



UDC 664.38.069.852-911.48:544.773.432:001.891

**RESEARCH OF FACTORS INFLUENCED ON FOAM FORMATION OF PROTEIN HYDROCOLLOIDS**Ljubov M. Telezhenko<sup>1</sup>, Nadiia A. Dzyuba<sup>1</sup>, Mariia I. Oliinyk<sup>1\*</sup>, Viktoriia M. Sheludko<sup>2</sup><sup>1</sup>*Odessa National University of Technology, 112, Kanatna str., Odesa, 65039, Ukraine,*<sup>2</sup>*Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody str. Poltava, 36003, Ukraine**Received 25 September 2023; accepted 2 April 2023; available online 25 April 2024***Abstract**

The purpose of the study was to select proteins for a complex supplement that is included in the recipe of whipped mousse-type desserts: collagen hydrolyzate and gelatin (type A), whose isoelectric point is in the range of pH = 6.5–8.5, in contrast to the isoelectric point of gelatin (type B), which is closer to the pH of the whipped product (mousse) (pH = 4.8–5.2), and has a higher probability of turbidity or sedimentation. The use of fish collagen hydrolyzate separately or in combination with other proteins to form the foam structure of whipped desserts was investigated. The optimal concentration of structure formers was chosen by determining the foaming ability and foam stability of protein hydrocolloids, as well as their ratio in the complex was selected for introduction into the production technology of whipped mousse-type desserts. The foaming ability and foam stability of gelatin (type A) and collagen hydrolyzate were also investigated in comparison with dry egg white. Collagen hydrolyzate is deficient in arginine and cysteine compared to dry egg white. The high content of oxyproline and oxylysine – 15.42 % – indicates a significant content of collagen in fish raw materials. The surface tension of solutions of protein hydrocolloids in an aqueous environment and in cream with a fat content of 33 % was investigated. The presented results of studies of the foaming ability and foam stability of proteins show the influence of various factors: temperature and pH of the solution on achieving the desired result, i.e. for obtaining a complex of protein hydrocolloids at a concentration of 1.0% and with an optimal ratio of protein components of hydrolyzate collagen and gelatin (type A) 80 : 20.

*Keywords:* whipped desserts; foam structure; surfactants; biologically active additive; hydrolyzate collagen; gelatin.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ПІНОУТВОРЕННЯ БІЛКОВИХ ГІДРОКОЛОЇДІВ**Любов М. Тележенко<sup>1</sup>, Надія А. Дзюба<sup>1</sup>, Марія І. Олійник<sup>1</sup>, Вікторія М. Шелудько<sup>2</sup><sup>1</sup>*Одеський національний технологічний університет, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна*<sup>2</sup>*Полтавський державний аграрний університет, вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, Україна***Анотація**

Метою дослідження був підбір білків для комплексної добавки, що входить до рецептурного складу збитих десертів типу мус: гідролізат колагену та желатин (тип А), чия ізоелектрична точка знаходиться в межах pH = 6.5–8.5, на відміну від ізоелектрична точка желатину (тип Б), яка ближча до pH збитого продукту (мусу) (pH = 4.8–5.2), і має більшу ймовірність помутніння або осадження. Досліджено застосування рибного гідролізату колагену окремо або сумісно з іншими білками для формування піної структури збитих десертів. Було обрано оптимальну концентрацію структуроутворювачів шляхом визначення піноутворюючої здатності та стійкості піни білкових гідроколоїдів, а також підбрано їх співвідношення в комплексі для уведення в технології виробництва збитих десертів типу мус. Також було досліджено піноутворюючу здатність та стійкість піни желатину (тип А) та гідролізату колагену у порівнянні з сухим білком яйця. Гідролізат колагену має дефіцит аргініну та цистеїну порівняно з сухим яєчним білком. Великий вміст оксипроліну та оксилізіну – 15.42 % – вказує на значний вміст колагену в рибній сировині. Було досліджено поверхневий натяг розчинів білкових гідроколоїдів у водному середовищі та у вершках жирністю 33 %. Наведені результати досліджень піноутворюючої здатності та стійкості піни білків показують вплив різних факторів: температури та pH розчину на досягнення бажаного результату, тобто для отримання комплексу білкових гідроколоїдів за концентрації 1.0 % та з оптимальним співвідношенням білкових компонентів гідролізату колагену та желатину (тип А) 80 : 20.

*Ключові слова:* збиті десерти; пінна структура; поверхнево-активні речовини; біологічно-активна добавка; гідролізат колагену; желатин.

\*Corresponding author: e-mail: [maryoleynik97@gmail.com](mailto:maryoleynik97@gmail.com)

© 2024 Oles Honchar Dnipro National University;

doi: 10.15421/jchemtech.v32i1.288023

## Вступ

На сучасному етапі розвитку харчової промисловості та закладів ресторанного господарства (ЗРГ) актуальним є удосконалення якості широкого асортименту продукції, в тому числі збитих десертів. Муси, самбуки, вершки та інша збита продукція являють собою неоднорідні системи, що поєднують рідку та газову фази. Від рівномірності розподілення бульбашок та стійкості піни (СП) значною мірою залежить формування сенсорного профілю продуктів. Одним із напрямів розвитку харчової індустрії також є забезпечення макро- та мікронутрієнтного балансу кулінарних продуктів.

Поєднання таких складових, як висока органолептична оцінка, збалансованість хімічного складу, формування пінної структури, обумовлює необхідність ретельного дослідження компонентного складу сировини та поверхнево-активних речовин (ПАР) у їх взаємодії в процесі піноутворення. Оскільки неоднорідна система є нестійкою, в збитих десертах з часом відбувається коалесценція, що супроводжується укрупненням бульбашок повітря. Такі неоднорідні системи характеризуються концентрацією дисперсної фази та розмірами її частинок. Формування дисперсної фази у процесі технологічної переробки залежить від ряду факторів, які необхідно враховувати для отримання стабільної пінної структури. До речовин, які використовують у якості стабілізаторів пін, відносять ПАР, серед яких найбільш поширеними є желатин, казеїн, яєчний білок, агар, тощо.

Аналіз існуючих ПАР показав суттєву піноутворюючу здатність (ПУЗ) білків. Останнім часом почали використовувати такий структуроутворювач, як гідролізат колагену (ГК), оскільки він є гіпоалергенним і на 96 % ідентичним колагену людини, а також має імуностимулюючу, гепатотропну дію та виражений остеотропний ефект. Досліджено застосування білків тваринного походження окремо або сумісно з іншими білками, у тому числі рослинного походження, для формування пінної структури збитих десертів типу мус [1–5]. Тому актуальним є виробництво якісної солодкої продукції у ЗРГ, у тому числі збитої продукції.

Серед структур та структуроутворюючих одиниць харчових продуктів велику роль

відіграють емульсії. Відомо, що вони надають харчовим продуктам бажані смакові характеристики, але, крім того, є ключовими інгредієнтами у структуроутворенні деяких продуктів, таких як збиті начинки і морозиво, і більш складних продуктів, на кшталт плавлених сирів, збитих десертів. Одним із поширених збитих десертів є мус, який представляє собою збиту драглисту страву та є емульсією типу Ж/В (жир у воді), що має пінну структуру. Мус – складна система, що складається з желюючої фази (додає текстуру і тіло, уникаючи виділення сироватки, стабілізує піну), бульбашки повітря (забезпечують аерацію), жирові глобули (вершковість, потреба в емульгаторах) [6–11].

Тому актуальним є дослідження ПУЗ та СП емульсій за наявності білкових гідроколідів та розчинів білкових гідроколідів, у тому числі ГК, желатину (тип А та тип Б) та отримання комплексної добавки (желатин+ГК).

*Літературний огляд.* Впровадження нових технологій, заснованих на використанні функціональних інгредієнтів природного походження, дає змогу задовольнити потреби організму людини у фізіологічно-функціональних інгредієнтах, розширити асортимент страв та підвищити їх товарну цінність. Над підвищенням товарної цінності збитої продукції працювали українські та закордонні вчені, такі як: Перцевий Ф. В., Бадрук В. В., Никифоров Р. П., Польовик В. В., Wang X., Surh J. та ін. [12–18].

Вченим Перцевим Ф. В. було розглянуто піноутворюючі властивості желатину у виробництві збитих десертів, тобто продуктів, що мають структуру зі стабілізованими бульбашками повітря. Більшість таких продуктів виготовлено на основі молочних компонентів та/або їх аналогів. Крім білкових ПАР розглянуто [12] також композицію білково-вуглеводних напівфабрикатів, на основі яких розроблено технологію виробництва збитої десертної продукції. Муси, вершки чи морозиво є збитими емульсіями, які відносять до емульсії прямого типу Ж/В, в яких желатин обволікає бульбашки повітря, стабілізуючи структуру мусу [13].

Також була проаналізована піноподібна структура, або піна, що є дисперсною системою, яка складається з бульбашок повітря у прошарках рідини. Примусове включення повітря у рідину призводить до утворення піни. Рівномірному розподілу

бульбашок сприяє наявності ПАР, що покращує реологічні властивості збитого продукту [14].

У роботі [15] показано, що рибний желатин може мати певне обмежене застосування як єдиний протейновий емульгатор в емульсіях Ж/В, однак хороша стабільність крему, що спостерігається в емульсіях з рибним желатином, свідчить про те, що гідроколоїд може сприяти покращенню стабільності емульсії, коли використовується у поєднанні з поверхнево-активними емульгаторами.

Багато інших білків мають меншу поверхневу активність, ніж білки молока (наприклад, ізоляти сої) можливо, тому, що вони існують у вигляді олігомерних одиниць, пов'язаних дисульфідними зв'язками, а не у вигляді окремих молекул. Емульсії, стабілізовані білком, особливо чутливі до рН і мають тенденцію до флокуляції за значень рН, близьких до ІЕТ адсорбованих білків, а міжфазові мембрани, утворені білками, зазвичай відносно тонкі та електрично заряджені. Отже, основний механізм запобігання утворенню крапель – флокуляція в емульсіях, стабілізованих білком, є електростатичне відштовхування, а не стеричне відштовхування. Тому рН = 3.0 було обрано для приготування стабілізованих емульсій із рибного желатину, оскільки такий рН досить далекий від ІЕТ рибного желатину, а абсолютний електричний заряд розчину рибного желатину був найвищим за рН = 3.0 [15].

Багато дослідників оцінювали вплив молекулярної маси на емульсійні властивості білкових гідролізатів. Виявилось, що емульсії на основі риб'ячого желатину з низькою молекулярною масою (~55 кДа) є більш стабільними, ніж емульсії на основі риб'ячого желатину з високою молекулярною масою (~120 кДа) [16].

Піноподібні вироби з йогурту та сиру, муси, пудинги зі збитими вершками та інші повітряні десерти останнім часом набули величезної популярності. Для харчових пін цього типу переважно використовують желатин (тип А), що характеризується числом bloom (сила гелю) від високого до дуже високого. У порівнянні з желатином (тип Б), продукти, що містять у своєму складі желатин (тип А) – це менш еластичні продукти, що дозволяє отримати бажану структуру, характерну для певного виду продукту. Також структура піни стає більш стабільною,

оскільки утворюються дрібніші бульбашки повітря та знижується концентрація желатину у продуктах приблизно на 8.0 % (твердість і сенсорні характеристики); спостерігається краща стійкість до високих температур [6].

Важливим фактором, що визначає можливість гелеутворення желатину, є температура, оскільки поліпептидні ланцюги желатину за температури нижче 40 °C виявляють тенденцію до часткового відновлення колагеноподібних спіралей, що виконують роль вузлів просторової сітки гелю. А підвищення температури може привести до втрати цих властивостей. Так, желатин не можна доводити до температури кипіння, бо він втрачає свої гелеутворюючі властивості. В роботі [16] було досліджено динамічну в'язкість зразків досліджуваних гелів, отриманих із застосуванням желатину, які показали незначні зміни у всьому досліджуваному інтервалі температур. Виготовляючи гель із застосуванням желатину недоцільно нагрівати розчин до кипіння. Достатньо підігріти до повного розчинення желатину, близько 50–60 °C.

У процесі збивання кондитерських виробів низької щільності взаємодія таких стабілізаторів як яєчний білок або желатин з жировою фазою може викликати суттєве зниження пористості харчової системи. У водній фазі частинки жиру утворюють тривимірну сітчасту структуру, що сполучає різні бульбашки і сприяє зниженню рухливості бульбашок і, отже, механічно стабілізує збитий продукт. Вченими [17] було показано, що заморожені десерти з використанням стабілізатора (желатину) після розморожування характеризуються нестабільною повітряною фазою. Заморожування десертів із охолодженого стану призводить до формування великих кристалів льоду. Вирішення проблеми збереження стабільності повітряної фази в десертах після розморожування можливе за додаткового використання у складі стабілізаційних систем ефективних емульгаторів-піноутворювачів білкового походження.

У роботі [18], за нижчих концентрацій, тобто 0.5 %, желатин не забезпечував достатнього захисту повітряних пухирців, як наслідок – коалесценція у емульсії Ж/В, що призвело до розподілу по всьому об'єму емульсії повітряних пухирців середнього розміру. Тому актуальним є вивчення

піноутворюючих та емульгуюючих властивостей желатину окремо та у поєднанні з іншими білковими гідроколоїдами (наприклад, ГК).

*Мета та задачі дослідження.* Метою роботи є визначення властивостей білкових гідроколоїдів, таких як желатина (тип А та тип Б) та ГК, і впливу різних факторів на підвищення рівня ПУЗ комплексу білків та рекомендованих композицій у виробництві збитих десертів.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- дослідити ПУЗ та СП білкових піноутворювачів та поверхневий натяг білкових розчинів;

- розробити комбінацію білкових піноутворювачів для технології виробництва збитих десертів типу мус.

Проаналізувавши дані науково-технічної літератури та сформулювавши основні завдання. Об'єктами досліджень було обрано білкову сировину тваринного походження для отримання комплексної добавки для виробництва збитих десертів типу мус.

### Матеріали та методи досліджень

Для проведення дослідження використовували наступну білкову сировину (комплексна добавка): желатин (тип А) Gelita porcine Gelatin (220 bloom 100 mesh), желатин (тип Б) Gelita Gelatin (220 bloom 50 mesh), ГК (рибний), розроблений за методикою згідно з патентом України на корисну модель № 79357. Використовували наступне устаткування: міксер Zelmer, (компанія BSH Hausgeraete GmbH, Польща); електричні ваги (Rotex RSK 10-P, Китай).

Як фактор впливу було обрано такий технологічний параметр, як температурний режим.

Визначали коефіцієнт поверхневого натягу білкових розчинів у водному середовищі та вершках за методом відриву кільця. Для проведення дослідження використовували обладнання: штатив, на якому закріплена пружина з металевим кільцем; штангенциркуль, скляна посудина з водою, набір важків. Розраховували коефіцієнт поверхневого натягу за формулою:

$$\sigma = \frac{Ng}{\pi d}, \text{ Н/м}, \quad (1)$$

Визначали ПУЗ та СП білкових гідроколоїдів за методикою: наважку білку 6 г розчиняють у 25 см<sup>3</sup> дистильованої води,

ретельно перемішуючи до однорідної суспензії, переносять у скляні циліндри на 500 або 1000 см<sup>3</sup> з наклеєною стрічкою міліметрового паперу, ретельно змиваючи залишки білку, і доводять об'єм рідини у циліндрі до 300 см<sup>3</sup>. Циліндри з розчином білку закривають пробками і у горизонтальному положенні струшують протягом 1 хв. з частотою 60 рухів за хвилину.

ПУЗ розраховують за формулою:

$$П = \frac{В_p}{В_{п.с.}} * 100\%, \quad (2)$$

де П – ПУЗ білка, %;

В<sub>п</sub> – висота піни над рівнем рідини, см<sup>3</sup>;

В<sub>р</sub> – висота розчину білка до утворення піни, см<sup>3</sup>.

СП оцінювали по висоті піни після (1...2)×30<sup>2</sup> сек з нахождением циліндрів у спокійному стані і розраховували за формулою:

$$С = \frac{В_{п.с.} * 100\%}{В_{п.с.}}, \quad (3)$$

де С – СП, %;

В<sub>п</sub> – вихідна висота піни, мм;

В<sub>п.с.</sub> – висота піни після витримки протягом (1...2)×30<sup>2</sup> (сек), мм.

Досліджували ПУЗ та СП білкових піноутворювачів за наступних параметрів: температура розчину в процесі збивання дорівнює (20–22) °С, температура розчинення желатину t = 38 °С, температура теплової обробки ГК – 95 °С, швидкість обертів 6–9 с<sup>-1</sup>, водночас контролювали рН розчину (активну кислотність) за допомогою рН-метра (рН-150 МИ).

Статистичну обробку даних здійснювали методами математичної статистики [19]. Значення показника достовірності знаходили за таблицею Стьюдента за довірчій вірогідності P ≥ 0.95 і ступеню свободи f = n–1. Допустимою величиною відносної помилки вважали її значення, що не перевищує 5.0 %. Результати експериментів було оброблено за допомогою програмного пакету фірми MathSoft Inc. (USA), Mathcad 2000 Professional.

Підготовка піноутворювачів для проведення досліджень на ПУЗ та СП проводилась наступним чином. Набухання окремо желатину та окремо ГК у водному розчині за t = (20–22) °С протягом 1 год. Розчин желатину нагрівають до t = 38 °С, який повністю розчиняється за 5...7 хв.; ГК нагрівають до t = 95 °С, теплову обробку

здійснюють протягом 13...15 хв. Охолодження розчинів гідроколоїдів – до температури  $t = (20-22 \text{ }^\circ\text{C})$  та  $t = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ , як описано у роботі, де тестування рибного желатину проводили до  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  [20]. ГК не розчиняється, оскільки до його складу входить кальцій-фосфорний каркас (вміст білку 67.0...72.0 %). Згідно з дослідженнями [21] видно, що ГК, який використовується в даному дослідженні, має ряд технологічних властивостей, в тому числі і ПУЗ. У ході проведення дослідження впливу технологічних параметрів на утворення збитої структури харчової системи є цікавим порівняння структур, утворених за допомогою ГК та гідроколоїдів, що широко використовуються у виробництві збитих харчових систем. Враховуючи, що продукти харчування повинні мати високотехнологічні властивості, необхідним є визначення функціональних властивостей гідроколоїдів та готових страв, які виготовлені з їх уведенням.

Білкові компоненти комплексної добавки мають порошкоподібну структуру/

консистенцію, відповідно, вміст сухих речовин у желатині (тип А) Gelita Gelatin (220 bloom 100 mesh) та желатині (тип Б) Gelita Gelatin (220 bloom 50 mesh) – 84.0 % (ТУ У 24.6-00418030-002:2007 Желатин. Технічні умови), ГК – 85.0 %; сухий яєчний білок – 90.0 % (ДСТУ 8719:2017 Продукти яєчні. Технічні умови).

Нам було цікаво порівняти амінокислотний склад сухого яєчного білку з широко використовуваними білками (желатин, ГК), які ми використовували для досліджень, тобто розглядали також й біологічну цінність білкових гідроколоїдів. Амінокислотний склад білкових гідроколоїдів визначали на іонообмінному рідинному хроматографі Hitachi 835 (Японія) після гідролізу попередньо знежиреного зразка в присутності 6 н HCl і за температурі  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  в запаяних ампулах впродовж 24 год за гідромодуля (ГМ) 200 методом іонообмінної рідинної хроматографії [22].

Амінокислотний склад досліджених білкових гідроколоїдів наведений у табл. 1.

Таблиця 1

Амінокислотний склад білкових гідроколоїдів за сухим залишком у 100 гр продукту

Table 1

## Amino acid composition of protein hydrocolloids by dry residue in 100 g of product

| Незамінні амінокислоти | Вміст амінокислот (гр/100 гр) у желатині (тип А) Gelita Gelatin (220 bloom 100 mesh) | Вміст амінокислот (гр/100 гр) у сухому яєчному білку | Вміст амінокислот (гр/100 гр) у ГК (рибному) |
|------------------------|--|--|--|
| Аргінін                | 7.18   | 2.79   | 4.55   |
| Валін                  | 1.93   | 3.33   | 2.02   |
| Гістидін               | 1.19   | 1.13   | 0.42   |
| Ізолейцин              | 1.23   | 2.84   | 1.36   |
| Лейцин                 | 2.64   | 4.14   | 2.66   |
| Лізін                  | 4.09   | 3.06   | 2.60   |
| Метіонін               | 0.16   | 1.85   | 0.42   |
| Метіонін+Цистеїн       | 0.16   | 3.11   | 0.47   |
| Треонін                | 1.41   | 2.16   | 1.87   |
| Триптофан              | 0.00   | 0.77   | 0.00   |
| Фенілаланін            | 1.68   | 3.02   | 1.31   |
| Фенілаланін+Тірозін    | 2.00   | 4.82   | 0.67   |
| Замінні амінокислоти   | Вміст амінокислот (гр/100 гр) у желатині (тип А) Gelita Gelatin (220 bloom 100 mesh) | Вміст амінокислот (гр/100 гр) у сухому яєчному білку | Вміст амінокислот (гр/100 гр) у ГК (рибному) |
| Аспарагінова кислота   | 4.47   | 4.55   | 4.90   |
| Аланін                 | 6.93   | 3.11   | 10.93  |
| Гідроксипролін         | 0.00   | 0.00   | 11.82  |
| Гліцин                 | 20.23  | 1.76   | 33.50  |
| Глютамінова кислота    | 9.58   | 6.80   | 7.19   |
| Пролін                 | 14.64  | 1.80   | 11.82  |
| Серін                  | 2.67   | 3.42   | 3.87   |
| Тірозін                | 0.31   | 1.80   | 0.52   |
| Цистеїн                | 0.00   | 1.26   | 0.20   |

Серед замінних амінокислот найбільше в ГК міститься гліцину (33.50 гр / 100 гр), проліну

(11.82 гр / 100 гр), аланіну (10.93 гр / 100 гр). У желатині (тип А) серед замінних

амінокислот найбільше визначено проліну (14.64 гр / 100гр), гліцину (20.23 гр / 100гр); у сухому яєчному білку – глютамінової кислоти (6.80 гр / 100 гр). ГК має більший вміст аргініну порівняно з сухим яєчним білком. Великий вміст оксипроліну та оксилізіну – 15.42 % – вказує на значний вміст колагену в рибній сировині [22]. Лізин і пролін окиснюються до оксипроліну та оксилізіну за наявності атомарного кисню та вітаміну С [22].

### Результати та їх обговорення

Процес емульгації, як і будь-яке дроблення, пов'язане зі збільшенням поверхні поділу фаз, супроводжується поглинанням енергії. Такі системи термодинамічно нестійкі, і в них мимоволі протікають процеси, що ведуть до зменшення вільної енергії та зниження дисперсності системи за рахунок злиття крапель. Зрештою це призводить до розшарування емульсії. Завдяки здатності желатину утворювати гель, в'язкість безперервної водної фази збільшується до рівня, який запобігає відокремленню дисперсної фази (наприклад, бульбашок повітря) – і це основна вимога для виробництва стабільних пін або емульсій. Желатин виконує три функції: піноутворення за рахунок зниження поверхневого натягу водної фази; довготривала стабілізації безперервної рідкої фази піни; надання текстури шляхом забезпечення бажаної еластичності [23].

ПУЗ яєчних білків визначається їх поверхневою активністю та утворенням структурованих поверхневих шарів на межі поділу з повітрям. Коефіцієнт поверхневого натягу яєчного білка загалом у десятки разів менший, ніж у води. Кількісною мірою здатності ПАР знижувати поверхневий натяг розчинника служить поверхнева активність [24–26]. Желатин та ГК мають різне співвідношенням гідрофобних та гідрофільних амінокислотних залишків. У роботі [21] описано гідрофобність та гідрофільність колагенового препарату (ГК), що має більше гідрофобних бічних ланцюгів амінокислот, ніж гідрофільних.

Нами було розраховано коефіцієнти поверхневого натягу ( $\sigma$ ) білкових гідролізатів у водних розчинах та у вершках. Вершки являють собою типову емульсію, в якій молочний жир, що знаходиться у вигляді жирових глобул (дисперсна фаза), диспергована у плазмі (дисперсному середовищі) та стабілізована білками молока та фосфоліпідами. Коефіцієнт  $\sigma$  води становить 0.072 Н/м [26]. Желатин (тип А) у водному розчині та у вершках має коефіцієнт  $\sigma$ , близький до коефіцієнту води – 0.070 Н/м. ГК має  $\sigma$  у водному розчині близький до  $\sigma$  води – 0.068 Н/м, а у вершках – 0.052 Н/м. Отриманні дані свідчать про те, що желатин (тип А) та ГК можуть бути емульгаторами, оскільки мають тенденцію до зниження поверхневого натягу емульсій типу Ж/В. Результати наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Характеристика 1 %-их розчинів піноутворювачів (n=5, P=0,95)

Table 2

#### Characteristics of 1 % foam concentrate solutions (n=5, P=0.95)

| Розчини білкових піноутворювачів**                             | Активна кислотність (pH) | ПУЗ, % | СП, % | Коефіцієнт поверхневого натягу, $\sigma$ (Н/м) |
|--|--------------------------|--------|-------|--|
| Сухий яєчний білок   | 7.9                      | 420*   | 83.5* | 0.0071   |
| Вершки, 33 % жирності  | 6.8                      | 150    | 82    | 0.071  |
| Желатин, отриманий кислотним способом (тип А), водний розчин   | 4.68                     | 335    | 78    | 0.070  |
| Желатин, отриманий лужним способом (тип Б), водний розчин      | 5.8                      | 232    | 74    | 0.075  |
| Желатин, отриманий кислотним способом (тип А), у вершках, 33 % | 4.68                     | 304    | 78    | 0.071  |
| ГК (рибний), водний розчин                                     | 6.15                     | 200    | 83    | 0.068  |
| ГК (рибний), у вершках, 33 %                                   | 6.15                     | 200    | 83    | 0.052  |

\* According to studies on the foaming ability of egg whites in paper [Ошибка! Источник ссылки не найден].

\*\* Концентрація білкових розчинів вказана в назві таблиці, природа білкових піноутворювачів вказана в стовбці 1.

Оскільки білок у своїй ІЕТ здатен до осадження, за використання желатину (тип Б) (рН желатину та збитого десерту у межах 4.8–5.2) у рецептурах збитих десертів, може

статися осадження желатину, тому нами було обрано желатин (тип А), ІЕТ якого знаходиться в межах рН = 6.5–8.5. Обраний тип желатину буде утворювати гель, а також виконувати

роль піноутворювача для збитих десертів типу мус [15].

Наступним етапом дослідження було визначення ПУЗ та СП желатинів, які показали, що желатин (тип Б) має нижчі значення: 232 % та 74 % відповідно, ніж у желатина (тип А): 335 % та 78 %. Таким чином, для подальших досліджень для комбінації білкових піноутворювачів було обрано желатин (тип А)

у поєднанні з ГК. Але спочатку було вивчено ПУЗ та СП кожного піноутворювача окремо. Так, згідно з експериментальними дослідженнями, значення ПУЗ та СП зі збільшенням дозування ГК від 1.5 % і вище значно не змінюється (табл.3), тому норма ГК для забезпечення ПУЗ та СП збитого десерту – 1.0–1.5 %.

Таблиця 3

Дослідження ПУЗ та СП ГК у водному розчині (n=5, P=0,95)

Table 3

Study of the FA and FS of CH in aqueous solution (n=5, P=0.95)

| Назва білкового піноутворювача | ПУЗ, % | СП, % |
|--------------------------------|--------|-------|
| ГК, 0.5%                       | 133    | 85    |
| ГК, 1.0%                       | 200    | 83    |
| ГК, 2.0%                       | 167    | 80    |
| ГК, 3.0%                       | 300    | 80    |
| ГК, 5.0%                       | 250    | 88    |
| ГК, 7.0%                       | 350    | 91    |
| ГК, 25.0%                      | 308    | 100   |

З метою визначення найефективнішого гідроколоїду для утворення збитої структури було визначено ПУЗ та СП гідроколоїдів. Результати досліджень наведені на рис. 1–4.

Желатин (тип А), 1 %; t = (20-22) °C

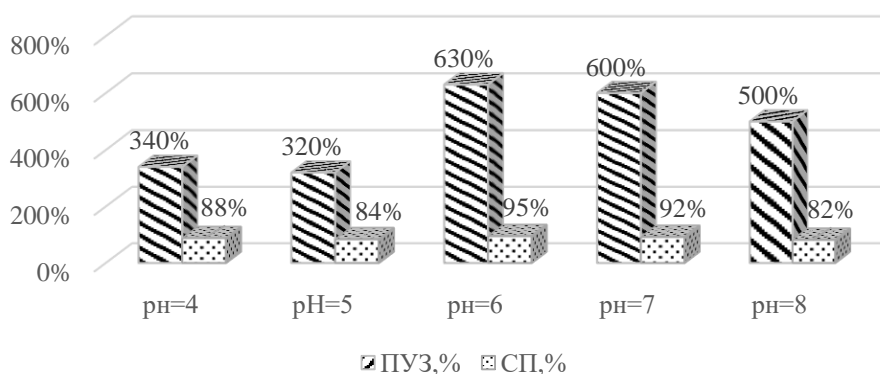


Рис. 1. ПУЗ і СП желатину (тип А) після охолодження до t = (20-22 °C) (n=5, P=0.95)

Fig. 1. FA and FS of type A gelatin after cooling to t = (20-22 °C) (n=5, P=0.95)

Желатин (тип А), 1%; t=35 °C

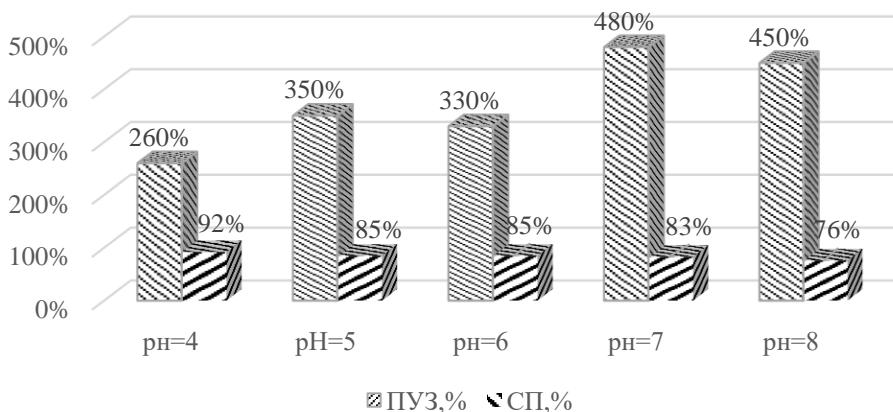
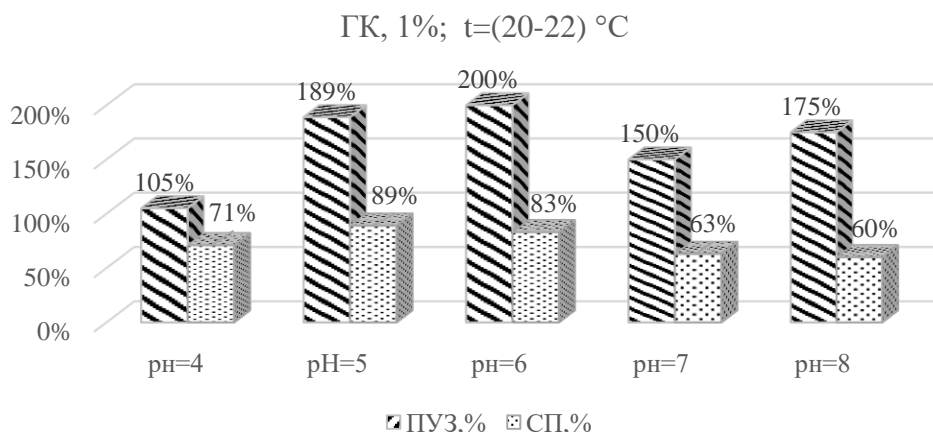
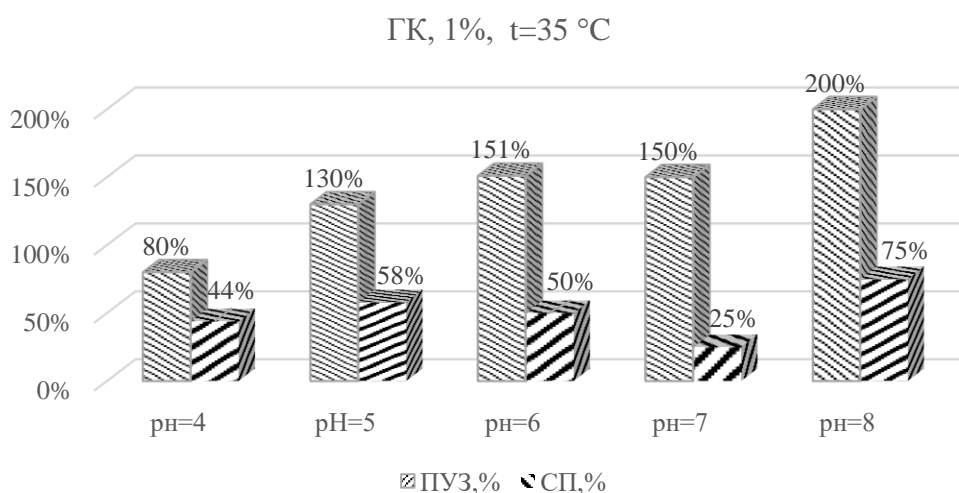


Рис. 2. ПУЗ і СП желатину (тип А) після охолодження до t = 35 °C (n=5, P=0.95)

Fig. 2. FA and FS of type A gelatin after cooling to t = 35 °C (n=5, P=0.95)



**Рис. 3. ПУЗ і СП ГК після охолодження до  $t = (20-22)^\circ\text{C}$  ( $n=5, P=0.95$ )**  
**Fig. 3. FA and FS of CH after cooling to  $t = (20-22)^\circ\text{C}$  ( $n=5, P=0.95$ )**



**Рис. 4. ПУЗ і СП ГК після охолодження до  $t = 35^\circ\text{C}$  ( $n=5, P=0.95$ )**  
**Fig. 4. FA and FS of CH after cooling to  $t = 35^\circ\text{C}$  ( $n=5, P=0.95$ )**

З наведених графіків видно, що за  $t = 35^\circ\text{C}$  стійкість піни зменшується, бо знижується адсорбція піноутворювача на межі фаз і зменшується в'язкість рідини. А також вплив температурної обробки обумовлюється тим, що під дією нагрівання молекули починають рухатися швидше, і розчин розріджується, в'язкість падає, і тому піну створити складніше. І це може привести до злипання кульок жиру у продукті, наприклад, у збитому десерті типу мус – коалесценції. Оскільки мус є емульсією типу Ж/В, то желатин зв'язує воду, обволікає жирові глобули тонкою плівкою і одночасно створюючи каркас, охоплює тонко дисперговані повітряні пухирці. Також ефективним способом руйнування емульсії є нагрівання, що викликає десорбцію молекул неіоногенних стабілізаторів з крапель

емульсії або дегідратацію полярної частини молекули неіоногенної ПАВ [27]. Тому, згідно з отриманими даними щодо ПУЗ та СП, вище  $35^\circ\text{C}$  досліджувати ці параметри желатину (тип А) та ГК не є доцільним.

Далі було проведено дослідження ПУЗ та СП комплексної добавки з концентрацією розчинів 1.0 % та 1.5 % за температури розчинів, охолоджених до  $t = (20-22)^\circ\text{C}$ . Результати наведені у табл.4.

Кількість залишкового желатину (тип А) розраховували наступним чином: для дослідження ПУЗ та СП використовували розчин об'ємом 25 мл ( $\text{cm}^3$ ) з концентрацією желатину (тип А) 1.0 %, а залишок розчину, що не утворив піну, становить 5 мл ( $\text{cm}^3$ ), отже кількість залишкового желатину (тип А) становить 0.2 %.



## Дослідження ПУЗ та СП комплексної добавки у водному розчині (n=5, P=0.95)

Таблиця 4

Table 4

## Study of FA and FS of complex additive in aqueous solution (n=5, P=0.95)

| Комплекси гідроколоїдів          | pH розчинів | ПУЗ, % | СП, % |
|----------------------------------|-------------|--------|-------|
| ГК:Желатин (тип А) (50:50), 1.0% | 5.40        | 375    | 87    |
| ГК:Желатин (тип А) (20:80), 1.0% | 5.38        | 300    | 100   |
| ГК:Желатин (тип А) (80:20), 1.0% | 5.42        | 500    | 100   |
| ГК:Желатин (тип А) (40:60), 1.0% | 5.36        | 340    | 88    |
| ГК:Желатин (тип А) (60:40), 1.0% | 5.35        | 230    | 78    |
| ГК:Желатин (тип А) (50:50), 1.5% | 5.46        | 320    | 94    |
| ГК:Желатин (тип А) (20:80), 1.5% | 5.53        | 193    | 79    |
| ГК:Желатин (тип А) (80:20), 1.5% | 5.68        | 193    | 86    |
| ГК:Желатин (тип А) (40:60), 1.5% | 5.60        | 246    | 89    |
| ГК:Желатин (тип А) (60:40), 1.5% | 5.72        | 200    | 76    |

Найвищі показники ПУЗ та СП спостерігаються у 1.0 %-му розчині комплексу гідроколоїдів (співвідношення ГК та желатину 80 : 20) та становлять 500 % і 100 % відповідно, що пояснюється синергичним ефектом комплексу білків. Оптимальне співвідношення гідроколоїдів було використано у виробництві збитих десертів.

Результати наведені у табл. 5. Згідно з розробленими рецептурами мусів, було обрано комплекс білкових гідроколоїдів у якості піноутворювача. За висновками попередньо проведених досліджень, оптимальною концентрацією комплексу білків є 1.0 %, що еквівалентно добавці 3.0 %, дозування якої наведено у роботі [28].

Таблиця 5

## Рекомендовані комплекси піноутворювачів для збитих десертів типу мус

Table 5

## Recommended foam concentrate complexes for whipped desserts such as mousse

| Назва мусу          | Активна кислотність продукту (pH) | Рекомендовані піноутворювачі |
|---------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Контроль «Ніженка»  | 5.0                               | Желатин                      |
| Вершково-сирний мус | 4.8-5.2                           | Желатин (тип А)+ГК (1.0%)    |

Активну кислотність мусу досягали за рахунок сировини, а саме через уведення до рецептури мусу кисломолочного сиру, чий кислий рН є середовищем, де активується піноутворювач (желатин (тип А) +ГК).

## Висновки

Заради оцінки біологічної цінності нами було наведено порівняльну характеристику амінокислотного складу сухого яєчного білку та досліджувальних білків. Були вивчені властивості піноутворювачів білкового походження, а також їх зміна в залежності від рН розчину та характеру емульсії типу Ж/В. Згідно з результатами досліджень, желатин (тип А) у водному розчині та у вершках має коефіцієнт  $\sigma$ , близький до коефіцієнту води – 0.070 Н/м. ГК у водному розчині має  $\sigma$ , близький до  $\sigma$  води – 0.068 Н/м, а у вершках – 0.052 Н/м. Тому, можна зробити висновок, що

ГК у комплексі з желатином (тип А) може бути емульгатором у емульсії типу Ж/В, а саме для збитого десерту типу мус. Було вивчено ПУЗ та СП піноутворювачів білкового походження окремо, в залежності від температури розчинів, що дало змогу обрати температурний режим для дослідження ПУЗ та СП комплексу гідроколоїдів.

Найвищі показники ПУЗ та СП комплексу гідроколоїдів становлять 500 % та 100 % відповідно за дозування комплексу 1.0 % у співвідношенні ГК та желатину (тип А) 80 : 20, що свідчить про синергичний ефект комплексу білків. Згідно з дослідженнями, дозування комплексу гідроколоїдів (ГК+желатин (тип А)) для забезпечення найвищих значень ПУЗ та СП для збитого десерту типу мус в залежності від рецептурного складу десертів, становить 1.0 %.

## References

- [1] Parseh, S. Mohebbi, M., Mohammadi-Moghaddam, T., Sabbaghi, H. (2022). Optimization of Formulation for Aerated Dessert Containing Whey Protein and Xanthan Gum Concentrate using Response Surface Methodology and Investigation on Rheological and Texture

Properties. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 11(1), 1–16.

<http://dx.doi.org/10.22101/IRIFST.2020.254462.1192>

- [2] Dzyuba, N., Bunyak, E., Telezhenko, I., Oliinyk, M. (2020). Mathematical design of blangange recipes for horeca sphere and determination of their quality indicators. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(3(56)), 6–12. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.219560>.
- [3] Norouzi, S., Pourjafar, H., Ansari, F., Homayouni, A. (2019). Survey on the survival of *Lactobacillus paracasei* in fermented and non-fermented frozen soy dessert. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21, 1–6. <http://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101297>.
- [4] Protte, K., Weiss, J., Hinrichs, J., Knaapila, A. (2019). Thermally stabilised whey protein-pectin complexes modulate the thermodynamic incompatibility in hydrocolloid matrixes: A feasibility-study on sensory and rheological characteristics in dairy desserts. *LWT*, 105, 336–343. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.047>.
- [5] Rubanka, K., Gorodyska, O. (2020). Study of the influence of alkalinized cocoa powder on the structural and mechanical properties of instant mousses. *Scientific collection «InterconF»*, 1(37), 971–976.
- [6] Razi, S.M., Mohebbi, M., Khodaparast, M. H. H., Koocheki, A. (2016). Study of organoleptic and rheological properties of chocolate mousse incorporating sodium caseinate and gelatin. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 12(2), 330–339. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1395i2.30963>.
- [7] Nykyforov, R.P. (2016). [Development of the technology of aerated dessert products based on secondary dairy raw materials]. *Obladnannja ta tekhnologhiji kharchovykh vyrobnyctv*, 34, 5–13. (in Ukrainian).
- [8] Kong, L., Beattie, J.K., Hunter, R.J. (2001). Electroacoustic study of concentrated oil-in-water emulsions. *J. Colloid Interface Sci*, 238, 70–79.
- [9] Poljovyk, V. V., Korecjka, I. L. (2016). [Struktura bilkovygho desertu zalezhytj vid tekhnologhichnykh vlastyvostej recepturnykh komponentiv] *Khlebnyj y kondyterskyj byznes*, 6, 36–38. (in Ukrainian).
- [10] Tan, M. C., Chin, N. L., Yusof, Y. A., Taip, F. S., Abdullah, J. (2015). Characterisation of improved foam aeration and rheological properties of ultrasonically treated whey protein suspension. *International Dairy Journal*, 43, 7–14. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.09.013>.
- [11] Manzoor, M., Singh, J., Bandral, J. D., Gani, A., Shams, R. (2020). Food hydrocolloids: Functional, nutraceutical and novel applications for delivery of bioactive compounds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 554–567. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.182>.
- [12] Nykyforov, R. P., Simakova, O. O., Slashheva, A.B., Nazarenko, I. A., Ghorjajnova, Ju. A., Popova, S. Ju. (2019) [Scientific substantiation of the technology of the latest food products based on protein-carbohydrate dairy and vegetable raw materials: *monograph*]. Kryvyj Righ: DonNUET. (in Ukrainian).
- [13] Kondrashyna, L.A., Bidjuk, D.O., Ghurskyj, P.V., Percevoj, F.V., Bokovec, S.P. (2019). [Study of the influence of technological factors on the foaming properties of gelatin solutions]. *Kharkivskyj derzhavnyj universytet kharchuvannja ta torghivli*, 83–95. (in Ukrainian).
- [14] Wang, X., Yu, S., Wang, J., Yu, J., Arabi, M., Fu, L., Li, B., Li, J., Chen, L. (2020). Fluorescent nanosensor designing via hybrid of carbon dots and postimprinted polymers for the detection of ovalbumin. *Talanta*, 211, 31. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.12072>.
- [15] Surh, J. (2007). Influence of pH, emulsifier concentration, and homogenization condition on the protection of stable oil-in-water emulsion droplets coated with fish gelatin. *Food Sci. Biotechnol*, 16(6), 999–1005.
- [16] Wenqi, C., Linfan, S., Gengxin, H., Jun, C., Wuyin, W. (2011). Effect of molecular weight on the emulsion properties of microfluidized gelatin hydrolysates. *Food Hydrocolloids*, 111, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106267>.
- [17] Duquenne, B. (2016). Stabilising frozen dairy mousses by low molecular weight gelatin peptides. *Food hydrocolloids.*, 60, 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.001>.
- [18] Yang, C., Tsay, S., Chen, B. (2001). Application of gelatin for encapsulating aspirin into ethyl cellulose microcapsule in an o/w emulsion. *Chemical Engineering Communications*, 186(1), 241–255. <https://doi.org/10.1080/00986440108912876>.
- [19] Adashevska, I. Yu. (2019). [Methodical instructions for laboratory classes and independent work. Problems of designing objects in computer systems], Харків : HTY "XPI" (In Ukrainian).
- [20] Boran G., Lawless H. T., Regenstien J. M. (2010). Effects of Extraction Conditions on the Sensory and Instrumental Characteristics of Fish Gelatin Gels. *Journal of Food Science*, 75(9), 469–476. [doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01827.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01827.x)
- [21] Dzyuba, N., Bilenka, I., Palvashova, A., Zemlyakova, E. (2017). Study into collagen hydrolyzate applicability as a structure forming agent. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(11(89)), 10–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110498>.
- [22] Kushnir, N.A. (2014). [Determination of the balance of the amino acid composition of the collagen preparation]. *Progressive equipment and technologies of food production, restaurant industry and trade*, 1(19), 107–116. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pt\\_2015\\_1\\_51](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pt_2015_1_51) (in Ukrainian).
- [23] Stig, E.F., Larrson, K., Sjoblom, J. (2004). *Food Emulsions: Fourth Edition, Revised and Expanded*. Marcel Dekker, Inc.
- [24] Li, X., Li, J., Chang, C., Wang, C., Zhang, M., Su, Y., Yang, Y. (2019). Foaming characterization of fresh egg white proteins as a function of different proportions of egg yolk fractions. *Food Hydrocolloids*, 90, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.014>
- [25] Paljko, N.S., Zimbicjkyj, D. S. (2020). [Modern trends in the creation of functional mayonnaises] *Modern trends in the development of the economy, entrepreneurship, technologies and their legal support*, 227. (in Ukrainian).
- [26] Concetto, G. (2006). Measurement of surface tension by the dripping from a needle. *Physics Education*, 41(5), 440–444. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/41/5/010>.
- [27] Dickinson, E., Lopez, G. (2006). Comparison of the Emulsifying Properties of Fish Gelatin and Commercial. *Milk Proteins Journal of food science*, 66(1), 118–123. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb15592.x>.
- [28] Dzyuba, N., Oliinyk, M., Kalugina, I., Poplavska, S., Bortnykov, Y., Zakharova, S. (2023). Improving the technology of aeration of the food system of mousse at horeca enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 122(11), 74–82. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.275615>.