



УДК 663.916.7

С. П. Боковець, асп.

ORCID: 0000-0003-0466-2426

Ф. В. Перцевой, д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-3111-5017

Сумський національний аграрний університет

e-mail: percevoyfedor@gmail.com, тел.: (096)405-32-13

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ НАЧИНКИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БАТОНЧИКІВ ШОКОЛАДНИХ

Анотація. Стаття присвячена дослідженню впливу концентрацій рецептурних компонентів та температури на динамічну в'язкість модельних розчинів на основі агару при виготовленні начинки для виробництва батончиків шоколадних.

Досліджено динамічну в'язкість модельних систем «агар-вода», «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед», «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно» експериментально за допомогою ротаційний вискозиметр. Гліцерин додавали в модельні системи в діапазоні 0,1...0,5% з кроком 0,1%. Введення меду в розчин гелю становило 15...35% з кроком 5%. Додавання кунжутного борошна відбувалося в межах 10...50% з кроком 10%.

Систему агар-вода-гліцерин готували наступним чином. Частину сухого компонента виливали у воду при 20 ± 2 °С, перемішували, потім додавали гліцерин і давали набухати протягом 30-40 × 60 с. Далі цей розчин нагрівали на водяній бані при температурі 85-95 °С до повного розчинення агару. Після повного розчинення агару до розчину додавали мед (модельний розчин агар-вода-гліцерин-мед), кунжутне борошно (модельний розчин агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно) та ретельно перемішували. Науково обґрунтовано вплив гліцерину, меду та кунжутного борошна на динамічну в'язкість розчинів агару при виготовленні начинок для виробництва батончиків шоколадних. Науково обґрунтовано вплив гліцерину, меду та кунжутного борошна на динамічну в'язкість агарових.

Визначено, що в'язкість системи «агар-вода-гліцерин» збільшується в 2,5 рази при додаванні концентрації гліцерину понад $0,3 \pm 0,02\%$, що може бути пов'язано з синергетичною взаємодією гліцерину з агаром, що сприяє утворенню великої кількості міжмолекулярних сполук водню.

Збільшення концентрації гліцерину призводить до збільшення швидкості зшивання структури і занадто швидкого збільшення



міцності, що ускладнює процес змішування. При додаванні меду в кількості $25 \pm 2\%$ утворюється необхідна стійка структура начинки. Збільшення вмісту меду призводить до значного підвищення в'язкості та появи надто солодкого смаку.

Ключові слова: динамічна в'язкість, начинка, агар, гліцерин, мед, кунжутне борошно, модельні системи, батончик шоколадний.

Постановка проблеми. Кондитерська промисловість є однією з основних галузей харчової промисловості. За обсягом виробництва займає друге місце у світі, оскільки виробляє близько двох тисяч видів різних солодоців. Вони містять переважно вуглеводи, тому, враховуючи умови життя людей та дітей (неправильне харчування, екологія, стреси), необхідно більш раціоналізувати харчування, використовуючи сировину, багату поживними та біологічно активними речовинами. Серед широкого асортименту цукерок особливе місце займають шоколадні батончики, які досить часто використовуються в якості перекусу. Оскільки споживачі звертають особливу увагу на органолептичні властивості продукції, перед нами постає завдання отримати продукт з відповідними органолептичними та технічними властивостями.

Важливою технічною властивістю для начинки батончика є в'язкість, оскільки вона виступає як структурно-механічний бар'єр при утворенні та руйнуванні гелевої структури, що визначає її стабільність. Вона обумовлена внутрішніми силами зчеплення між молекулами і характеризує опір їх маси під впливом зовнішніх сил. Гелева маса на виробництві проходить процес змішування, перекачування, розливання, що призводить до її руйнування. Ступінь пошкодження залежить від багатьох факторів - кількості сухої речовини, складу та співвідношення рецептурних інгредієнтів, температури тощо [1, 2].

В'язкість, структура, термозворотність і стабільність гідроколоїдних дисперсійних розчинів залежать від їх типу і концентрації, температури і тривалості застигання, рН середовища, а також наявності і концентрації добавок. Для досягнення бажаного рівня в'язкості більшість полісахаридів мають діапазон концентрації від 0,1 до 3%. При використанні дрібнодисперсних порошоків утворення гелю відбувається протягом 20-40 хвилин (для більшості полісахаридів). Слід пам'ятати, що швидкість набухання частинок сильно залежить від інтенсивності перемішування та температури, при якій система піддається впливу [3, 4].

Впровадження наукових принципів зміни властивостей агару та поєднання його з іншими харчовими продуктами, такими як гліцерин, створить клас нових харчових продуктів з якісно зміненими функціональними властивостями [5].



В ході аналітичного огляду було виявлено, що дослідження, пов'язані з визначенням реологічних властивостей, а саме динамічної в'язкості гелеподібних систем в літературі є фрагментарними. Це визначає актуальність обраного напрямку..

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням реологічних властивостей агарових розчинів займались багато вітчизняних та зарубіжних учених [1, 2, 3, 4, 5, 6].

У ході огляду зарубіжних та вітчизняних літературних джерел встановлено, що питанням впливу температури на в'язкість агарових розчинів, а також впливу на них інших допоміжних компонентів приділено багато уваги.

Ученими [6] були проведені дослідження реологічних властивостей – в'язкості агарових гелів і впливу на них дисахаридів (сахароза) і моносахаридів (фруктоза). Досліджено, що в'язкість структури агарового гелю 1 % концентрації (η_0) становить 38,113 Па \times с. Така міцність структури 1 % агарового гелю пояснюється тим, що висока концентрація агару сприяє сильній стабілізації прошарку дисперсного середовища, що знаходиться між молекулами агару та їх агрегатами, і завдяки цьому здійснюється безпосередній контакт частинок дисперсної фази, це сприяє утворенню найбільш міцної та одночасно крихкої структури агарового гелю 1 % концентрації.

У роботі [7] досліджуються фактори, що впливають на в'язкість агарових розчинів, до яких в основному відносять концентрацію та температуру. У ході дослідження встановлено, що концентрація агару, жорсткість води та температура розчину мають значний вплив на в'язкість розчину агару, тоді як рН розчину не має істотного впливу на в'язкість.

Метою авторів статті [8] дослідження реологічних властивостей розчинів агар-агару, приготованих з використанням води, підданої впливу електромагнітного поля з частотою від 30 до 170 МГц. Дослідження проводили при температурі: 25, 35 та 45 °С, концентрація змінювалася від 0,1 до 0,7 %, швидкість зсуву – в межах 100–1000 с⁻¹. Досліджено, що у переважній більшості випадків зниження в'язкості розчинів спостерігається в результаті впливу температури та електромагнітного поля. Температурна залежність в'язкості для розчинів, які підлягають і не піддаються впливу електромагнітного поля, має різноспрямований характер і істотно залежить, як від концентрації розчину, так і від швидкості зсуву, при якій проводилися вимірювання.

Групою учених [9] було досліджено реологічні характеристики меду та вплив температури на в'язкість. Результати показали, що мед, використаний у цьому дослідженні, показав псевдопластичні



властивості текучості. Вплив температури на в'язкість меду показав, що в'язкість меду зменшується з підвищенням температури.

Авторами статті [10] було визначено залежності величин напруги зсуву від швидкості зсуву та розраховано ефективну динамічну в'язкість систем вода-агар (ВА), вода-желатин (ВЖ) та вода-агар-желатин (ВАЖ) у діапазоні швидкостей зсуву $17-1021 \text{ c}^{-1}$ та інтервалі температур 298-323 К. Отримані залежності ефективної в'язкості для зазначених систем зменшуються з підвищенням температури та швидкості зсуву. При температурах вище 315 К спостерігається слабка залежність в'язкості від швидкості зсуву, що притаманно для ньютонівських рідин.

У роботі [11] досліджено реологічні властивості агарових гідрогелів. Агарові гелі готували шляхом змішування водного розчину агар-агару з гліцерином, сорбітом, лимонною кислотою, цитратом натрію та хлоридом натрію в різних концентраціях. Найбільш істотний вплив на в'язкість агарових гелів мали цитрат натрію, лимонна кислота, а також їх суміш. Додавання лимонної кислоти до агар-гелевої композиції зменшувало в'язкість, а додавання цитрату натрію збільшувало її.

Формулювання мети статті. Метою статті є дослідження впливу концентрацій рецептурних компонентів та температури на в'язкість модельних розчинів при виготовленні начинки для виробництва батончиків шоколадних.

Основна частина. У дослідженнях були використані агар 1200 ТМ "Fujian Province" (Китай), гліцерин харчовий ТМ BASF (Germany), мед соняшниковий та кунжутне борошно ТМ «Корисне борошно» (Україна), для приготування розчинів використовували дистильовану воду.

Систему «агар-вода-гліцерин» готували наступним чином. Наважку сухого компоненту всипали у воду за температури $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, перемішували, після чого вносили гліцерин та залишали для набухання протягом $30-40 \times 60 \text{ c}$. Далі на водяній бані нагрівали даний розчин при температурі $85-95 \text{ }^\circ\text{C}$ до повного розчинення агару. Після того як агар повністю розчинився вносили до розчину мед (модельний розчин «агар-вода-гліцерин-мед»), кунжутне борошно (модельний розчин «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно») та ретельно перемішували. Дослідження впливу гелів визначали на ротаційному віскозиметрі.

Для встановлення раціональної концентрації основних рецептурних компонентів батончика шоколадного (агару, гліцерину, меду, кунжутного борошна) досліджували динамічну в'язкість розчинів (рис. 1-3).

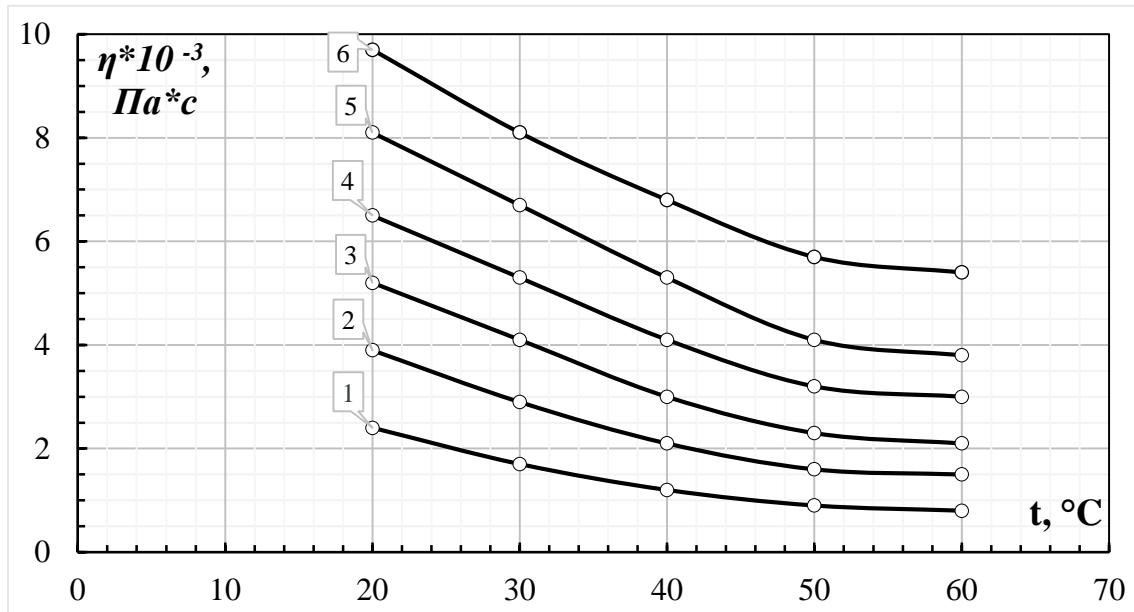


Рисунок 1. Вплив температури на динамічну в'язкість розчину «агар-вода» за концентрації агару 1 %; в композиції з гліцерином, % : 1– контроль; 2–0,1; 3–0,2; 4–0,3; 5–0,4; 6–0,5;

На кривій рисунку 1 показано збільшення в'язкості розчину «агар-вода-гліцерин» від $2,4 \pm 0,2$ Па \times с до $9,7 \pm 0,2$ Па \times с з додаванням гліцерину від 0,1 ... 0,5 % з кроком 0,1 %. В'язкість розчину, що містить 1 % агару без додавання гліцерину, становила $2,4 \pm 0,2$ Па \times с. При додаванні до розчину 0,1 % гліцерину в'язкість зросла до $3,9 \pm 0,2$ Па \times с. При збільшенні вмісту гліцерину до 0,2 % в'язкість зросла до $5,2$ Па \times с. Подальше застосування 0,3, 0,4 і 0,5 % гліцерину призвело до збільшення в'язкості на $6,5 \pm 0,2$; $8,1 \pm 0,2$ і $9,7 \pm 0,2$ Па \times с відповідно.

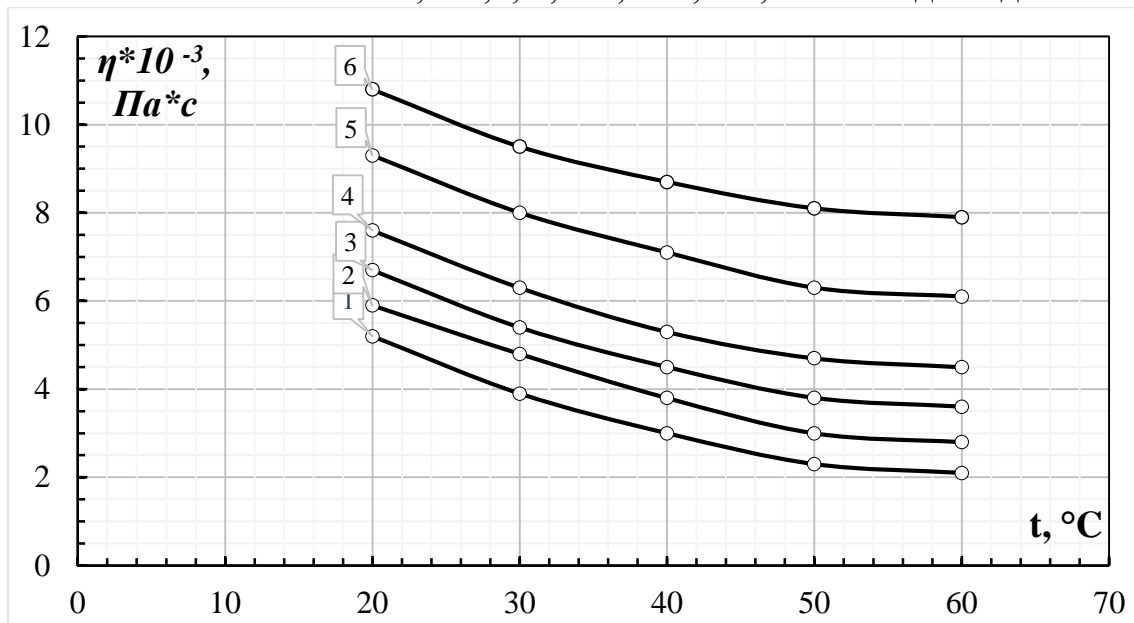


Рисунок 2. Вплив температури на динамічну в'язкість розчину «агар-вода-гліцерин» за концентрації агару 1,0 %; гліцерину 0,3 %; при додаванні меду, % : 1 – контроль; 2 – 15; 3 – 20; 4 – 25; 5 – 30; 6 – 35

Визначено, що в'язкість системи «агар-вода-гліцерин» збільшується в 2,5 рази при додаванні концентрацій гліцерину вище $0,3 \pm 0,02$ %, що може бути пов'язано з синергетичною взаємодією гліцерину з агаром, що сприяє утворення великої кількості міжмолекулярних водневих сполук. Збільшення концентрації гліцерину призводить до збільшення швидкості зшивання структури і занадто швидкого збільшення міцності, що ускладнює процес змішування.

Як видно з рисунку 2 зі збільшенням вмісту меду, в'язкість розчину зросла з $5,2 \pm 0,2$ Па \times с до $10,8 \pm 0,2$ Па \times с. В'язкість розчину, що містить 1,0 % агару, 0,3 % гліцерину без додавання меду, становила $5,2 \pm 0,2$ Па \times с. При додаванні до розчину 15 %, 20 % і 25 % меду, його в'язкість зросла на $5,9 \pm 2,0$; $6,7 \pm 0,2$ і $7,6 \pm 0,2$ Па \times с. Подальше застосування 30 % і 35 % меду призводить до збільшення в'язкості на $9,3 \pm 0,2$ і $10,8 \pm 0,2$ Па \times с відповідно.

Встановлено, що додавання меду в кількості менше 20 ± 2 % або більше 30 ± 2 % не утворює бажаної стабілізуючої структури начинки. Збільшення вмісту меду призводить до значного збільшення в'язкості та надто солодкого смаку.

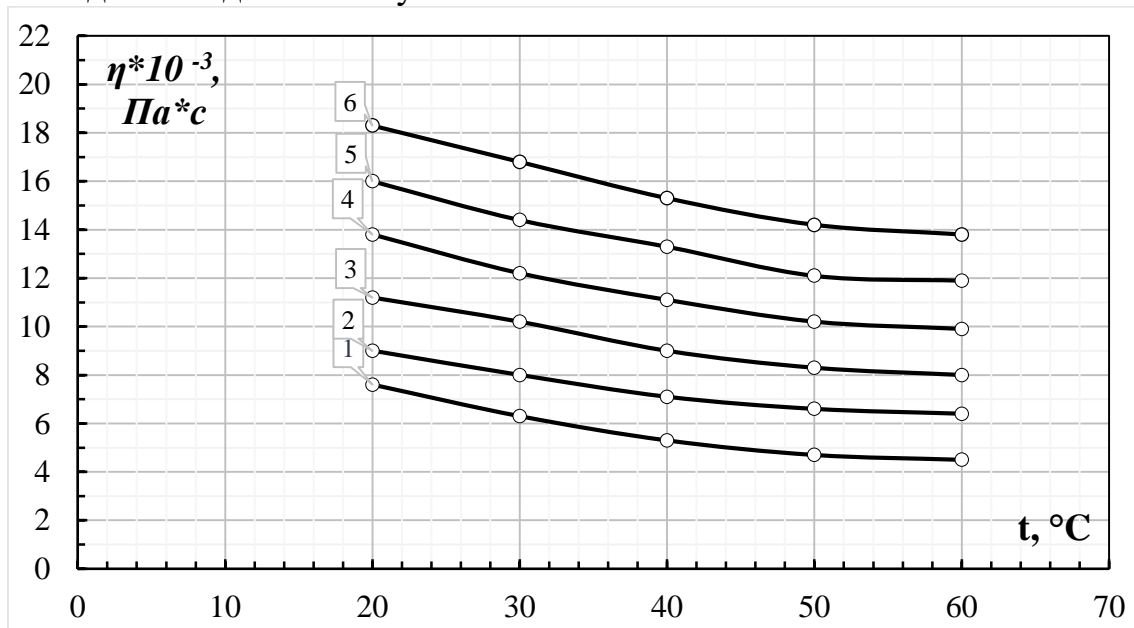


Рисунок 3. Вплив температури на динамічну в'язкість розчину «агар-вода-гліцерин-мед» за концентрації агару 1 %; гліцерину 2 %; меду 25 % при додаванні кунжутного борошна, % : 1 – контроль; 2 – 10; 3 – 20; 4 – 30; 5 – 40; 6 – 50.

На кривій рисунку 3 показано збільшення в'язкості розчину «агар-вода-гліцерин-мед» від $7,6 \pm 0,2$ до $18,3 \pm 0,2$ Па \times с, при додаванні кунжутного борошна в інтервалі 10...50 % з кроком в 10 %. Встановлено, що в'язкість розчину, який містить 1 % агару, 2 % гліцерину та 25% меду без внесення кунжутного борошна, становить

$7,6 \pm 0,2$ Па \times с. При додаванні до розчину 10, 20 та 30 % кунжутного борошна, його в'язкість збільшується на $9,0 \pm 0,2$; $11,2 \pm 0,2$ та $13,8 \pm 0,2$ Па \times с. Подальше внесення борошна в кількості 40 та 50 % призводить до збільшення в'язкості на $16,0 \pm 0,2$ та $18,3 \pm 0,2$ Па \times с відповідно.

Встановлено, що додавання кунжутного борошна в кількості менш ніж 30 ± 2 % не призводить до утворення бажаної структури начинки. Збільшення вмісту борошна більш ніж на $30 \pm 2\%$ призводить до появи гіркотного смаку та значного збільшення в'язкості начинки.

Для підтвердження раціональної концентрації основних рецептурних компонентів батончика шоколадного, які беруть участь у процесах гелеутворення, проводили дослідження динамічної в'язкості (рис. 4) розчинів «агар-вода», «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед» та «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно» за концентрації агару 1 %, гліцерину 0,3 %, меду 25 %, кунжутного борошна 30 %, в температурному діапазоні 20...60 °С.

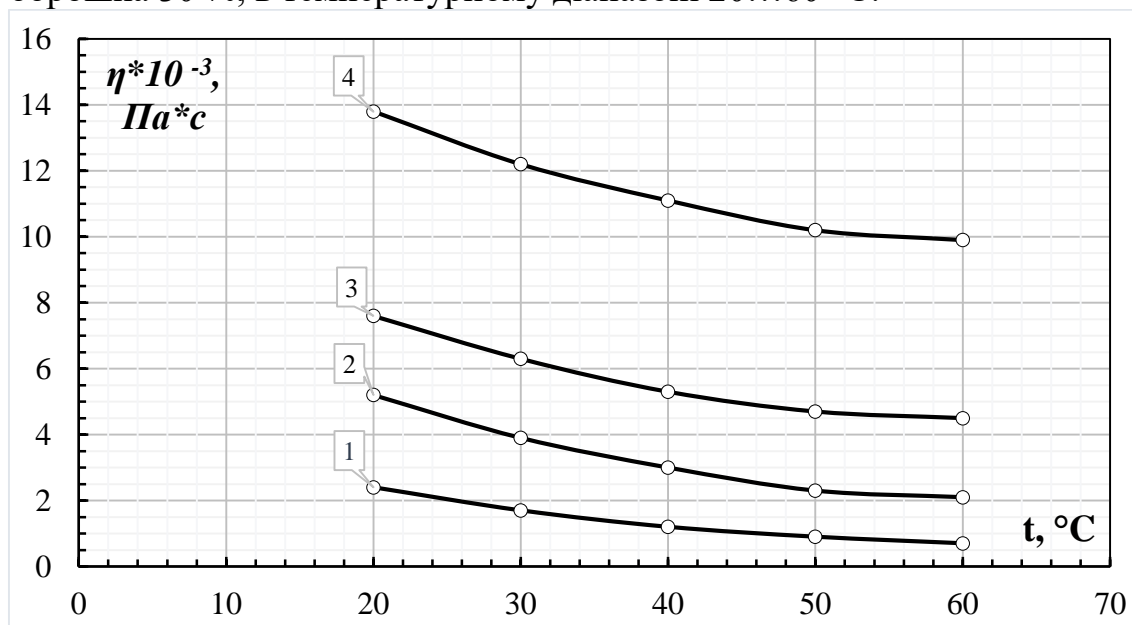


Рисунок 4. Вплив температури на динамічну в'язкість розчинів: 1 - «агар-вода», 2 - «агар-вода-гліцерин», 3 - «агар-вода-гліцерин-мед», 4 - «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно»

Встановлено, що підвищення температури в діапазоні 20...60 °С зменшує динамічну в'язкість розчину «агар-вода» на $1,7 \pm 0,2$ Па \times с, додавання гліцерину збільшує динамічну в'язкість до $5,2 \pm 0,2$ Па \times с за температури 30 °С. Додавання меду та кунжутного борошна призводить до збільшення в'язкості на $7,6 \pm 0,2$ Па \times с та $13,8 \pm 0,2$ Па \times с відповідно, за температури 30 °С.

При введенні агару менше 1 % начинка не набуває бажаних структурних властивостей. При додаванні понад 1,0 % агару, структура начинки стає надто пружною, що ускладнює подальше виробництво батончиків.



Додавання гліцерину у кількості понад 0,3 % призводить до значного збільшення в'язкості начинки, швидкості структурного зшивання та надмірного збільшення міцності, що ускладнює процес змішування розчину для подальшого приготування начинки.

Зменшення вмісту меду та кунжутного борошна менше 25 ± 2 % та 30 ± 2 % відповідно, призводить до зменшення кількості сухих речовин. Збільшення кількості вище згаданих компонентів призводить до погіршення смакових властивостей готових виробів.

Висновки. Досліджено вплив концентрацій рецептурних компонентів та температури на в'язкість модельних систем «агар-вода», «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед», «агар-вода-гліцерин-мед-кунжутне борошно».

Встановлено, що додавання 0,3 % гліцерину до розчину на основі агару підвищує його в'язкість, ймовірно, завдяки синергічній взаємодії гліцерину з агаром і сприяє утворенню значної кількості міжмолекулярних водневих зв'язків.

Отже, збільшення в'язкості модельних систем за рахунок впливу гліцерину відбувається завдяки зв'язуванню вільної вологи, що забезпечує підвищену структуру в'язкості начинки.

Також встановлено, що при додаванні меду у кількості 25 ± 2 % утворюється бажана стійка структура начинки. Збільшення вмісту меду призводить до значного підвищення в'язкості та появи надто солодкого смаку.

Отримані результати мають практичне значення для розрахунку та встановлення діапазону концентрацій рецептурних компонентів у процесі виробництва начинки для батончиків шоколадних на основі агару.

Список використаних джерел

1. Williams, P.A., Phillips, G.O. Introduction to food hydrocolloids: Handbook of hydrocolloids. Second edition. *Woodhead Publishing Limited*, Cambridge: Boca Raton, 2009. P. 1-22 <https://doi.org/10.1533/9781845695873.1>
2. Williams, P.A., Phillips, G.O. Xanthan gum: Handbook of hydrocolloids. Second edition, *Woodhead Publishing Limited*, Cambridge: Boca Raton, 2009. P. 187-202 <https://doi.org/10.1533/9781845695873.1>
3. Деркач С., Зотова К. Реология пищевых эмульсий. *Вестник МГТУ*. 2012. №1. С.84-95.
4. Agar gel strength: A correlation study between chemical composition and rheological properties / M. Bertasa et al. *European Polymer Journal*. 2020. Vol. 123. P. 109442. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.109442>
5. Камбулова Ю.В., Матяс Д.С., Маліновський В.В. Реологічні показники мармеладних мас на агарі і каррагінані з різновидами цукрів.



Технології харчових продуктів і комбікормів: матеріали міжнародної наук.-практ. конф. Одеса, 2017. С. 24-26.

6. Дорохович, А. Н., Мурзин А.В. Реологические свойства агарового геля и влияние на них дисахаридов (сахароза) и моносахаридов (фруктоза). *Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров : сборник трудов VIII Международной научно-методической конференции в городе Хаммамет (Донецк, 28 сентября - 05 октября 2014 г).* Донецк, 2014. С. 109-112.

7. Agar gel strength: Analysis of Influencing Factors on Viscosity of Agar Solution for Capsules / Y. Zhenhua et al. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1653. P. 012059. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1653/1/012059>

8. Shipunov B., Markin V. Abnormal Rheology of Agar-Agar Solutions Prepared Using Water Exposed to an Electromagnetic Field. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2021. Vol. 47. P. 1404 - 1410. <https://doi.org/10.1134/S1068162021070141>

9. Rheological Properties of Honey and its Application on Honey Flow Simulation through Vertical Tube / N. Bambang et al. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 334. P. 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/334/1/012041>

10. Реологические свойства водных растворов агара, желатина и их смеси для жележных изделий / С. М. Губский та ін. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Хімія*. 2018. № 31. С. 64-78. <https://doi.org/10.26565/2220-637X-2018-31-06>

11. Rheological Study of Agar Hydrogels for Soft Capsule Shells / D. Demchenko et al. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2014. Vol. 47, № 10. P. 45 – 47. <https://doi.org/10.1007/s11094-014-1004-z>

Стаття надійшла до редакції 15.04.2022 р.

S. Bokovets, F. Pertsevoi
Sumy National Agrarian University

RESEARCH OF DYNAMIC VISCOSITY OF FILLINGS FOR PRODUCTION OF CHOCOLATE BARS

Summary

The article is devoted to the study of the influence of concentrations of prescription components and temperature on the dynamic viscosity of agar-based model solutions in the production of fillings for the production of chocolate bars.

The dynamic viscosity of the model systems "agar-water", "agar-water-glycerin", "agar-water-glycerin-honey", "agar-water-glycerin-honey-sesame flour" was experimentally studied with the help of a rotary viscometer. Glycerin was added to the model systems in the range of 0.1... 0.5% in steps of 0.1%. The introduction of honey



into the gel solution was 15 ... 35% in increments of 5%. The addition of sesame flour took place in the range of 10 ... 50% in steps of 10%.

The agar-water-glycerin system was prepared as follows. A portion of the dry component was poured into water at 20 ± 2 ° C, stirred, then glycerol was added and allowed to swell for 30-40 × 60 c. Next, this solution was heated in a water bath at a temperature of 85-95 ° C until complete dissolution of the agar. After the agar was completely dissolved, honey (agar-water-glycerin-honey model solution), sesame flour (agar-water-glycerin-honey-sesame flour model solution) was added to the solution and mixed thoroughly.

The effect of glycerin, honey and sesame flour on the dynamic viscosity of agar solutions in the manufacture of fillings for the production of chocolate bars has been scientifically substantiated.

It is determined that the viscosity of the system "agar-water-glycerin" increases 2.5 times with the addition of glycerin concentrations above $0.3 \pm 0.02\%$, which may be due to the synergistic interaction of glycerol with agar, which promotes the formation a large number of intermolecular hydrogen compounds.

Increasing the concentration of glycerol leads to an increase in the rate of crosslinking of the structure and too rapid an increase in strength, which complicates the mixing process. When adding honey in the amount of $25 \pm 2\%$, the desired stable structure of the filling is formed.

Key words: dynamic viscosity, filling, agar, glycerin, honey, sesame flour, model systems, chocolate bar.

С. П. Боковец, Ф. В. Перцевой
Сумской национальный аграрный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ НАЧИНКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БАТОНЧИКОВ ШОКОЛАДНЫХ

Аннотация

Статья посвящена исследованию влияния концентраций рецептурных компонентов и температуры на динамическую вязкость модельных растворов на основе агара при изготовлении начинки для производства шоколадных батончиков.

Экспериментально исследована, с помощью ротационного вискозиметра, динамическая вязкость модельных систем «агар-вода», «агар-вода-глицерин», «агар-вода-глицерин-мед», «агар-вода-глицерин-мед-кунжутная мука».

Научно обосновано влияние глицерина, меда и кунжутной муки на динамическую вязкость агаровых растворов.

Также установлено, что добавление 0,3% глицерина в раствор на основе агара повышает его вязкость и способствует образованию значительного количества межмолекулярных водородных связей. При добавлении меда в количестве $25 \pm 2\%$ появляется желательная устойчивая структура начинки.

Ключевые слова: динамическая вязкость, начинка, агар, глицерин, мед, кунжутная мука, модельные системы, батончик шоколадный.