини при фільтруванні відцентрифугованих розчинів після осадження білків.

Визначення вмісту азоту (білків і амінокислот) за методом К'ельдаля.

Для проведення аналізу використовували два види розчину. Первинний екстракт, об'ємом 20 мл і розчин, отриманий після фільтрування і центрифугування білків, осаджених в 20 мл первинного екстракту 10% -ю ССК об'ємом 5 мл. Як і у гравіметричному аналізі похибку може вносити втрата вологи на фільтрі. Розчини у колбах К'ельдаля випарювалися у сушильній шафі за температури 105 °С до вологого осаду після чого проводилося їх спалювання і визначення азоту за класичною схемою.

1. Кількість азоту, визначена у першому розчині (первинному екстракті) – 0,027 г. Це азот білків і амінокислот.

2. Кількість азоту, визначена у другому розчині (після фільтрування та фугування) – 0,024 г. Це азот амінокислот.

3. Тобто, маса білкового азоту $0,027 - 0,024 = 0,003$ г. В перерахунку на білок $0,003 \cdot 6,25 = 0,0188$ г. Це значення суттєво відрізняється від результату гравіметричного аналізу – 0,0842 г.

4. Маса амінокислот $0,024 \cdot 7,86 = 0,1884$ г.

Об'єднуючи результати двох аналізів, підсумуємо: осад первинного екстракту, масою 0,2916 г, складається з 0,1884 г амінокислот і 0,003 або 0,0842 г білків. Тобто, містить від 0,0190 до 0,1002 г вуглеводів, що в перерахунку на первинний продукт становить приблизно 1%.

Спектрофотометричний метод. У шість пробірок наливаємо 0,25 мл (№ 1) і 0,5 мл (№ 2) 10% розчину ССК, 1 мл (№ 3) і 2 мл (№ 4) первинного екстракту, 1,25 мл (№ 5) і 2,5 мл (№ 6) відокремленого від білків за допомогою ССК первинного екстракту. Вміст пробірок випарюємо у сушильній шафі до вологого осаду і заливаємо 20 мл хромової суміші. Пробірки нагріваємо протягом однієї години на водяній бані. Після охолодження вміст пробірок переносимо в мірні колби на 50 мл і доводимо до мітки дистильованою водою. Вимірюємо оптичну густину розчинів на спектрофотометрі при довжині хвилі 590 нм у кюветах на 2 мл. Виміряна оптична густина складала:

№ 1 – 0,384; № 3 – 0,130; № 5 – 0,434;

№ 2 – 0,727; № 4 – 0,272; № 6 – 0,842

Різниця: № 3 – (№ 1 – № 5) = $0,130 - (0,434 - 0,384) = 0,08$

№ 4 – (№ 2 – № 6) = $0,272 - (0,842 - 0,727) = 0,157$

– характеризує вміст білка у зразку і може бути визначена за побудованим

калібрувальним графіком. Нажаль, оптична густина зразків 3 і 4 невелика, що не сприяє точному визначенню, а більші об'єми розчинів взяти неможливо через велику відновлювальну здатність ССК.

Метод слід визнати не перспективним.

Для якісного встановлення наявності амінокислот був використаний метод забарвлення зразку розчином нінгідрину. Цей метод може бути адаптований і для кількісного визначення амінокислот. У мірну колбу на 100 мл наливали 2 мл первинного екстракту і 1 мл розчину нінгідрину. Колба витримувалась на киплячий водяній бані протягом 15 хвилин. Охолоджувалась до кімнатної температури і доводилась водою до мітки. Вимірювання проводили у кюветах на 1 мл при довжині хвилі 570 нм. Для порівняння використовували розчин аміаку, який готували наступним чином. 25% розчин аміаку розводили дистильованою водою в 250 разів. Концентрацію азоту в отриманому розчині встановлювали титруванням 0,1 н соляною кислотою 25 мл 4% розчину борної кислоти з спиртовою сумішшю метилового червоного і бромкрезолового зеленого в якості індикатора. Вона становила 0,7 мг/мл. 2 мл розчину аміаку і 1 мл розчину нінгідрину за аналогічною схемою готували у 100 мл колбі. Оптична густина розчину порівняння становила 0,116, а досліджуваного розчину – 0,246. Розрахунок дав концентрацію азоту 1,48 мг/мл, що більше за результати, отримані за методом К'ельдаля (1,2 мг/л).

Це може бути пов'язано з реакцією азоту білка, що разом з амінокислотами міститься у первинному екстракті.

Метод заміни розчинника. У розчин, з якого видалені білки, додається трьохкратний об'єм спирту. ССК і амінокислоти розчиняються в спирті, а вуглеводи випадають в осад. Підтвердження наявності амінокислот в розчині встановлюють за реакцією з нінгідрином. Осад відфільтровується, просушується і зважується. Тип вуглеводу встановлюють методом рідинної хроматографії після гідролізу, або у випадку карагенану – методом ІЧ-спектроскопії.

Висновки. В результаті проведеного дослідження на конкретному прикладі окреслені можливі шляхи встановлення кількісного і якісного складу вуглеводів у харчових композиціях. Обрані найбільш перспективні методи, які потребують методологічного доопрацювання і отримання статистично достовірних даних. Отримані результати свідчать про можливість прямого визначення вмісту вуглеводів в харчових композиціях, без застосування методу «різниці» (розрахункового).

Бібліографія

1. Levin R. J. Carbohydrates. In Modern Nutrition in Health and Disease (9th ed.). Baltimore: *Lippincott Williams and Wilkins*. 1999. P. 1951 <https://fr.scribd.com/doc/221145295/27915730-Modern-nutrition-in-Health-and-Disease-9th-ed-pdf>.
2. Cummings J., Stephen A. Carbohydrate terminology and classification. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2007. 61. (Suppl 1), S5–S18. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602936>.
3. Abbas K., Khalil Saharю, Meor Hussin, Anis Shobirin. Modified Starches and Their Usages in Selected Food Products: A Review Study. *Journal of Agricultural Science*. 2010. V. 2, N. 2. <https://doi.org/10.5539/jas.v2n2p90>.
4. Garcia A. V. T., Garcia C. F., Faraco A. A. G. Pharmaceutical and Biomedical Applications of Native and Modified Starch: A Review. *Starch – Stärke*. 2020, V. 72, 1900270. <https://doi.org/10.1002/star.201900270>.
5. Compart J, Singh A, Fettke J, Apriyanto A. Customizing Starch Properties: A Review of Starch Modifications and Their Applications. *Polymers (Basel)*. 2023, V. 15(16), p. 3491. <https://doi.org/10.3390/polym15163491>.
6. Justin L Carlson, Jennifer M Erickson, Beate B Lloyd, Joanne L Slavin, Health Effects and Sources of Prebiotic Dietary Fiber, Current Developments in Nutrition, 2018, V. 2, Is. 3, <https://doi.org/10.1093/cdn/nzy005>.
7. Fu Kai, Wang Hao, Pan Tiange, Cai Zhixiang, Yang Zhengcang, Liu Donghong, Wang Wenjun. Gel-forming polysaccharides of traditional gel-like foods: Sources, structure, gelling mechanism, and advanced

applications. *Food Research International*. 2024, V. 198, 115329. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115329>.

8. Rinaudo Marguerite. Gelation of Polysaccharides. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 1993. V. 4. P. 210-215. <https://doi.org/10.1177/1045389X9300400210>.

9. Chapter 2: Methods of food analysis. <https://www.fao.org/4/y5022e/y5022e03.htm> (20.06.2026).

10. Necas Jiri, Bartosikova L. Carrageenan: a review. *Veterinární medicína*. 2013. V. 58. P. 187-205. <https://doi.org/10.17221/6758-VETMED>.

References

1. Levin, R. J. (1999). Carbohydrates. In *Modern Nutrition in Health and Disease* (9th ed.). Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins. P. 1951. <https://fr.scribd.com/doc/221145295/27915730-Modern-nutrition-in-Health-and-Disease-9th-ed-pdf>

2. Stephen, A., & Cummings, J. (2007). Carbohydrate terminology and classification. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(S1), S5-S18. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602936>.

3. Abbas, K., Khalil, Sahar & Meor Hussin, Anis Shobirin. (2010). Modified Starches and Their Usages in Selected Food Products: A Review Study. *Journal of Agricultural Science*. V. 2, N. 2. <https://doi.org/10.5539/jas.v2n2p90>.

4. Garcia, A. V. T., Garcia, C. F., Faraco, A. A. G. (2020) Pharmaceutical and Biomedical Applications of Native and Modified Starch: A Review. *Starch – Stärke*, V. 72, 1900270. <https://doi.org/10.1002/star.201900270>.

5. Compart, J., Singh, A., Fettke, J., Apriyanto, A. (2023) Customizing Starch Properties: A Review of Starch Modifications and Their Applications. *Polymers (Basel)*. V. 15(16), p. 3491. <https://doi.org/10.3390/polym15163491>.

6. Justin L Carlson, Jennifer M Erickson, Beate B Lloyd, Joanne L Slavin (2018). Health Effects and Sources of Prebiotic Dietary Fiber, *Current Developments in Nutrition*, V. 2, Is. 3, <https://doi.org/10.1093/cdn/nzy005>.

7. Fu, Kai., Wang, Hao., Pan, Tiange., Cai, Zhixiang., Yang, Zhengcang., Liu, Donghong., Wang, Wenjun. (2024). Gel-forming polysaccharides of traditional gel-like foods: Sources, structure, gelling mechanism, and advanced applications. *Food Research International*. V. 198. 115329. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115329>.

8. Rinaudo, Marguerite. (1993). Gelation of Polysaccharides. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. V. 4, P. 210-215. <https://doi.org/10.1177/1045389X9300400210>

9. Chapter 2: Methods of food analysis. <https://www.fao.org/4/y5022e/y5022e03.htm> (20.06.2026).

10. Necas, Jiri., Bartosikova, L. (2013). Carrageenan: a review. *Veterinární medicína*. V. 58. P. 187-205. <https://doi.org/10.17221/6758-VETMED>.