

Визначення комплексного впливу фізико-хімічних та технологічних параметрів на процес отримання молочно-яєчного копреципітату

Г. В. Дейниченко, І. В. Золотухіна, В. І. Скриннік, Н. В. Федак, С. І. Ткачук, Т. В. Кравченко, К. А. Кравченко, Л. Г. Дейниченко, О. С. Павлюченко, Ю. П. Фурманова

Визначено та проаналізовано комплексний вплив рН середовища та концентрації цукрози або хлориду натрію на процес коагуляції білків яєць у молочному середовищі.

Визначено, що хлористий натрій у малих концентраціях знижує в'язкість колоїдного розчину яєчної маси і підвищує термостійкість яєчних білків на 6...8 градусів. Встановлено, що за зміщення активної кислотності у кислоту сторону температура коагуляції яєчних білків зміщується на 10...12 градусів вище температури коагуляції яєчних білків у нейтральному середовищі. Зміщення рН у сторону нейтральних значень знижує температуру коагуляції і утворення білкового згустку на 5...8 градусів.

Визначено, що сумісне застосування хлористого натрію та рН середовища призводить до прояву синергічного ефекту на термостійкість яєчних білків, при цьому величина температури видимої коагуляції залежить від концентрації яєчної маси в модельних системах. Найбільш раціонально встановлено 15 %-ву концентрацію яєчної маси в системі при вмісті 1,0...1,5 % хлористого натрію та рН системи 4,2...4,3.

Визначено, що введення цукру стабілізує систему, підвищуючи температуру коагуляції яєчних білків, та впливає на сенсорну оцінку однорідності дослідних модельних систем після їх нагріву до 100 °С.

Доведено, що стабілізуючий ефект цукрози при рН 4,8 є більш вираженим у порівнянні з нейтральним середовищем. З підвищенням активної кислотності дослідних модельних систем стабілізуючий ефект комплексного впливу рН середовища та концентрації цукрози на процес коагуляції білків яєчної маси підсилюється.

На базі приведених результатів досліджень найбільш раціональним для отримання молочно-яєчних білкових концентратів був визначений вміст в системі 15...20 % яєчної маси та 20...25 % цукру, що дозволяє проводити пастеризацію суміші при 85...90 °С без розшиарування

Ключові слова: молочно-яєчний концентрат, в'язкість харчової системи, цукроза, натрій хлорид, активна кислотність

1. Вступ

Сьогодні широко відомі механізми, які обумовлюють природну резистентність дитячого організму до інфекцій. Зокрема, безсумнівну захисну роль грає

лізоцим (мурамідаза), який характеризується високою активністю проти грам-позитивної флори [1].

Введення лізоциму до складу молочних продуктів істотно підвищує їх біологічну цінність. Найбільш часто для збагачення нових молочних продуктів дитячого харчування використовують спеціально підібрані ферментні препарати лізоциму, лізоцимні добавки з біфідобактеріями тощо [2]. Більш прийнятним є поєднання молочної сировини з природними джерелами лізоциму, на першому місці серед яких стоїть куряче яйце. Саме тому доцільною може бути спроба отримати молочно-яєчний високобілковий концентрат, з метою його подальшого використання у технологіях дитячої харчової продукції.

Отримати молочно-яєчний білковий концентрат з високими органолептичними, фізико-хімічними та мікробіологічними властивостями можливо шляхом роздільної пастеризації яєць і молочної сировини і спільного комплексного осадження їх білків, використовуючи в якості коагулянту кислу сирну сироватку. При сумісному осадженні білки яєць виступатимуть додатковими центрами коагуляції білків молочної сировини, через свою значну молекулярну масу та достатню кількість гідрофобних груп [3]. До того ж, при тепловій обробці білки яєць денатурують, перетворюючись в гелі, здатні утримувати не тільки всю вологу яєць, а й частково вологу інших рецептурних компонентів.

Важливою особливістю білкових речовин яєць є їх неоднорідність, яка обумовлює досить широкий діапазон температури коагуляції білків [4]. Температура коагуляції яєчних білків (50...95 °C) суттєво відрізняється від температури прихованої коагуляції білків молока, що має як позитивну, так і негативну сторони. Як позитивний фактор можна розглядати те, що більш низька температура коагуляції яєчних білків забезпечує наявність готових центрів коагуляції для доосадження казеїну і сироваткових білків в момент їх дестабілізації. З іншого боку, поява великих часток коагульованих білків яйця задовго до денатурації глобулярних молекул сироваткових білків може стати причиною отримання коагулянту неоднорідної структури, що знизить його якісні характеристики.

Для отримання коагулянту з високими органолептичними показниками слід, по можливості, зблизити температури коагуляції яєчних і молочних білків. Однак, оскільки для мінімальної термостійкості сироваткових білків необхідна температура 92 ± 2 °C [5], то зблизити вищевказані температури можна тільки за рахунок підвищення температури коагуляції білків яйця.

Відомо, що введення в яєчну масу деяких речовин попереджає коагуляцію білків. В якості таких стабілізаторів застосовують кухонну сіль (хлорид натрію) в малих концентраціях і цукор. Кількість цих інгредієнтів коливається в залежності від технологічного призначення сумішей. Так, цукор додають до яєчної маси в кількості від 5 до 50 %, кухонну сіль – до 1,5 %. Іноді практикується додавання зазначених речовин в комбінації. Враховуючи, що отримання молочно-яєчного копреципітату дозволить розширити асортимент продукції дитячого харчування, дослідження впливу хлориду натрію, цукрози і їх композицій з молочною сироваткою на коагуляцію яєчної маси є актуальним завданням сьогодні.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В роботі [6] визначали вплив додецилсульфату натрію на яєчні білки овальбумін, кональбумін та лізоцим. Дослід проводили при нагріванні білкових систем від 25 °С до 90 °С зі швидкістю 1,25 °С/хв. Поведінка під час процесу осадження за умови нагрівання була подібною для всіх трьох білків. Визначено, що при збільшенні концентрації додецилсульфату натрію у системі криві осадження були перенесені у бік нижчих температур, а хід процесу осадження став менш різким.

Визначали вплив тепла на деякі фізико-хімічні властивості білків яйця, застосовуючи різні параметри температури і часу [7]. Отримані результати вказали на еволюцію сигмоїди з негативним нахилом пропускання та незворотну втрату розчинності досліджуваними композиціями. Коагуляція та осадження дослідних білків спостерігались за параметрів 74 °С/20 хв.

Було визначено вплив імпульсних електричних полів (ІЕП) і термічної обробки на агрегацію яєчного білка овомуцину (ОвБЯ) при різних значеннях рН [8]. Визначено, що нагрівання до 60 °С протягом 10 хв спричиняло помітну агрегацію ОвБЯ при рН 5, 7 та 9. При постійній напруженості електричного поля ($E=1,4...1,8$ кВ/см), обробка ІЕП при високому питомому введенні енергії спричиняла деяку агрегацію білка при рН 5 та 7, але не при рН 4 та 9. Також було досліджено комплексний вплив рН, температури та імпульсних електричних полів на засвоюваність яєчного білка *in vitro* при створенні білоквмісних напоїв [9]. Визначено, що для отримання продуктів з високою перетравністю доцільним є використання наступних параметрів: рН 4, напруженість електричного поля 690 кДж/кг, температура 80 °С.

Було проаналізовано вплив різних концентрацій NaCl та значень рН на міжмолекулярні взаємодії та властивості дисперсних систем типу «гель», утворених на основі білків курячого яйця [10]. Результати показали, що міжмолекулярні сили, що беруть участь у формуванні яєчного гелю, можуть регулюватися за допомогою зміни рН та концентрації NaCl у харчових системах.

У роботі [11] досліджували вплив різних значень рН та концентрації солі на розчинність та щільність яєчного білка при кімнатній температурі (25 °С). Дослід проводили для трьох видів солі – NaCl, Na₂SO₄ та (NH₄)₂SO₄. Результати показали збільшення розчинності білків яйця із підвищенням рН для всіх зазначених солей. При зміщенні рН у кислу сторону (3,0) спостерігали підвищення розчинності та збільшення концентрації сольового розчину внаслідок ефекту засолювання. Щільність зростала зі збільшенням концентрації солі.

У роботі [12] було досліджено вплив солей хлориду натрію, сульфату натрію, сульфату амонію та неіонних поверхнево-активних речовин (гліцерин) на теплові властивості білків яйця. Було визначено, що додавання гліцерину мало найбільший вплив на зменшення помутніння та збільшення часу теплової коагуляції та розчинності яєчного білка, а хлорид натрію найменш позитивно впливав на фізико-хімічні властивості яєчного білка при термічній обробці.

Грунтовних досліджень, спрямованих на визначення комплексного впливу хлориду натрію, цукрози та рН на процес коагуляції білків яєць у молочному середовищі, знайдено не було. Тому ця проблема залишається невирішеною.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є визначення комплексного впливу фізико-хімічних та технологічних параметрів на процес коагуляції білків яєць у молочному середовищі. Це дасть можливість отримати молочно-яєчний копреципітат з залученням натуральних інгредієнтів, що, у свою чергу, дозволить розширити асортимент білоковмісної продукції підприємств дитячого харчування.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- дослідити комплексний вплив хлориду натрію та рН на процес термокислотної коагуляції білків яєць у молочному середовищі;
- дослідити комплексний вплив рН середовища та концентрації цукрози на процес термокислотної коагуляції білків яєць.

4. Матеріали та методи дослідження комплексного впливу хлориду натрію, цукрози та рН на процес коагуляції білків яєць

Дослідження комплексного впливу активної кислотності та різних концентрацій цукрози або хлориду натрію на процес коагуляції білків яєць проводили з залученням колоїдних розчинів яєчної маси. Для їх приготування яєчну масу розводили дистильованою водою до заданої концентрації з наступним введенням цукру або кухонної солі і перемішуванням суміші до повного їх розчинення.

Для вивчення впливу рН середовища на температуру видимої коагуляції яєчних білків в модельних системах використовували сирну сироватку, рН якої доводили до необхідного значення 0,1 н розчином HCl та NaOH.

Активну кислотність визначали за допомогою потенціометричного рН-метра рН-340, а також портативного рН-метра «Ультра-Х» з одним комбінованим електродом, що дозволяє вимірювати рН не тільки в біологічних розчинах або витяжках, а й в харчових багатокомпонентних системах [13].

В'язкість колоїдних розчинів визначали ротаційним методом за допомогою ротаційного автоматичного візкозиметра «Реометр DV3T Brookfield» [14].

Розрахунки, оцінювання достовірності експериментальних даних та побудову графіків здійснювали методами математичної статистики за допомогою програми Microsoft Excel.

5. Результати дослідження комплексного впливу хлориду натрію та рН на процес термокислотної коагуляції білків яєць у молочному середовищі

Проведення досліджень впливу концентрації хлористого натрію на процес коагуляції яєчних білків здійснювали шляхом нагріву модельних композицій з наступною фіксацією температури коагуляції за в'язкістю системи. До уваги брали той факт, що прихована коагуляція білкових речовин призводить до збільшення в'язкості харчової системи (η), а після денатурації білків, утворення білкового згустку та його відділення від системи в'язкість різко знижується.

Результати досліджень наведено на рис. 1.

Криві апроксимовано та виражено функціями (y) з зазначенням ступеня достовірності апроксимації (R^2):

$$y(1)=1E-08x^4-3E-06x^3+0,0003x^2-0,0108x+1,0626, R^2=0,8384;$$

$$y(2)=-7E-09x^4+8E-07x^3+2E-08x^2-0,0018x+0,9312, R^2=0,9264;$$

$$y(3)=-1E-08x^4+2E-06x^3-9E-05x^2+0,0016x+0,8902, R^2=0,961;$$

$$y(4)=-6E-09x^4+1E-06x^3-8E-05x^2+0,0018x+0,8781, R^2=0,9666.$$

На наступному етапі вивчали вплив рН середовища на температуру видимої коагуляції яєчних білків в модельних системах, що складались з сирної сироватки та яєчної маси.

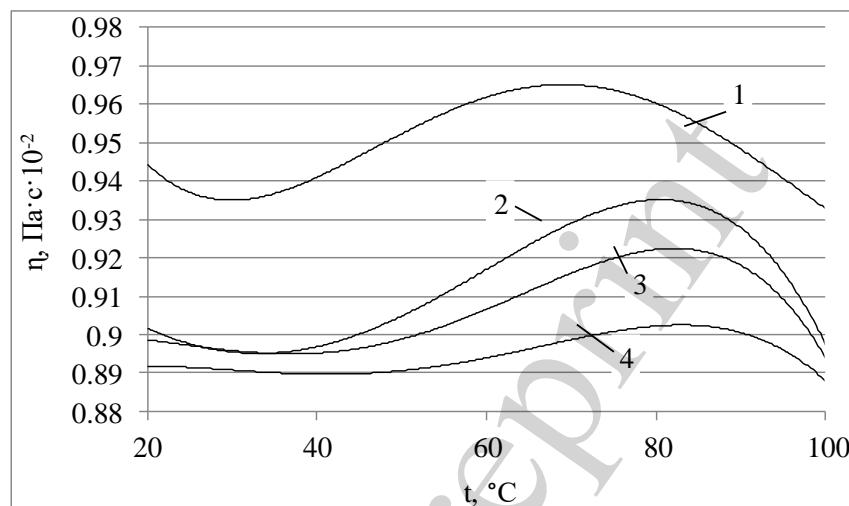


Рис. 1. Зміна в'язкості при нагріванні колоїдного розчину яєчної маси 15 % концентрації при вмісті NaCl: 1 – 0 %, 2 – 0,5 %, 3 – 1 %, 4 – 1,5 %.

Сирна сироватка, яку отримують в молочній промисловості України, має активну кислотність в інтервалі рН 4,4...4,8, залежно від способу виробництва основного продукту – сиру кисломолочного. Крім того, в результаті резервування її активна кислотність може знижуватись до рН 4,2. Тому однією з важливих задач було встановлення ступеня впливу активної кислотності сирної сироватки в діапазоні рН 4,2...4,8 на процес термокоагуляції яєчних білків. Результати досліджень наведено на рис. 2.

Криві апроксимовано та виражено функціями (y) з зазначенням ступеня достовірності апроксимації (R^2):

$$а) y(1)=-8E-09x^4+1E-06x^3-1E-05x^2-0,0014x+0,9663, R^2=0,9459;$$

$$y(2)=-9E-09x^4+2E-06x^3-7E-05x^2+0,0007x+0,9379, R^2=0,9608;$$

$$y(3)=-8E-09x^4+2E-06x^3-0,0001x^2+0,0026x+0,9086, R^2=0,9906;$$

$$б) y(1)=1E-09x^4-1E-06x^3+0,0002x^2-0,0074x+1,0314, R^2=0,8889;$$

$$y(2)=-3E-09x^4-3E-08x^3+6E-05x^2-0,0034x+0,9817, R^2=0,8866;$$

$$y(3) = -6E-09x^4 + 1E-06x^3 - 5E-05x^2 + 0,0008x + 0,9301, R^2 = 0,9422.$$

Далі досліджували комплексний вплив на термостійкість яєчних білків рН середовища і концентрації хлористого натрію в модельних системах з різним вмістом яєчної маси. Результати досліджень представлено на рис. 3.

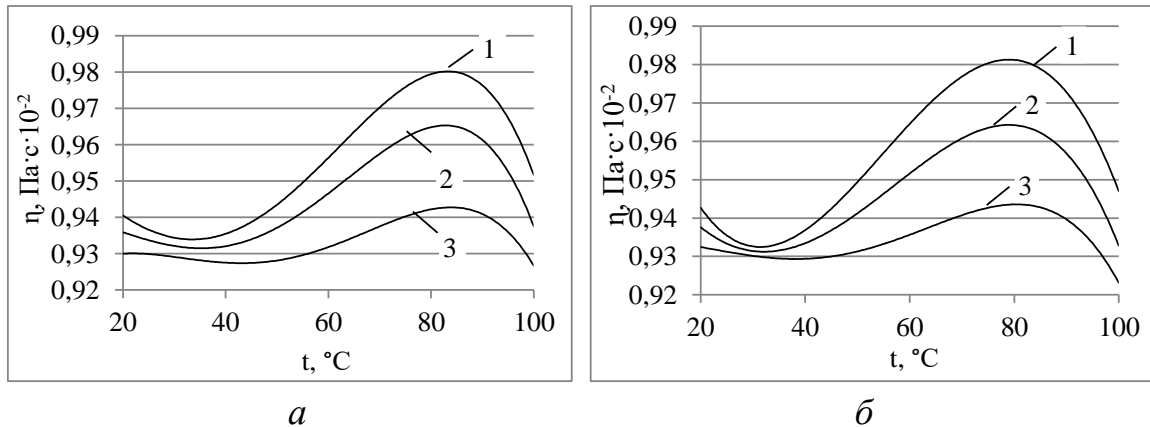
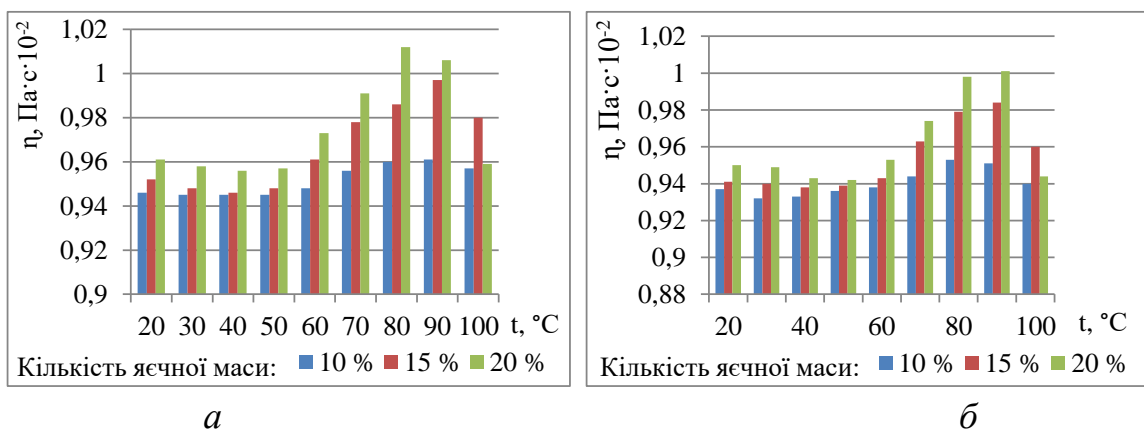


Рис. 2. Зміна в'язкості при нагріванні колоїдного розчину яєчної маси 10 % (3), 15 % (2), 20 % (1) концентрації при рН: *a* – 4,2; *б* – 4,6



в

Рис. 3. Зміна в'язкості при нагріванні модельних композицій з різною концентрацією яєчної маси за рН 4,3 та вмісту NaCl: *a* – 0,5 %; *б* – 1,0 %; *в* – 1,5 %

Ізотермічна зміна в'язкості системи при різних концентраціях хлориду натрію (С) представлена на рис. 4.

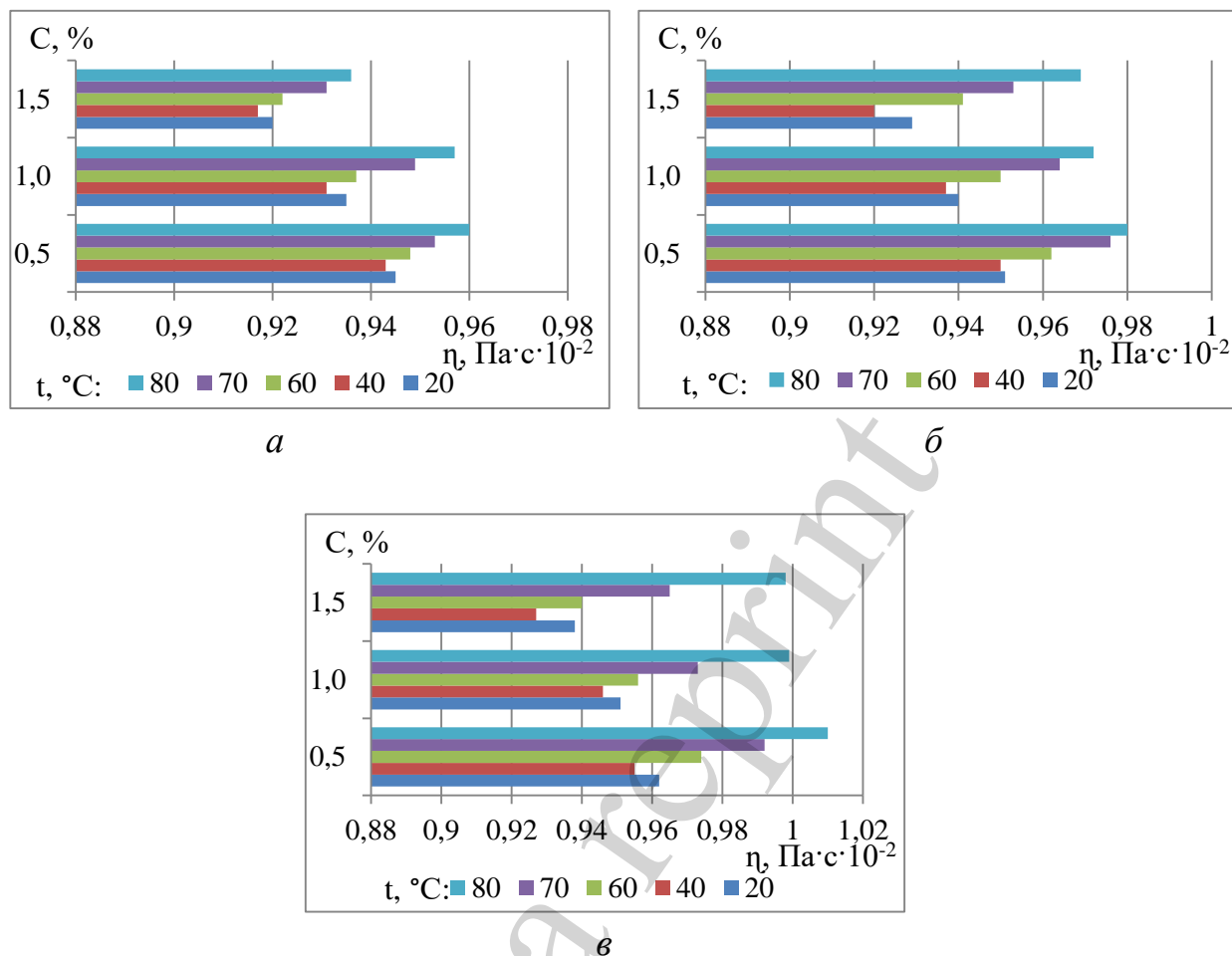


Рис. 4. Ізотермічна зміна в'язкості від концентрації хлориду натрію в сумішах за рН 4,3 та вмісту ячної маси: а – 10 %; б – 15 %; в – 20 %

6. Результати дослідження комплексного впливу рН середовища та концентрації цукрози на процес термокислотної коагуляції білків яєць у молочному середовищі

Дослідження комплексного впливу активної кислотності та різних концентрацій цукрози на процес коагуляції білків яєць проводили аналогічним чином: модельні системи піддавали нагріву, після чого фіксували температури коагуляції за в'язкістю системи. Результати досліджень щодо впливу різних концентрацій цукрози на коагуляцію колоїдних розчинів ячної маси наведено на рис. 5.

Криві апроксимовано та виражено функціями (у) з зазначенням ступеня достовірності апроксимації (R^2):

$$y(1)=4E-09x^4+1E-06x^3+0,0001x^2+0,0049x+1,0109, R^2=0,9927;$$

$$y(2)=1E-09x^4+7E-07x^3+1E-04x^2+0,0041x+0,9959, R^2=0,9885;$$

$$y(3)=1E-10x^4y5E-07x^3+9E-05x^2y0,0041x+0,9893, R^2=0,9817;$$

$$y(4)=-8E-10x^4y4E-07x^3+9E-05x^2y0,0042x+0,987, R^2=0,9749;$$

$$y(5)=-6E-10x^4y7E-07x^3+0,0001x^2y0,0053x+0,9962, R^2=0,9447;$$

$$y(6)=9E-09x^4y3E-06x^3+0,0003x^2y0,0097x+1,0526, R^2=0,8858.$$

Наступною серією дослідів визначали комплексний стабілізуючий вплив на коагуляцію білків яйця цукрози та активної кислотності середовища. Зміну в'язкості дослідних трикомпонентних систем при нагріванні представлено на рис. 6.

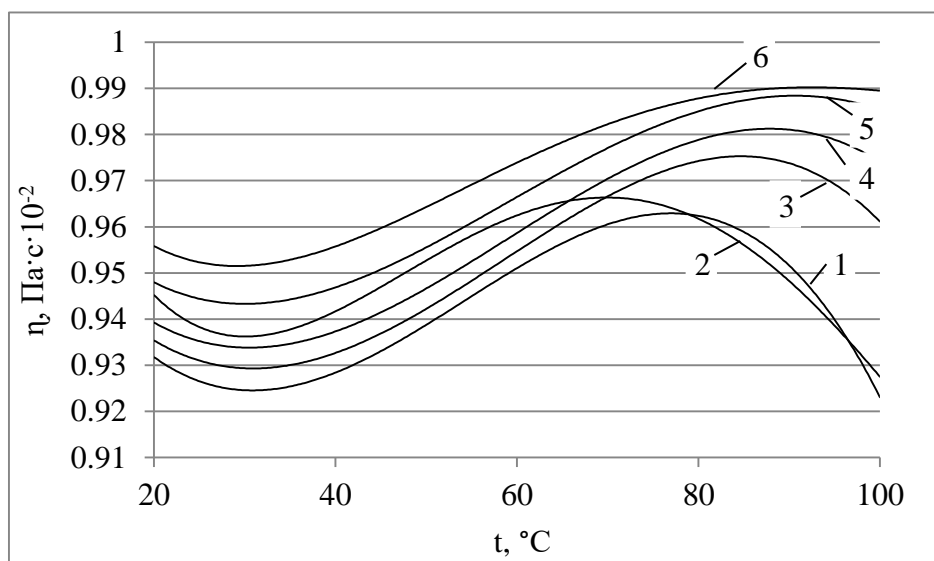
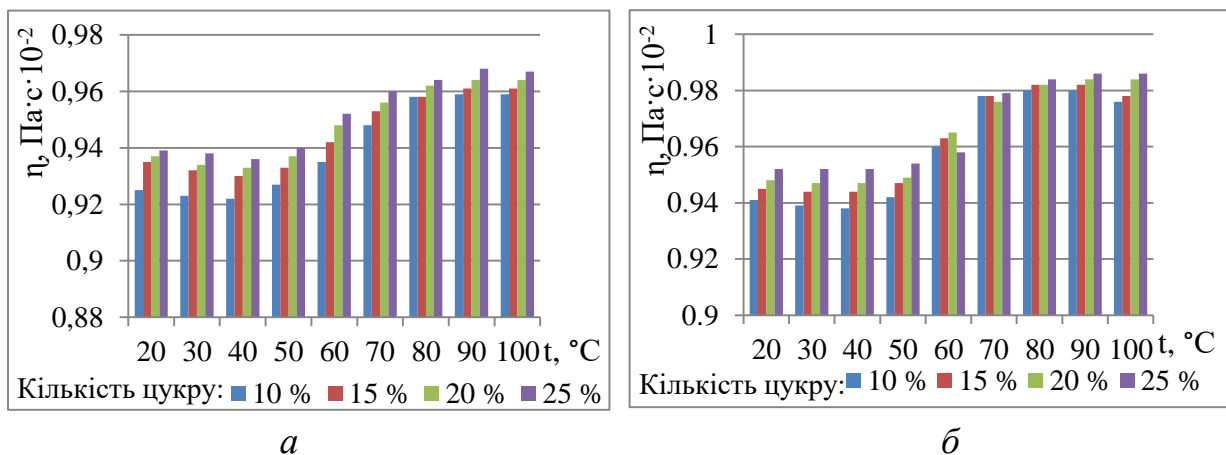


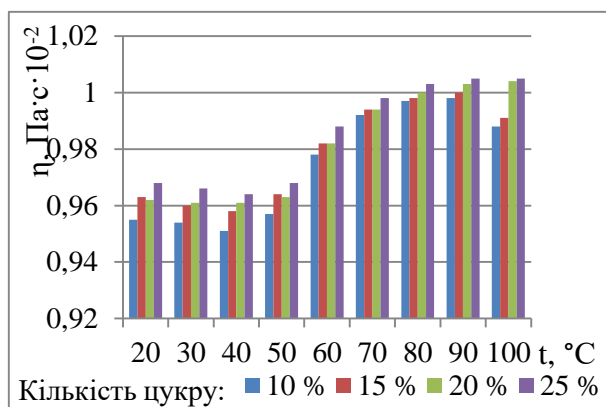
Рис. 5. Зміна в'язкості при нагріванні колоїдного розчину яєчної маси 15 % концентрації при вмісті цукру: 1 – 0 %; 2– 5 %; 3 – 10 %; 4 – 15 %; 5 – 20 %, 6 – 25 %

Ізотермічну зміну в'язкості від концентрації цукру при різному вмісті яєчної маси в системі наведено на рис. 7.



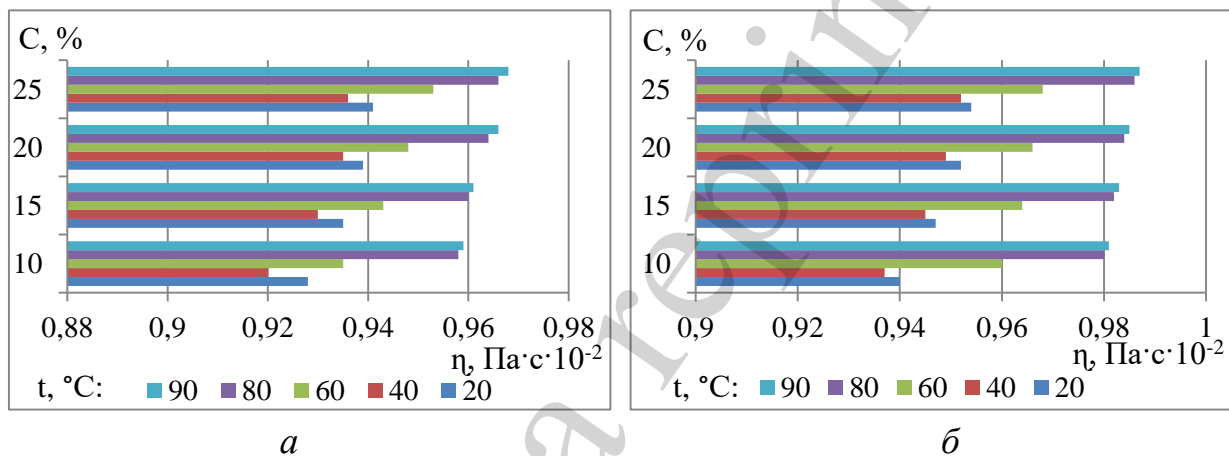
а

б



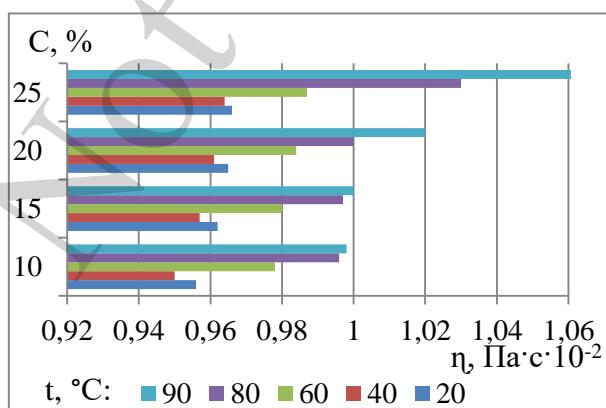
в

Рис. 6. Зміна в'язкості при нагріванні суміші за різного вмісту цукру в системі при концентрації ячної маси: *a* – 10 %; *б* – 15 %; *в* – 20 %



a

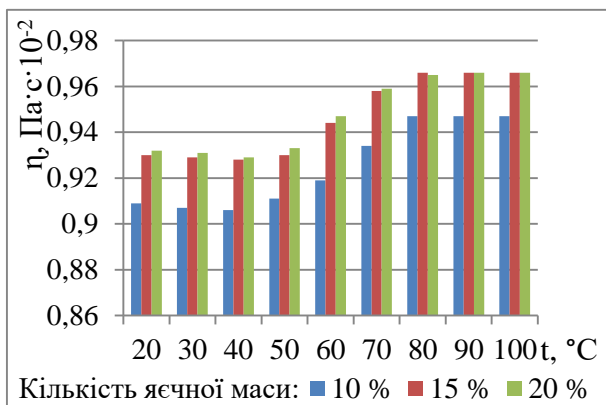
б



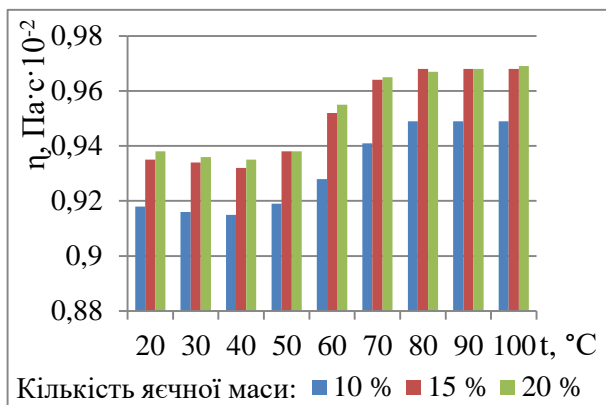
в

Рис. 7. Ізотермічна зміна в'язкості від концентрації цукру в суміші за рН 4,8 та вмісту ячної маси: *a* – 10 %; *б* – 15 %; *в* – 20 %

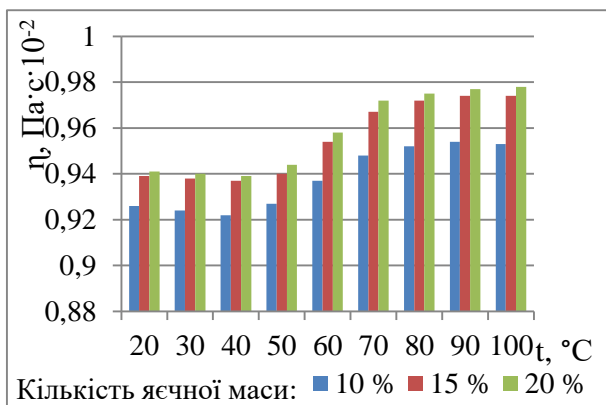
Дослідження комплексного впливу рН середовища та концентрації цукру на процес коагуляції білків ячної маси наведено на рис. 8, 9.



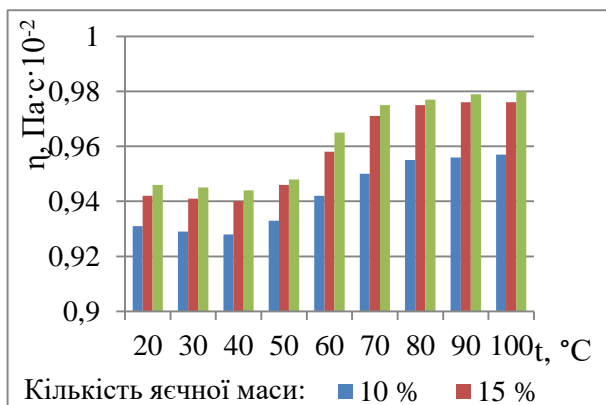
a



б

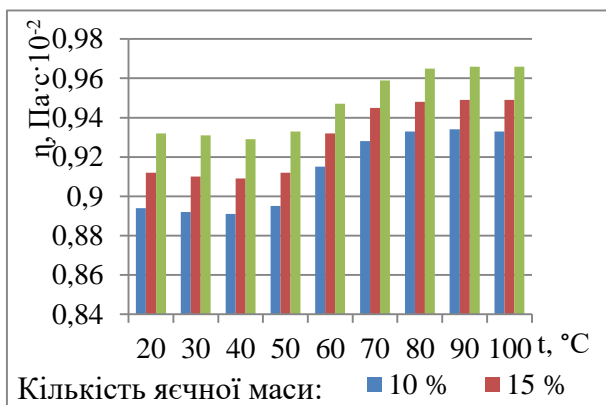


в

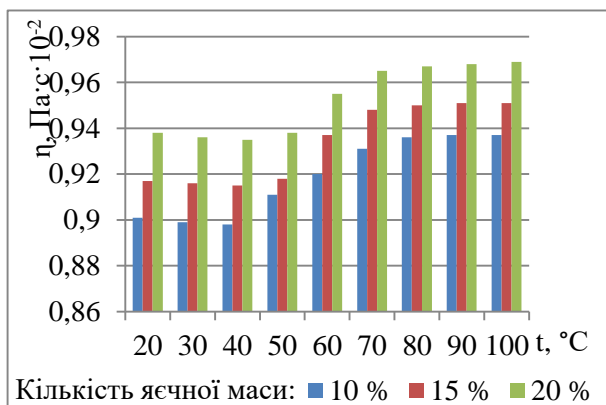


г

Рис. 8. Зміна в'язкості при нагріванні модельних композицій з різною концентрацією яєчної маси за рН 4,5 та вмісту цукру: *a* – 10 %; *б* – 15 %; *в* – 20 %; *г* – 25 %



a



б

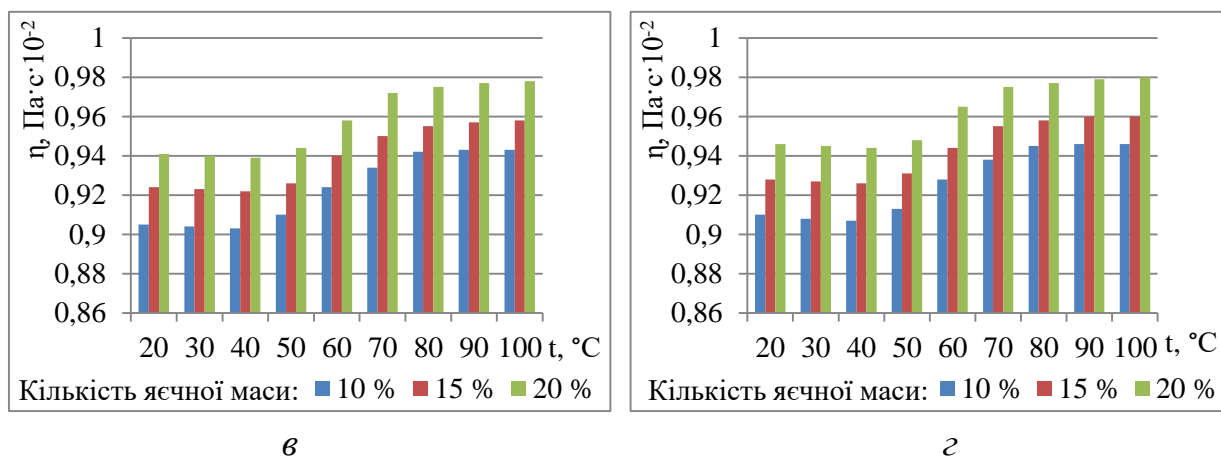


Рис. 9. Зміна в'язкості при нагріванні модельних композицій з різною концентрацією яєчної маси за рН 4,2 та вмісту цукру: а – 10 %; б – 15 %; в – 20 %; г – 25 %

7. Обговорення результатів дослідження комплексного впливу хлориду натрію, цукрози та рН на процес коагуляції білків яєць

Як можна побачити з даних, представлених на рис. 1, хлористий натрій у малих концентраціях знижує в'язкість колоїдного розчину яєчної маси і незначно підвищує температуру теплової коагуляції яєчних білків. При цьому на ділянці 20...50 °С має місце незначне зниження в'язкості, що відбувається, ймовірно, внаслідок плавлення жиру, що міститься у системі.

На ділянці 50...80 °С відбувається інтенсивне підвищення в'язкості, що є результатом перебігу прихованої коагуляції білків яйця.

На прикінцевій ділянці (80...100 °С) можна спостерігати різке зменшення в'язкості системи, що відбувається внаслідок її розділення і випадіння білкового згустку в осад. Піки кривих (рис. 1) показують, що саме при цих конкретних температурах відбувається утворення білкового згустку і саме ці температури слід вважати температурами явної (видимої) коагуляції білків.

Отже, згідно даних, представлених на рис. 1, можна стверджувати, що хлористий натрій підвищує термостійкість яєчних білків на 6...8 градусів, що відповідає літературним даним [15].

Результати досліджень, представлених на рис. 2, показують, що активна кислотність сирної сироватки суттєво впливає на температуру коагуляції білків яйця. Так, при зміщенні активної кислотності у кислу сторону (рН 4,3) температура коагуляції яєчних білків складає в залежності від концентрації яєчної маси 80...82 °С, що на 10...12 градусів вище температури коагуляції яєчних білків у нейтральному середовищі.

Зміщення рН у сторону нейтральних значень знижує температуру коагуляції. Так, зміна рН з 4,3 до 4,6 знижує термостійкість білків і утворення білкового згустку на 5...8 градусів (рис. 2). Це пояснюється тим, що при значеннях рН середовища, близьких до ізоелектричної точки білка, коагуляція відбувається при більш низьких температурах. Ізоелектрична точка яєчних білків лежить в інтервалі 4,55...5,60 [4, 15]. Зміщення рН середовища в той чи інший бік від ізоелектричної точки сприяє підвищенню його термостабільності. Відповідно,

можна припустити, що подальше збільшення значень рН в системі яка розглядається ще більше знизить температуру явної коагуляції та утворення згустку. Оскільки проведені дослідження спрямовані на визначення раціональних параметрів для отримання молочно-яєчних білкових концентратів, для проведення подальших досліджень доцільним є підтримання активної кислотності дослідних систем на рівні не більше 4,3...4,5.

Щодо сумісного застосування хлористого натрію та рН середовища, воно, згідно аналізу графічних залежностей, представлених на рис. 3, призводить до прояву синергічного ефекту на термостійкість яєчних білків. При цьому величина температури видимої коагуляції залежить від концентрації яєчної маси в модельних системах. Так, при 20 % вмісту яєчної маси максимальні значення температури видимої коагуляції яєчних білків лежать у діапазоні $88 \pm 0,5$ °С (при рН 4,2...4,3). Зниження концентрації яєчної маси до 15 % і нижче, до 10 %, дозволяє довести температуру видимої коагуляції до $91 \pm 0,5$ °С, що майже відповідає температурі прихованої коагуляції сироваткових білків.

Ізотермічна зміна в'язкості системи при різних концентраціях хлориду натрію (рис. 4) свідчить про зміну значень η при збільшенні С, при цьому темп зниження в'язкості значно сповільнюється при збільшенні температури та підвищенні концентрації яєчної маси.

Таким чином, найбільш раціональним кількісним вмістом яєчної маси в системі, що дозволяє досягти оптимальної температури коагуляції білків яєць і сирної сироватки, є її 15 % концентрація при вмісті 1,0...1,5 % хлористого натрію та рН системи 4,2...4,3.

На рис. 5 представлено зміну в'язкості при нагріванні колоїдного розчину яєчної маси 15 % концентрації в залежності від вмісту цукру. Як можна побачити з графічних залежностей, приведених на рис. 5, з підвищенням кількості цукру у розчині в'язкість системи початково знижується, що, як вже було зазначено, є наслідком перебігу процесів плавлення жиру. При цьому введення цукру в кількості 5...15 % початково знижує в'язкість системи у порівнянні з в'язкістю колоїдного розчину яєчної маси.

В інтервалі температур 40...80 °С спостерігається різке збільшення η , що відбувається внаслідок прихованої коагуляції білків яєць. Цукор стабілізує систему, підвищуючи температуру коагуляції яєчних білків.

Слід також відмітити, що при введенні в систему цукру у кількості 5 % стабілізуючий ефект є недостатнім, через що розшарування суміші відбувається вже при температурі 80 °С. Збільшення концентрації цукру в системі до 10...15 % має більший стабілізуючий вплив, і температура розшарування системи підвищується до 87...90 °С. Подальше збільшення вмісту цукру ще більше стабілізує систему, при цьому навіть в інтервалі температур 90...100 °С значення η залишаються постійними або незначно знижуються, тобто система не розшаровується.

Окремий інтерес викликає сенсорна оцінка однорідності дослідних модельних систем після їх нагріву до 100 °С. Так, введення цукру в кількості 5 % призводить до отримання чітко розшарованої системи, що складається з рідкої фази незначної в'язкості та осаду у вигляді крупних яєчних згустків. Модельні системи, що містять 10...15 % цукру являли собою рідку фазу середньої

в'язкості з наявністю пластівцевоподібних включень розміром $(2...3) \cdot 10^{-3}$ м. Системи з вмістом цукру 20...25 % після пастеризації мали рівномірно розподілені зважені пластівцевоподібні частинки розміром $(0,5...1) \cdot 10^{-3}$ м.

Таким чином, для подальших досліджень щодо визначення параметрів отримання молочно-яєчних білкових концентратів, було відібрано модельні системи з концентрацією цукру 10...25 %.

Зміну в'язкості дослідних трикомпонентних систем при нагріванні представлено на рис. 6. Як можна побачити з означених рис. 6, стабілізуючий ефект цукрози при рН 4,8 є більш вираженим у порівнянні з нейтральним середовищем. При цьому розшарування систем та виділення осаду відбувається при більш високих температурах, а системи з малою концентрацією яєчної маси (10 %) зберігали цілісність навіть при 100 °С. З підвищенням вмісту цукру стійкість до розшарування дослідних дисперсних систем підвищується і відділення осаду не спостерігається.

Слід також відмітити, що в'язкість модельних систем є похідною величиною від концентрації як цукрози, так і яєчної маси. Так, при збільшенні вмісту цукрози від 10 до 25 % значення η збільшуються з $0,928 \cdot 10^{-2}$ Па·с до $0,940 \cdot 10^{-2}$ Па·с (при $T=50$ °С) та з $0,957 \cdot 10^{-2}$ Па·с до $0,965 \cdot 10^{-2}$ Па·с (при $T=80$ °С). Підвищення концентрації яєчної маси значно вагомніше підвищує значення η – з $0,928 \cdot 10^{-2}$ Па·с при 10 % вмісті яєчної маси до $0,958 \cdot 10^{-2}$ Па·с при 20 % її вмісті (для сумішей з 10 % вмістом цукру та $T=50$ °С). Про це також свідчить ізотермічна зміна в'язкості від концентрації цукру при різному вмісті яєчної маси в системі (рис. 7).

З підвищенням активної кислотності дослідних модельних систем стабілізуючий ефект комплексного впливу рН середовища та концентрації цукрози на процес коагуляції білків яєчної маси підсилювався (рис. 8, 9). Розшарування системи не спостерігалось в жодному з випадків, з підвищенням концентрації в системі цукрози та зниженням значень рН в'язкість систем збільшувалась.

На базі приведених результатів досліджень визначено, що найбільш раціональним для отримання молочно-яєчних білкових концентратів є вміст в системі 15...20 % яєчної маси та 20...25 % цукру, що дозволяє проводити пастеризацію суміші при 85...90 °С без розшарування, а також сприяє досягненню системою максимальних значень в'язкості.

Отже, проведені дослідження дають змогу вирішити проблему визначення параметрів коагуляції білків яєць у молочному середовищі, зокрема з урахуванням типу харчової продукції, для виробництва якої буде використано отримані концентрати. Так, для виробництва традиційних харчових продуктів, доцільним є проведення сумісного осадження білків яєць і сирної сироватки, за наступних умов: вміст яєчної маси в харчовій системі 15 %, вміст хлористого натрію – 1,0...1,5 %, рН системи – 4,2...4,3. Для виробництва солодких харчових продуктів доцільним є проведення термокислотної коагуляції яєчних і молочних білків вмісту 15...20 % яєчної маси в харчовій системі, вмісту 20...25 % цукру та рН системи – 4,2...4,5.

Отримані результати враховують особливості сумісної термокислотної коагуляції яєчних білків і білків молока, які раніше не були досліджені. Використання

визначених у результаті дослідження параметрів коагуляції дозволяє уникнути суттєвих недоліків, зокрема формування продукту з неоднорідною структурою, при виготовленні молочно-яєчних концентратів. Отримані результати досліджень можуть бути використані при виробництві молочно-яєчних концентратів у промислових умовах і в умовах закладів ресторанного господарства, при використанні зазначених у роботі рецептурних компонентів і технологічних параметрів. Для варіювання значень рН при роботі з харчовими системами доцільною є заміна розчинів HCl та NaOH харчовими регуляторами кислотності.

Потенційні можливості використання досліджених харчових систем обмежено вхідними рецептурними компонентами. Актуальними можна вважати подальші дослідження харчових систем, отримання яких передбачатиме зміну рецептурних компонентів. Зокрема, враховуючи постійне зростання кількості хворих на цукровий діабет, актуальним є дослідження впливу цукрозамінників (ксиліт, сорбіт, екстракт стевії тощо) на процес термокислотної коагуляції білків яєць у молочному середовищі. Такі дослідження дадуть змогу розширити асортимент білкової продукції для діабетиків.

8. Висновки

1. Досліджено процес теплової коагуляції білків яєчної маси у молочному середовищі залежно від рН середовища та концентрації хлориду натрію та визначено, що досягти оптимальної температури коагуляції білків яєць і сирної сироватки дозволяють 15 % концентрації яєчної маси в системі при вмісті 1,0...1,5 % хлористого натрію та рН системи 4,2...4,3.

2. Досліджено комплексний вплив рН середовища та концентрації цукрози на процес коагуляції білків яєць та встановлено, що найбільш раціональним для отримання молочно-яєчних білкових концентратів є вміст в системі 15...20 % яєчної маси та 20...25 % цукру, що дозволяє проводити пастеризацію суміші при 85...90 °C без розшарування, а також сприяє досягненню системою максимальних значень в'язкості.

Література

1. Крашенинин, П. Ф., Иванова, Л. Н., Медузов, В. С. и др. (1988). Технология детских и диетических молочных продуктов. М.: Агропромиздат, 232.
2. Levashov, P. A., Matolygina, D. A., Dmitrieva, O. A., Ovchinnikova, E. D., Adamova, I. Y., Karelina, N. V. et. al. (2019). Covalently immobilized chemically modified lysozyme as a sorbent for bacterial endotoxins (lipopolysaccharides). *Biotechnology Reports*, 24, e00381. doi: <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00381>
3. Davies, D. T., Law, A. J. R. (1983). Variation in the protein composition of bovine casein micelles and serum casein in relation to micellar size and milk temperature. *Journal of Dairy Research*, 50 (1), 67–75. doi: <https://doi.org/10.1017/s0022029900032532>
4. Дейниченко, Г. В., Юдіна, Т. І. (2008). Функціонально-технологічні властивості багатокомпонентних систем на основі концентрату зі сколотин. Зб. наук. праць Луганського національного аграрного університету. Серія: технічні науки, 88, 138–140.

5. Храмов, А. Г., Нестеренко, П. Г. (2004). Технология продуктов из молочной сыворотки. Москва: ДеЛипринт, 587.
6. Hegg, P.-O. (1979). Precipitation of egg white proteins below their isoelectric points by sodium dodecyl sulphate and temperature. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Protein Structure*, 579 (1), 73–87. doi: [https://doi.org/10.1016/0005-2795\(79\)90088-6](https://doi.org/10.1016/0005-2795(79)90088-6)
7. Akkouche, Z., Aissat, L., Madani, K. (2012). Effect of Heat on Egg White Proteins. *International Conference on Applied Life Sciences*. IntechOpen, 407–413. URL: https://www.researchgate.net/publication/233726908_Effect_of_Heat_on_Egg_White_Proteins
8. Liu, Y.-F., Oey, I., Bremer, P., Carne, A., Silcock, P. (2017). Effects of pH, temperature and pulsed electric fields on the turbidity and protein aggregation of ovomucin-depleted egg white. *Food Research International*, 91, 161–170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.005>
9. Liu, Y.-F., Oey, I., Bremer, P., Silcock, P., Carne, A. (2017). In vitro peptic digestion of ovomucin-depleted egg white affected by pH, temperature and pulsed electric fields. *Food Chemistry*, 231, 165–174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.136>
10. Li, J., Zhang, M., Chang, C., Gu, L., Peng, N., Su, Y., Yang, Y. (2018). Molecular forces and gelling properties of heat-set whole chicken egg protein gel as affected by NaCl or pH. *Food Chemistry*, 261, 36–41. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.079>
11. Ferreira Machado, F., Coimbra, J. S. R., Garcia Rojas, E. E., Minim, L. A., Oliveira, F. C., Sousa, R. de C. S. (2007). Solubility and density of egg white proteins: Effect of pH and saline concentration. *LWT - Food Science and Technology*, 40 (7), 1304–1307. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.08.020>
12. Nasabi, M., Labbafi, M., Mousavi, M. E., Madadlou, A. (2017). Effect of salts and nonionic surfactants on thermal characteristics of egg white proteins. *International Journal of Biological Macromolecules*, 102, 970–976. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.04.102>
13. Богданова, Е. А., Хондак, Р. Н. и др. (1989). Технология цельномолочных продуктов и молочно-белковых концентратов. М.: Агропромиздат, 273.
14. Vinogradov, G. V., Zabugina, M. P., Konstantinov, A. A., Konyukh, I. V., Malkin, A. Y., Prozorovskaya, N. V. (1964). Viscosity measurements of condensed polymers by rotary and capillary viscometers. *Polymer Science U.S.S.R.*, 6 (9), 1823–1828. doi: [https://doi.org/10.1016/0032-3950\(64\)90277-1](https://doi.org/10.1016/0032-3950(64)90277-1)
15. Гуслияников, В. В., Подлегаев, М. А. (1979). Технология мяса птицы и яйцепродуктов. М.: Пищевая промышленность, 288.