

УДК 664.665.94

**Перцевой Ф.В.**

Сумський національний аграрний університет

**Бідюк Д.О.**

Сумський національний аграрний університет

**Кошель О.Ю.**

Сумський національний аграрний університет

**Журахов В.А.**

Сумський національний аграрний університет

## ЗАЛЕЖНІСТЬ МІЦНОСТІ СТРУКТУРИ ГЕЛІВ НА ОСНОВІ БІНАРНОЇ КОМБІНАЦІЇ ПОЛІСАХАРИДІВ ВІД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

У статті досліджено залежність міцності структури гелів на основі бінарної комбінації полісахаридів (камеді ксантану та камеді тари) від декількох факторів: температури гідратації, тривалості диспергування та додаткового нагрівання. Наведено залежність кратності збільшення міцності структури гелів після додаткового нагрівання від температури початкової гідратації. Встановлено, що збільшення температури гідратації у діапазоні від  $10 \pm 2^\circ\text{C}$  до  $90 \pm 2^\circ\text{C}$  зумовлює зростання міцності до 26 разів щодо контролю, а додаткове нагрівання сприяє збільшенню міцності гелю у 1,14 до 5,95 разу.

**Ключові слова:** камедь ксантану, камедь тари, структуроутворення, міцність гелю, полісахариди, температура гідратації.

**Постановка проблеми.** Розвиток кондитерської промисловості в Україні ґрунтується на створенні високоефективних технологій та обладнання для виробництва нового асортименту конкурентоспроможної продукції. У ринкових відносинах жорстка конкуренція вимагає від виробників постійного оновлення асортименту оригінальними кондитерськими виробами, зниження собівартості та подовження терміну їх зберігання. Однією із груп кондитерських виробів, що користуються сталим попитом як на вітчизняному ринку, так і за кордоном, є молоковісні термостійкі начинки. До їх складу входять полісахариди, що мають створювати термостійку структуру (пектини, модифіковані крохмалі, камеді тощо), смакові речовини (цукрова пудра, ароматизатори, сіль тощо), молочні компоненти (молоко сухе знежирене, суха сироватка тощо).

Варто зазначити, що виготовлення начинок – це складний технологічний процес, вони мають нетривалий строк зберігання, що пов'язано з їх високою вологістю, умовами транспортування. Крім цього, використання у складі дорогих структуроутворювачів є проблемою сучасного виробництва начинок, оскільки призводить до збільшення собівартості, тому краще їх поєднувати одну з одною. Отже, використання науково обґрунто-

ваного поєднання полісахаридів, що виявляють синергетичну взаємодію, є ефективним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням полісахаридів займалися багато вітчизняних та зарубіжних учених. У попередніх розвідках [1] наведено властивості гелю камеді тари, змішаного з каппа-каррагенаном та камеддю ксантану. Результати дослідження авторів показали, що камедь тари може утворювати гелі з каппа-каррагенаном та камеддю ксантану, температури гелеутворення підвищувалися в разі збільшення концентрації суміші камедей. У двох системах суміші існувала синергетична взаємодія, яка безпосередньо спостерігалася сканерним електронним мікроскопом або атомним силовим мікроскопом. Максимальну міцність гелю можливо було отримати за такого співвідношення: суміш «камедь тари – каппа-каррагенан» – 2:8 за температури в межах  $80^\circ\text{C}$ ; суміш «камедь тари – камедь ксантану» – 4:6 за температури близько  $60^\circ\text{C}$ . Крім того, вчені встановили, що відповідна кількість іонів  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  може значно підвищити міцність гелю суміші «камедь тари – каппа-каррагенан», а надлишкова кількість солей іонів може послабити міцність суміші гелів. Для суміші «камедь ксантану – камедь тари» іони  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  не збільшили суттєво міцність гелю.

Також авторами [2] розроблено технології функціональних напоїв на молочній сироватці з рослинними екстрактами. Вони є, як правило, харчовими системами з агрегативно нестійкою структурою, які здатні під час зберігання до розшарування (утворення осаду). Тому в рецептури таких напоїв вводять різні стабілізатори (пектини, камеді, продукти переробки морських водоростей та інші), які забезпечують їх однорідну структуру: без локального гелеутворення, з рівномірним розподілом частинок наповнювачів.

Ученими [3] досліджено вплив камеді ксантану на фізичні властивості і текстурні характеристики молочних вершків збитих. Камедь ксантану в цій роботі використовувалася як загусник для приготування таких вершків. Ефект залежить від дози камеді ксантану та середнього розміру частинок жирових кульок (близько  $d=3,2$  мкм) вершків збитих. За концентрації камеді ксантану від 0,025...0,125%, яка використовувалася у дослідженні процесу збивання вершків, було виявлено позитивний вплив на середнє значення жирів частинок молока. Зі збільшенням концентрації камеді ксантану та тривалості збивання вершків часткове затвердіння жиру в системі поступово збільшувалося. За результатами, отриманими у цій роботі, камедь ксантану, як загусник, може суттєво впливати на фізичні властивості і реологічні характеристики вершків збитих.

У статті [4] розглядалася функціональна роль камеді ксантану та вплив її на властивості тіста і хліба із суміші борошна маніюки та пшениці. Автори вивчали структурно-механічні властивості тіста (утримання газу рідкого тіста) та свіжість і зберігання хліба із суміші борошна (90% пшениці та 10% маніюки). Це дослідження показало, що підвищений вміст камеді ксантану збільшував пружність тіста під час випікання хліба, розмір буханки, м'якість крихти. Проте максимум 1% у межах концентрації ксантанової камеді було достатньо, щоб сповільнити втрату вологи і зміцнити м'якуш хліба.

Метою дослідження авторів [5] було вивчення впливу камеді ксантану на структурні зміни пальмового масла у травленні «in vitro» та проведення оцінки застосування жирової системи XG-palm у кремоподібних начинках. Встановлено, що реологічні та мікроструктурні властивості вивчались у трьох системах: жировий XG-palm, наповнювальний крем із жиру XG-palm, а також контрольний наповнювальний крем із пальмовою олією, але без камеді ксантану. Результати дослідження авторів можливо використати у розробці нежирної їжі

та в тих випадках, коли бажаним є структурування вмісту шлунку.

Група авторів [6] у своїй роботі дослідила, що желатин може утворювати синергетичні гелі з камеддю ксантану. Виявлено вплив модуля пружності, який у 30 разів перевищує значення чистого розчину камеді ксантану за тієї самої концентрації, що використовується в суміші. Камедь ксантану виконує дві основні функції: підвищує концентрацію желатину завдяки електростатичним відновленням і взаємодіє з позитивними частинками желатину за допомогою електростатичної взаємодії.

У статті [7] наведено аналітичне обґрунтування та вибір бінарної комбінації полісахаридів для термостійких молоковмісних начинок із використанням бінарної комбінації: камеді ксантану та камеді тари. Автори провели аналітичний огляд бінарних комбінацій полісахаридів, на підставі якого було виявлено дві бінарні комбінації: «камедь ксантану – камедь конжаку» та «камедь ксантану – камедь тари» (використання цієї комбінації дозволяє отримувати желеподібну систему). У процесі експериментальних досліджень було підтверджено синергетичну взаємодію в системах «камедь ксантану – камедь конжаку» та «камедь ксантану – камедь тари», а також вибрано раціональні співвідношення суміші «камедь ксантану – камедь тари» як 60:40.

**Постановка завдання.** Вивчення порушеної теми вимагає вирішення таких завдань:

- дослідити залежність міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від тривалості диспергування;
- обґрунтувати залежність міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від температури гідратації;
- встановити вплив додаткового нагрівання на збільшення міцності структури зазначених гелів.

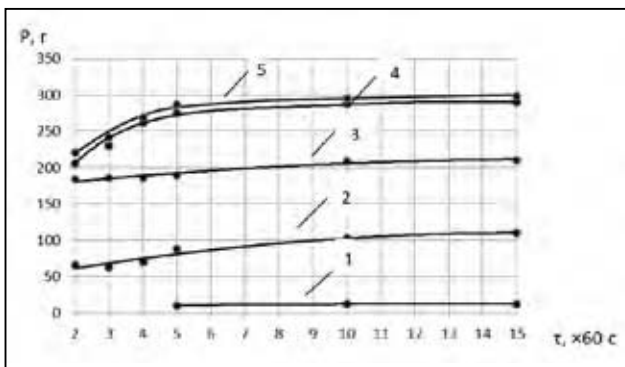
**Виклад основного матеріалу дослідження.** Однією з головних вимог, якої варто дотримуватися у виробництві термостійких молоковмісних начинок, є їхня здатність витримувати певне нагрівання за умов, що моделюють процес випікання кондитерських виробів.

Особливість технологічного аспекту використання полісахаридів (бінарної комбінації камеді ксантану та камеді тари) у харчових продуктах, зокрема в термостійких начинках, базується на їхній здатності утворювати характерну міцну структуру. Однак для формування структури такої начинки необхідні певні умови та час від моменту виготовлення.

Для визначення залежності міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від тривалості диспергування слід приготувати розчини камеді ксантану та камеді тари у співвідношенні 60:40 відповідно. Для цього суху суміш всипали у воду за температури від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  та перемішували розчини від  $2\times 60$  с до  $15\times 60$  с. Після диспергування розчини розливали у п'ять бюксів, ставили в термостат за температури  $5\pm 2^\circ\text{C}$  та витримували  $24\times 60^2$  с.

Для обґрунтування залежності міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від температури гідратації готували розчини, як було наведено вище. Суху суміш всипали у воду за температури від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  та перемішували розчини протягом  $5\times 60$  с. Зразки витримували в термостаті за температури  $5\pm 2^\circ\text{C}$  протягом  $24\times 60^2$  с. Для визначення залежності міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від температури гідратації та тривалості диспергування  $5\times 60$  с із додатковим нагріванням досліджували зразки, які диспергували за температури від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$ , охолоджували та витримували в термостаті за температури  $5\pm 2^\circ\text{C}$  протягом  $24\times 60^2$  с.

На Рис. 1 наведено залежність міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від тривалості диспергування.



**Рис. 1.** Залежність міцності структури гелю (P, г) на основі камеді ксантану та камеді тари від тривалості диспергування їх розчину за температури: 1 –  $10\pm 2^\circ\text{C}$ , 2 –  $30\pm 2^\circ\text{C}$ , 3 –  $50\pm 2^\circ\text{C}$ , 4 –  $70\pm 2^\circ\text{C}$ , 5 –  $90\pm 2^\circ\text{C}$

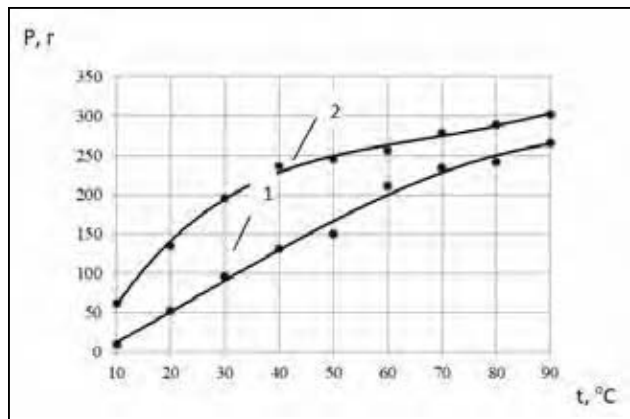
Як видно з Рис. 1, за температури гідратації  $10\pm 2^\circ\text{C}$  міцність гелю не зростала, а в разі збільшення температури від  $30\pm 2^\circ\text{C}$  до  $50\pm 2^\circ\text{C}$  та тривалості диспергування до  $2\times 60$  с відбувалося зростання міцності.

Таким чином, можемо констатувати, що тривалості диспергування  $2\times 60$  с розчину на основі камеді ксантану та камеді тари недостатньо для досягнення необхідної міцності гелю. У разі

збільшення тривалості диспергування в діапазоні  $2\times 60$  с... $5\times 60$  с міцність суттєво зростала. Таким чином, тривалість диспергування повинна становити не менше  $5\times 60$  с.

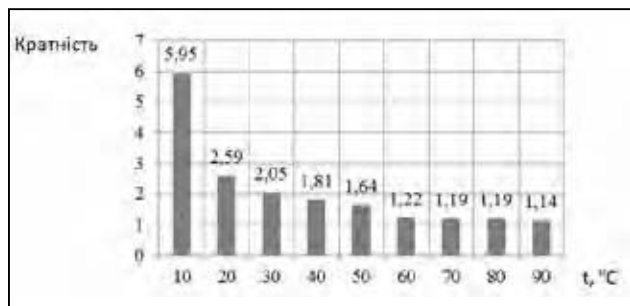
На Рис. 2 наведено залежність міцності структури гелю камеді ксантану та камеді тари від температури гідратації в межах від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$ , а також тривалості диспергування в межах  $5\times 60$  с. На кривій 1 показано збільшення міцності структури гелю у разі зростання температури гідратації від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$ . Міцність структури гелю суттєво зростає в інтервалі  $10\pm 2^\circ\text{C}$ ... $70\pm 2^\circ\text{C}$ , а в діапазоні  $70$ – $90^\circ\text{C}$  зростання відбувається незначною мірою. На кривій 2 видно, що за додаткового нагрівання бінарної суміші міцність структури гелю значно зростає.

Таким чином, додаткове нагрівання суміші полісахаридів сприяє збільшенню міцності структури гелю.



**Рис. 2.** Залежність міцності структури гелю на основі камеді ксантану та камеді тари від температури гідратації і тривалості диспергування  $5\times 60$  с: 1 – без додаткового нагрівання, 2 – з додатковим нагріванням

На Рис. 3 зображено залежність кратності збільшення міцності гелю від температури початкової гідратації після додаткового нагрівання.



**Рис. 3.** Залежність кратності збільшення міцності гелю камеді ксантану та камеді тари від температури початкової гідратації після додаткового нагрівання

З Рис. 3 видно, що в разі збільшення температури від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  міцність гелю зростає в діапазоні від 1,14 до 5,95 разу за повторного нагрівання до температури  $90\pm 2^\circ\text{C}$ . За температури гідратації у діапазоні  $20\pm 2^\circ\text{C}$ ... $50\pm 2^\circ\text{C}$  міцність гелю збільшується від 1,24 до 1,64 разу. А за температури від  $60\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  відбувається незначне його зростання (від 1,14 до 1,22 разу).

**Висновки.** Встановлено, що мінімальна необхідність тривалості диспергування –  $5\times 60$  с, нижче

якої міцність не набуває максимальних значень. А в діапазоні  $5\times 60$  с... $10\times 60$  с міцність структури гелю суттєво не змінюється.

Визначено, що збільшення температури гідратації від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  сприяє збільшенню міцності структури гелю від 1,14 до 5,95 разу.

За додаткового нагрівання збільшення температури гідратації від  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  зумовлює зростання міцності гелю в межах від 1,14 до 5,95 разу.

#### Список літератури:

1. Yanbei W.D. The Gelation Properties of Tara Gum Blended with  $\kappa$ -Carrageenan or Xanthan. Food Hydrocolloids. 2017. Vol. 2, № 2. P. 256–268.
2. The development of technology of functional beverages based on whey and plant extracts / E. Cherevach., L. Tenkovskaya. Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. 2015. Vol. 39, № 4. P. 99–105.
3. Effect of xanthan gum on the physical properties and textural characteristics of whipped cream / Z. Qiangzhong et al. Food Chemistry. 2009. Vol. 1, № 116. P. 624–628.
4. Application of xanthan gum for reducing syruping in refrigerated doughs / S. Simsek et al. Food Hydrocolloids. 2009. Vol. 2, № 23. P. 2254–2260.
5. Espert M.K. Effect of xanthan gum on palm oil in vitro digestion. Application in starch-based filling creams. Food Hydrocolloids. 2018. Vol. 1, № 4. P. 154–176.
6. Rohart K., Michon C.G. Designing microstructure into xanthan gum-enriched acid milk gels. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2014. Vol. 2, № 3. P. 18–23.
7. Перцевой Ф.В., Бідюк Д.О., Кошель О.Ю. Аналітичне обґрунтування та вибір бінарної комбінації полісахаридів для термостійких молокозмісних начинок. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. / відпов. ред. О.І. Черевко. Вип. 1 (27). Харків: ХДУХТ, 2018. С. 122–133.

#### ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ СТРУКТУРЫ ГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ БИНАРНОЙ КОМБИНАЦИИ ПОЛИСАХАРИДОВ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

*В статье исследована зависимость прочности структуры гелей на основе бинарной комбинации полисахаридов (камеди ксантана и камеди тары) от нескольких факторов: температуры гидратации, продолжительности диспергирования и дополнительного нагрева. Приведена зависимость кратности увеличения прочности структуры гелей после дополнительного нагрева от температуры начальной гидратации. Установлено, что увеличение температуры гидратации в диапазоне от  $10\pm 2^\circ\text{C}$  до  $90\pm 2^\circ\text{C}$  обуславливает рост прочности в 26 раз относительно контроля, а дополнительный нагрев способствует увеличению прочности геля в 1,14 до 5,95 раза.*

**Ключевые слова:** камедь ксантана, камедь тары, структурообразование, прочность геля, полисахариды, температура гидратации.

#### DEPENDENCE OF STRENGTH OF GEL STRUCTURE BASED ON BINARY COMBINATION OF POLYSACCHARIDES FROM TECHNOLOGICAL FACTORS

*In the article the dependence of the strength of the structure of gels on the basis of the binary combination of polysaccharides (gummed xanthan and gummed tare) is investigated from several factors: temperature of hydration, duration of dispersion and additional heating. The dependence of the multiplicity of increasing the strength of the gel structure after additional heating from the temperature of the initial hydration is given. It was established that an increase in the temperature of hydration in the range of  $10\pm 2^\circ\text{C}$  to  $90\pm 2^\circ\text{C}$  results in a strength increase of up to 26 times relative to control, and additional heating contributes to an increase in the strength of the gel in 1,14 to 5,95 times.*

**Key words:** xanthan gum, tar tar, structure formation, strength of the gel, polysaccharides, temperature of hydration.