

УДК 663.916.7

Термогравіметричний аналіз гідрогелів агару у поєднанні з медом та кунжутним борошном для виробництва желейних батончиків

Боковець С.П. , Перцевой Ф.В. 

Сумський національний аграрний університет

 Боковець С.П. E-mail: sergiy_bokovec@ukr.net



Боковець С.П., Перцевой Ф.В. Термогравіметричний аналіз гідрогелів агару у поєднанні з медом та кунжутним борошном для виробництва желейних батончиків. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2023. № 1. С. 114–123.

Bokovets S., Pertsevoi F. Thermogravimetric analysis of agar hydrogels in combination with honey and sesame flour for the product. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2023. № 1. PP. 114–123.

Рукопис отримано: 07.02.2023 р.

Прийнято: 21.02.2023 р.

Затверджено до друку: 25.05.2023 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2023-178-1-114-123

Важливим фактором стабільності та якості гелів під час виробництва, зберігання та використання у складі кондитерських і кулінарних виробів є їх термостійкість, яка залежить від інгредієнтного складу та вмісту сухих речовин. Статтю присвячено термогравіметричному аналізу гідрогелів на основі агару у поєднанні з медом та кунжутним борошном для виробництва желейних батончиків.

Дослідження складалося з двох етапів. На першому вивчали дослідні зразки – окремі інгредієнти готового гідрогелю: агар 1200 ТМ "Fujian Province" (Китай), гліцерин харчовий ТМ BASF (Germany), мед соняшниковий та кунжутне борошно ТМ «Корисне борошно» (Україна). На другому етапі готували зразки агарових гідрогелів із необхідною кількістю допоміжних інгредієнтів: «агар 1 % - вода - гліцерин 0,2 %», «агар 1 % - вода - гліцерин 0,2 % - мед 25 %», «агар 1 % - вода - гліцерин 0,2 % - мед 25 % - кунжутне борошно 20 %».

Порівняльний аналіз кривих показав, що на всіх стадіях розкладання експериментальних зразків відбуваються втрати маси внаслідок випаровування води. Досліджено, що кінцева втрата маси чистого агару від початку дослідження становила 16,91 % (16,75 мг), зміна маси гліцерину – 0,17 % (0,21 мг), втрата маси меду соняшникового – 46,06 % (56,20 мг), а для кунжутного борошна зміна маси становила 7,25 % (8,92 мг).

Дослідження довело, що в комплексних гелях відбувалося зменшення швидкості видалення води, що пов'язано з виникненням додаткових зв'язків між агаром та рецептурними компонентами – медом і кунжутним борошном. Встановлено, що в кінці експерименту маса дослідного зразка, зокрема «агар - вода - гліцерин», змінилася на 42 % (44,10 мг), втрата маси зразка «агар - вода - гліцерин - мед соняшниковий» становила 33,40 % (36,74 мг), маса зразка «агар - вода - гліцерин - мед соняшниковий - кунжутне борошно» поступово зменшувалась та в кінці експерименту змінилася на 28,82 % (34,59 мг) при нагріванні, що пов'язано з випаровуванням водної фази.

Ключові слова: термогравіметричний аналіз, дериватограми, агар, мед, гліцерин, кунжутне борошно, гідрогелі.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Агарові гелі широко використовуються у виробництві різних кондитерських виробів, зокрема желейних батончиків. Нами запропоновано спосіб інноваційної технології желейних батончиків на основі агару шляхом внесення в рецептуру додаткових інгредієнтів меду та борошна кунжутного, багатих на поживні речовини, для використання їх у конди-

терській галузі та ресторанному господарстві. Під час виробництва батончиків з гелеподібною структурою агар слід розглядати не як харчову добавку, а як основний інгредієнт, що визначає структуру готового продукту. Гелі є складними багатокомпонентними системами, що містять високомолекулярні речовини і низькомолекулярну рідину (воду). Щоб скласти рецептури для приготування розчинів з оптимальними

властивостями, необхідно вивчити реологічні властивості водних розчинів окремих компонентів. Важливим фактором стабільності та якості гелів під час виробництва, зберігання та використання у складі кондитерських і кулінарних виробів є їх термостійкість, яка залежить від інгредієнтного складу та вмісту сухих речовин [1–3].

Сьогодні термічний аналіз, особливо дериватографія, є одним із найпоширеніших фізико-хімічних методів дослідження. Він дає змогу вивчати поведінку різних речовин як індивідуально, так і в композиції за запрограмованих умов нагрівання. На практиці різні процеси, що відбуваються під час нагрівання зразка, кількісно оцінюють за екзотермічними кривими та кривими втрати маси [4].

У ході аналітичного огляду виявлено, що дослідження, які стосуються термогравіметричного аналізу гідрогелів агару, у літературі мають розрізнений характер. Це обумовлює актуальність обраного напрямку.

Термогравіметричним аналізом агарових гелів, меду та кунжуту займалися багато вітчизняних та зарубіжних учених [5–22].

Авторами [5–8] досліджено термічну деградацію агару. Встановлено, що термічна деградація агару є одностадійною реакцією, температура термічної деградації зростає зі збільшенням міцності гелю, тобто термічна стабільність агару позитивно корелює з міцністю його гелю. Чим вища міцність гелю агару, тим краща його термічна стабільність.

Вченими [9–12] проведено термогравіметричний аналіз агарового гелю та суміші агару у поєднанні з альгінатом натрію. Аналіз підтвердив щеплення суміші з альгінатом натрію. В агарі втрата маси відбувалася в три етапи: до 105, 370 і 540 °С, що відповідає 12, 64 і 97 % втрат ваги, відповідно.

Метою науковців [13–15] було дослідження реологічних та термічних властивостей різних видів меду. Встановлено, що температура склування змінювалася, залежно від рослинного походження та вмісту вологи в аналізованому зразку меду. Значення температури склування коливалися від 38,54 °С (малиновий мед) до 45,82 °С (соняшниковий мед).

Дослідниками [16–18] вивчено термічну деградацію різних видів меду та їх фізико-хімічних властивості. Зразки меду показали подібні профілі термічної деградації, причому термічний процес починався за кімнатної температури і завершувався за температури майже 60 °С. Термічну поведінку меду також вивчали дослідники А. Відал, В. Санчіс, А. Рамос, С. Шанкар та ін. [19–20].

Авторами [21–22] проведено диференційно-термічний аналіз кунжуту та кунжутної олії. Встановлено, що кунжутна олія є добре стабілізованою проти термічного розкладання завдяки збалансованому співвідношенню моно- та поліненасичених жирних кислот і наявності природних антиоксидантів, зокрема сезамолу і токоферолу.

Мета дослідження – термогравіметричний аналіз гідрогелів агару у поєднанні з медом та кунжутним борошном для виробництва желейних батончиків.

Матеріал і методи дослідження. З метою вивчення термічного розкладання, окиснення, сумісності активних та допоміжних речовин доцільно застосовувати термогравіметричний аналіз, який дає змогу отримувати дериваторами як індивідуальних речовин, так і їх композицій. Дослідження складалося з двох етапів. На першому вивчали окремі інгредієнти запропонованих желейних батончиків: агар 1200 ТМ "Fujian Province" (Китай), гліцерин харчовий ТМ BASF (Germany), мед соняшниковий та кунжутне борошно ТМ «Корисне борошно» (Україна).

На другому етапі готували зразки агарових гідрогелів, що слугують як корпус для запропонованих батончиків, із необхідною кількістю допоміжних інгредієнтів: «агар 1 % – вода – гліцерин 0,2 %», «агар 1 % – вода – гліцерин 0,2 % – мед 25 %», «агар 1 % – вода – гліцерин 0,2 % – мед 25 % – кунжутне борошно 20 %».

Отримані дані дериватографічно фіксував у вигляді кривих T, DTA, TG, DTG, які представлено на рисунках 1–7. Крива T, °С на дериватограмі показує зміну температури, а крива TG, m – зміну маси зразка в період дослідження. Крива DTA відображає диференціювання теплових ефектів, містить інформацію про ендотермічні та екзотермічні максимуми. Крива DTG реєструє зміну маси речовини в залежності від часу або температури.

Результати дослідження та обговорення. Аналіз дериватограми агару (рис. 1) показав, що цей зразок є відносно термічно стабільною сполукою в діапазоні температур від 17 до 45 °С. На сімнадцятій хвилині експерименту, за температури 46,2 °С, спостерігали зміну маси зразку, яка від початку експерименту змінилася на 0,33 % (0,33 мг). На двадцять дев'яту хвилину експерименту, за температури 70,66 °С, маса сполуки змінилася на 3,95 % (3,99 мг), а на сорок першій хвилині експерименту, за температури 120,78 °С, зміна маси агару вже становила 13,68 % (13,54 мг).

Наприкінці експерименту, за температури 207 °С, втрата маси зразка від початку дослідження становила 16,91 % (16,75 мг).

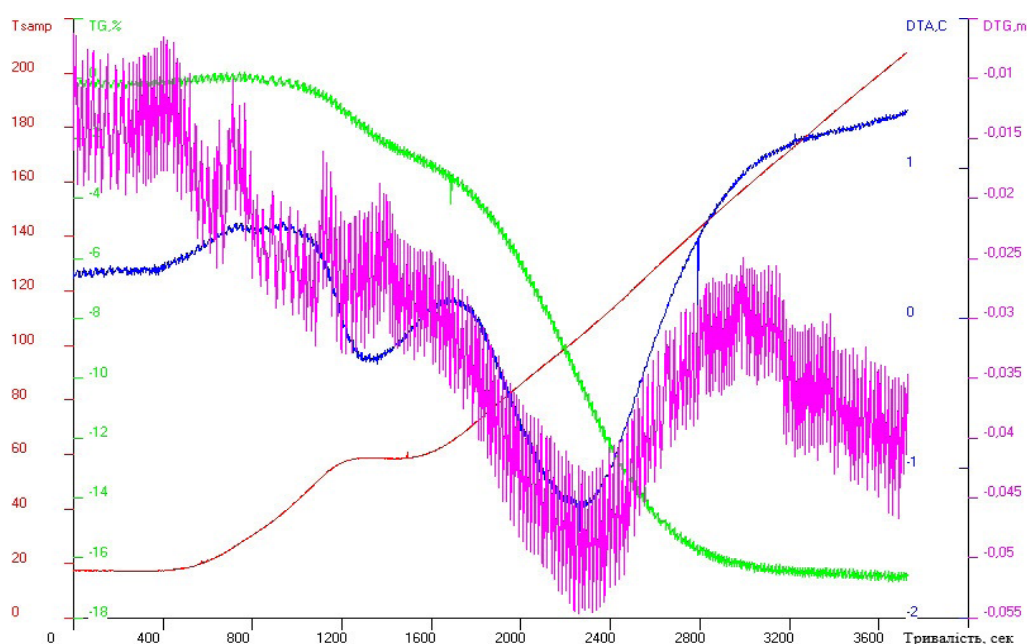


Рис. 1. Дериватограма чистого агару.

Як видно з наведених даних (рис. 2), діюча речовина – гліцерин є термічно стійкою сполукою в діапазоні температур від 20 до 150 °С. На сорок шостій хвилині експерименту, за температури 150,88 °С, маса дослідного зразка зменшилась на 0,44 % (0,56 мг), а вже на шістдесятій хвилині досліді, за температури 205,36 °С, спостерігали незначний ендотермічний ефект, при цьому маса гліцерину зменшилась на 4,70 % (5,87 мг). Потім поступово маса зменшувалась до 45,45 % (56,82 мг) за температури 230,65 °С.

Встановлено (рис. 3), що до 45 °С досліджувані зразок меду є стабільним. На шістнадцятій хвилині експерименту, за температури 45,12 °С, спостерігається зміна маси зразка, яка від початку експерименту змінилася на 0,17 % (0,21 мг).

На тридцять четвертій хвилині експерименту, за температури 120,05 °С, маса зразка змінилася на 4,76 % (5,81 мг), а на сорок сьомій хвилині експерименту, за температури 172,78 °С, зміна маси меду вже становила 16,41 % (20,02 мг). Наприкінці експерименту, за температури 249,41 °С, втрата маси зразку від початку досліді становила 46,06 % (56,20 мг).

Як видно з наведених даних (рис. 4), кунжутне борошно є термічно стійким в діапазоні температур від 20 до 50 °С. На шістнадцятій хвилині експерименту, за температури 50,37 °С, маса дослідного зразка зменшилась на 0,15 %

(0,18 мг). Втрата маси зразка за температури 110,06 °С становила 3,73 % (4,58 мг), а вже на тридцять шостій хвилині досліді, за температури 130,42 °С, спостерігали зміну маси на 5,24 % (6,45 мг). Потім поступово маса зменшувалась до 7,25 % (8,92 мг) за температури 197 °С.

Встановлено (рис. 5), що до 35 °С зразки агарового гідрогелю у поєднанні з гліцерином стабільні, а зміна маси досліджуваного зразка починається за температури 35,60 °С. В інтервалі температур 40–145 °С втрата маси зразка супроводжується вираженим ендотермічним ефектом – випарюванням та становить 28,94 % (30,39 мг) від початку досліді. На сорок дев'яній хвилині експерименту, за температури 190,43 °С, маса зразка зменшилась на 35,99 % (37,79 мг). У кінці експерименту маса дослідного зразка змінилася на 42 % (44,10 мг).

Аналіз дериватограми модельного зразка «агар – вода – гліцерин – мед» (рис. 6) показав, що цей зразок є стабільним в діапазоні температур від 20 до 30 °С. На п'ятнадцятій хвилині експерименту, за температури 30,23 °С, спостерігали зміну маси зразка, яка від початку експерименту змінилася на 0,82 % (0,90 мг). За подальшого нагрівання відбувається значна втрата води внаслідок її інтенсивного випаровування – 13,82 % (15,26 мг), а за температури 150 °С зміна маси агару вже становила 24,89 % (27,38 мг). Це, ймовірно, пов'язано з випаровуванням водної фази. Наприкінці

експерименту, за температури 208 °С, втрата маси зразка від початку досліджу становила 33,40 % (36,74 мг).

З рисунку 7 видно, що модельний зразок «агар – вода – гліцерин – мед – кунжутне борошно» має подібний профіль динаміки зміни маси у порівнянні з попереднім зразком, однак втрата маси була дещо нижчою. В інтервалі температур 30–120 °С втрата маси досліджуваного зразка становила 11,08 % (13,29 мг). Далі маса поступово зменшувалась та в кінці експерименту змінилася на 28,82 % (34,59 мг) за температури 204 °С, що пов'язано з випаровуванням водної фази.

У таблиці 1 представлено теплофізичні характеристики трьох різних модельних систем на основі агару з додаванням різних інгредієнтів, які додаються до складу гелю.

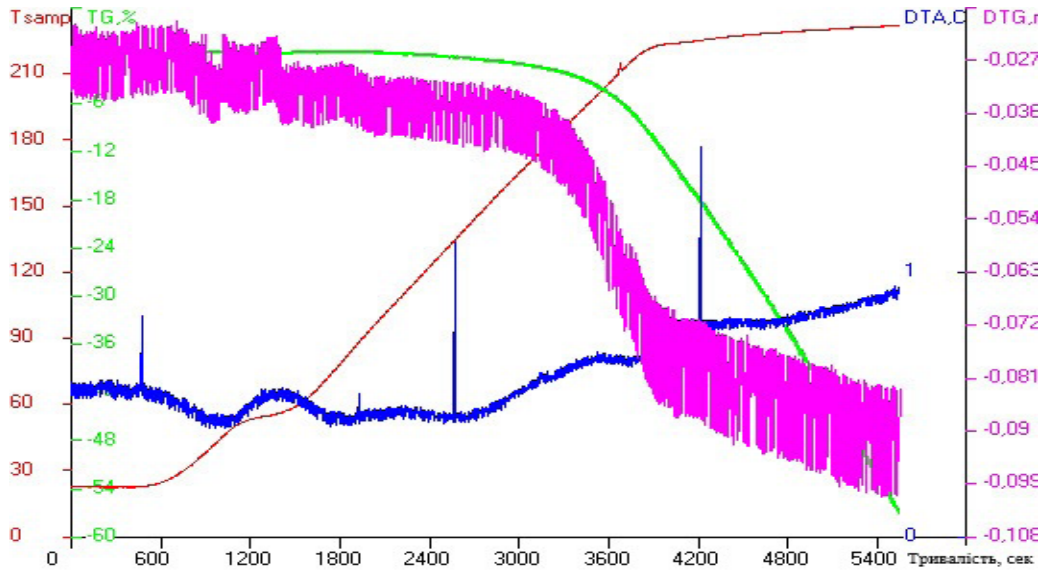


Рис. 2. Дериватограма гліцерину.

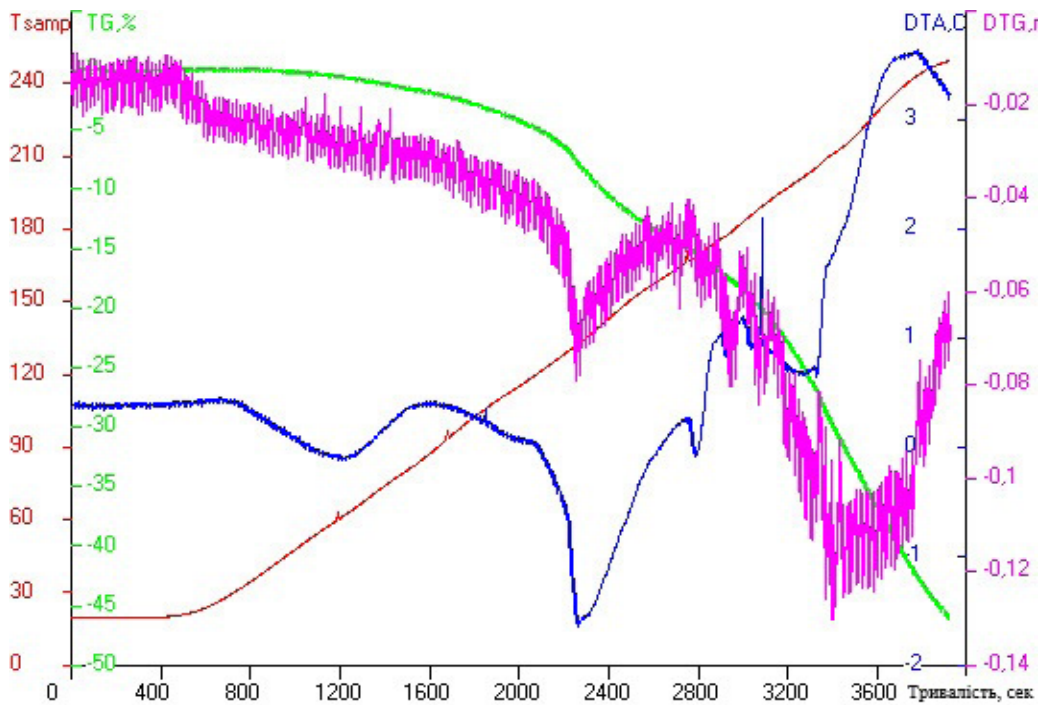


Рис. 3. Дериватограма меду соняшникового.

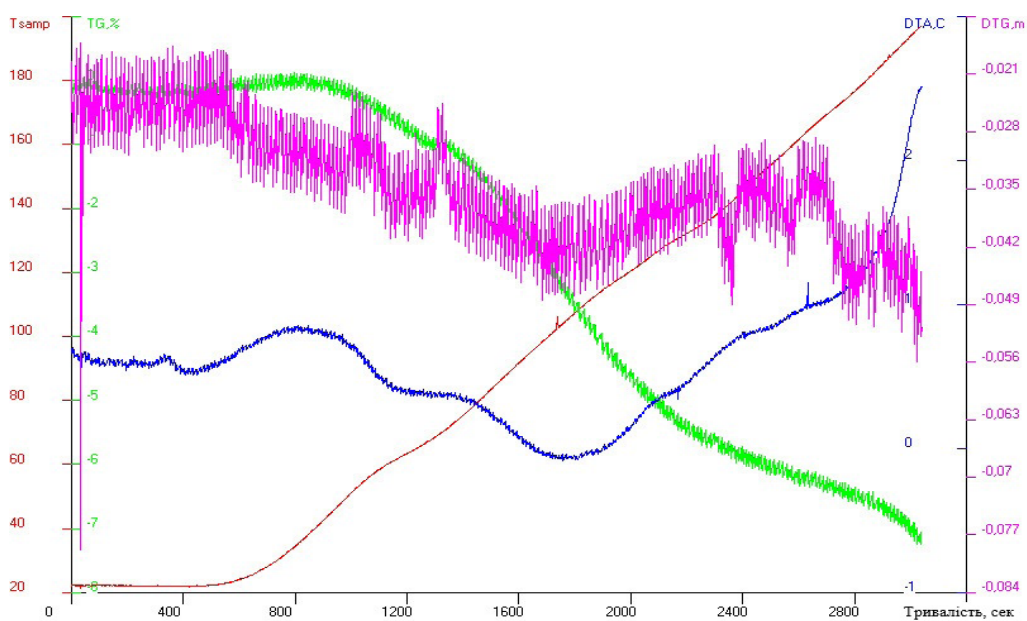


Рис. 4. Дериватограма кунжутного борошна.

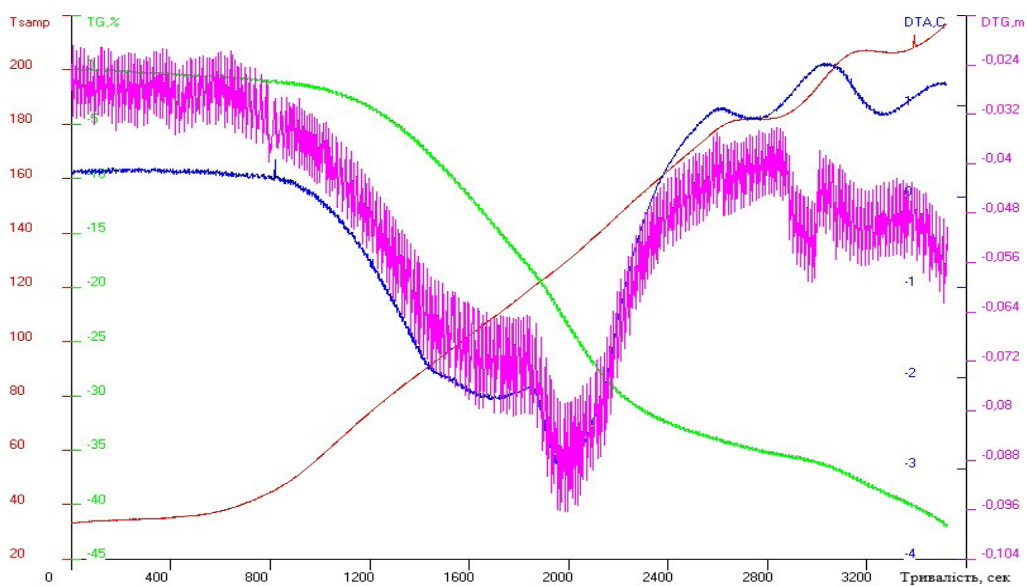


Рис. 5. Дериватограма гідрогелю «агар – вода – гліцерин».

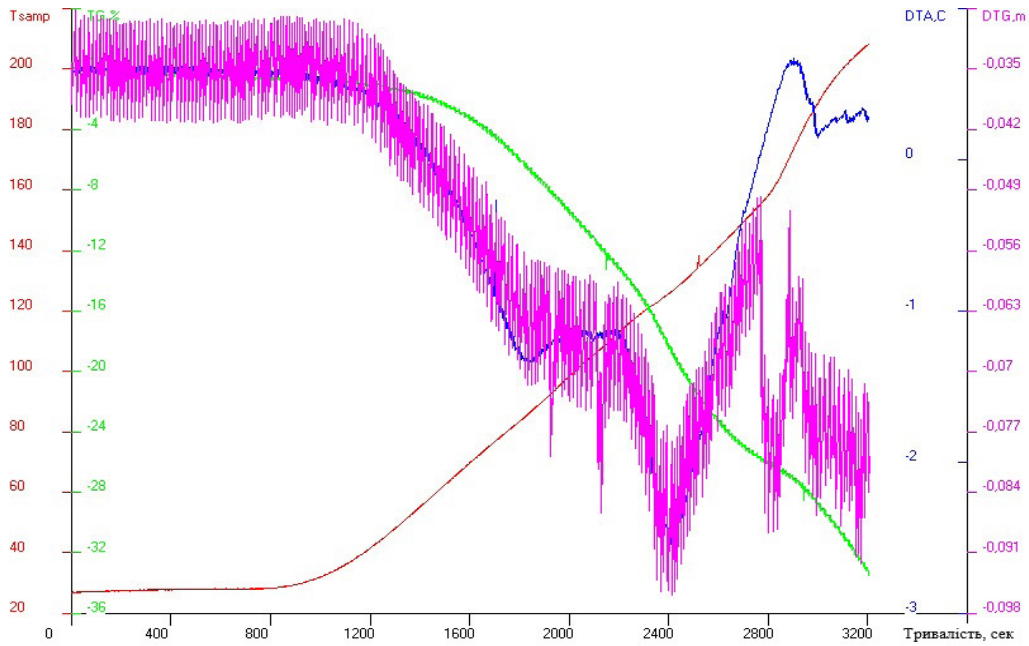


Рис. 6. Дериватограма гідрогелю «агар – вода – гліцерин – мед».

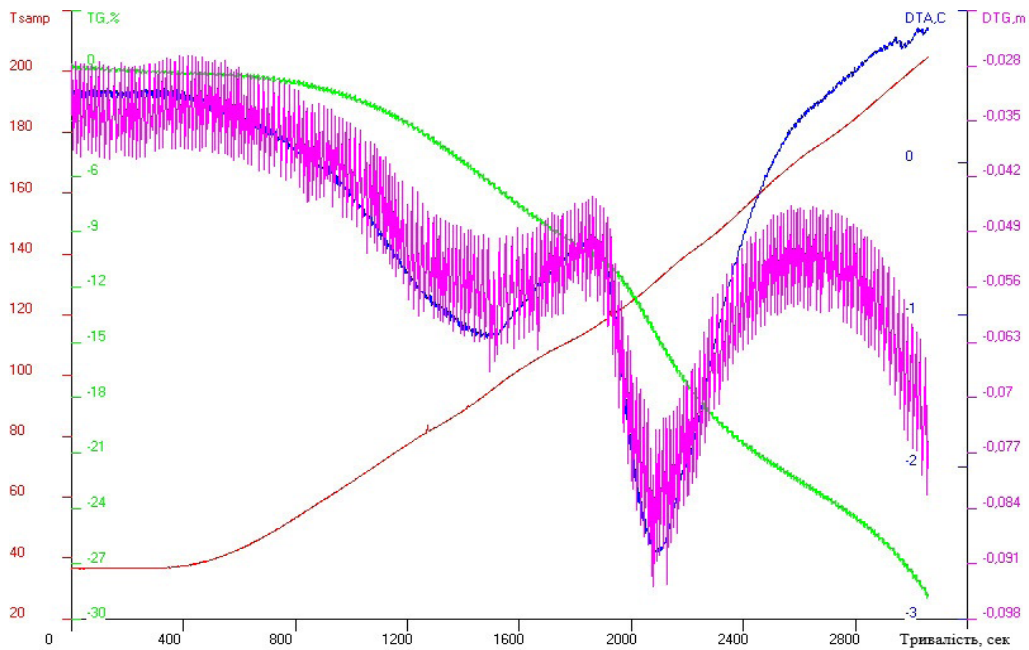


Рис. 7. Дериватограма гідрогелю «агар – вода – гліцерин – мед – кунжутне борошно».

Таблиця 1 – Теплофізичні характеристики агарових гелів

Модельні системи	Характеристики	
	Температура нагрівання, °C	Зміна маси, %
Агар – вода – гліцерин	35	–
	145	28,94
	190	35,99
	217	42,00
Агар – вода – гліцерин – мед	30	–
	115	13,82
	150	24,89
	208	33,40
Агар – вода – гліцерин – мед – кунжутне борошно	30	–
	120	11,08
	160	21,24
	204	28,82

З таблиці видно, що серед усіх досліджених зразків найбільшу термічну стійкість має модельний зразок «агар – вода – гліцерин – мед – кунжутне борошно», оскільки він зберігає свою масу майже без змін навіть після нагрівання до 204 °C. Крім того, цей зразок має найнижчу зміну маси за всіх температур, у порівнянні з іншими модельними системами. Умови та хід експерименту дають змогу висунути гіпотезу, що цей зразок є найбільш термостійким серед усіх досліджених зразків.

Результати отриманих досліджень агарових гелів можуть бути корисними для виробництва желейних батончиків з високою термостійкістю, завдяки якій желейні батончики можуть зберігатися за високих температурах і не втрачати свої властивості, такі як форма, текстура та смак.

Висновки. Проведено термогравіметричний аналіз рецептурних компонентів желейних батончиків, зокрема агару, гліцерину, меду, кунжутного борошна, а також модельних систем «агар – вода – гліцерин», «агар – вода – гліцерин – мед», «агар – вода – гліцерин – мед – кунжутне борошно», які слугують корпусом для батончиків.

Порівняльний аналіз кривих (TG, DTG, DTA, T) дає підстави вважати, що на всіх стадіях розкладання експериментальних зразків агарових гелів відбуваються втрати маси внаслідок випаровування води. Однак у комплексних гелях відбувається зменшення швидкості видалення води, що пов'язано з виникненням додаткових зв'язків між агаром та рецептурними компонентами желейного батончика – медом і кунжутним борошном. Доведено, що найбільшу термічну стійкість має зразок «агар – вода – гліцерин – мед – кунжутне борошно». Об'єкт дослідження характеризують високою

термостійкістю. Поєднання зазначених компонентів позитивно вплине на терміни зберігання желейних батончиків, адже з таким компонентним складом вони можуть бути зручними для перевезення та зберігання, зокрема в умовах високих температур. Крім того, використання агарових гелів з низькою зміною маси під час нагрівання може допомогти зберегти корисні властивості продукту, такі як вміст вітамінів та мікроелементів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дорохович А. М., Мурзін А. В., Клепиков І. Л. Тиксотропія кондитерських агарових гелів. Хлебный и кондитерский бизнес. 2014. № 6 (19). С. 34–37. URL:<http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/20285>.
2. Соколовська І. О., Камбулова Ю. В., Оверчук Н. О. Дослідження ступеню зв'язування води в гелях пектину і альгінату натрію. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. Vol. 2(11). С. 1–11. DOI:10.15587/1729-4061.2016.65746.
3. Шаніна О. М., Боровікова Н. О., Гавриш Т. В., Дугіна К. В., Фейзопуло О. Е. Вплив добавок білкової та полісахаридної природи на вологоутримуючу здатність безклеювинного тіста. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. 2019. 207. С. 132–141. URL:<https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/4970>.
4. Дериватографічні дослідження компонентів розроблених молоковмісних термостабільних начинок з желатином та трансглутаміназою / О. Ю. Кошель та ін. Науковий вісник ТДАТУ. 2020. Вип. 10. Т. 2. С. 232–238. URL:<http://repo.snau.edu.ua:8080/xmlui/handle/123456789/9029>.
5. Thermal degradation of agar: mechanism and toxicity of products / Q. Q. Ouyang et al. Food Chemistry. 2018. Vol. 264. P. 277–283. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.04.098.
6. Shankar S., Reddy J. P., Rhim J. W. Effect of lignin on water vapor barrier, mechanical, and structural

- properties of agar/lignin composite films. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2015. Vol. 81. P. 267–273. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2015.08.015.
7. Kasprzyk I., Depciuch J., Grabek-Lejko D., Parlinska-Wojtan M. FTIR-ATR Spectroscopy of Pollen and Honey as a Tool for Unifloral Honey Authentication. The Case Study of Rape Honey. *Food Control*. 2018. Vol. 84 P. 33–40. DOI:10.1016/j.foodcont.2017.07.015.
 8. Martínez-Sanz M., Gómez-Mascaraque L. G., Ballester A. R. Production of unpurified agar-based extracts from red seaweed *Gelidium sesquipedale* by means of simplified extraction protocols. *Algal Research*. 2019. Vol. 38. 101420 p. DOI:10.1016/j.algal.2019.101420.
 9. Thermal degradation kinetics of all-trans and cis-carotenoids in a light-induced model system / Y. D. Xiao et al. *Food Chemistry*. 2018. Vol. 239. P. 360–368. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.06.107.
 10. Pradhan G., Chandra Sharma Y. Studies on green synthesis of glycerol carbonate from waste cooking oil derived glycerol over an economically viable NiMgOx heterogeneous solid base catalyst. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 264. 121258 p. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.121258.
 11. Neuroprotective Effects of Engineered Polymeric Nasal Microspheres Containing Hydroxypropyl- β -cyclodextrin on β -Amyloid (1-42)-Induced Toxicity / A. Yalcin et al. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2016. Vol. 105 (8). P. 2372–2380. DOI:10.1016/j.xphs.2016.05.017.
 12. Differentiation of Anatolian Honey Samples from Different Botanical Origins by ATR-FTIR Spectroscopy Using Multivariate Analysis / S. Gok et al. *Food Chemistry*. 2015. Vol. 170. P. 234–240. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.08.040.
 13. Pauliuc D., Dranca F., Ropciuc S., Oroian M. Advanced Characterization of Monofloral Honeys from Romania. *Food Agriculture*. 2022. Vol. 12 (4). 526 p. DOI:10.3390/agriculture12040526.
 14. Siddiqui A. J., Musharraf S. G., Choudhary M. I., Rahman A. Application of Analytical Methods in Authentication and Adulteration of Honey. *Food Chem*. 2017. Vol. 217. P. 687–698. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.09.001.
 15. Singh I., Singh S. Honey Moisture Reduction and Its Quality. *Journal of Food Science and Technology*. 2018. Vol. 55. P. 3861–3871. DOI:10.1007/s13197-018-3341-5.
 16. Thermal degradation of honeys and evaluation of physicochemical properties / I. A. A. Silva et al. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2013. Vol. 114. P. 353–358. DOI:10.1007/s10973-012-2926-x.
 17. Shankar S., Rhim J. W. Tocopherol-mediated synthesis of silver nanoparticles and preparation of antimicrobial PBAT/silver nanoparticles composite films. *LWT - Food Science and Technology*. 2016. Vol. 72. P. 149–156. DOI:10.1016/j.lwt.2016.04.054.
 18. Fathiraja P., Gopalrajan S., Karunanithi M. Process optimization and characterization of composite biopolymer films obtained from fish scale gelatin, agar and chitosan using response surface methodology. *Polymer Bulletin*. 2022. DOI:10.1007/s00289-022-04540-4.
 19. Vidal A., Sanchis V., Ramos A. J., Marin S. Thermal stability and kinetics of degradation of deoxynivalenol, deoxynivalenol conjugates and ochratoxin A during baking of wheat bakery products. *Food Chemistry*. 2015. Vol. 178. P. 276–286. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.01.098.
 20. Shankar S., Teng X., Rhim J. W. Properties and characterization of agar/CuNP bionanocomposite films prepared with different copper salts and reducing agents. *Carbohydrate Polymers*. 2014. Vol. 114. P. 484–492. DOI:10.1016/j.carbpol.2014.08.036.
 21. Ghosh M., Upadhyay R., Mahato D. K., Mishra H. N. Thermal and oxidative stability assessment of synergistic blends of sunflower and sesame oils tailored for nutritionally stable composition of omega fatty acids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2019. Vol. 135. P. 2389–2398. DOI:10.1007/s10973-018-7342-4.
 22. Bhatnagar A. S., Hemavathy J., Krishna A. G. Development of a rapid method for determination of lignans content in sesame oil. *Journal of Food Science and Technology*. 2015. Vol. 52. P. 521–527. DOI:10.1007/s13197-013-1012-0.

REFERENCES

1. Dorokhovych, A. M., Murzin, A. V., Klepikov, I. L. (2014). Tyksotropiia kondyterskykh aharovykh heliv [Thixotropy of confectionery agar gels]. Hlebnyy i konditerskiy biznes [Bread and confectionery business]. no. 6 (19), pp. 34–37. Available at: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/20285>.
2. Sokolovska, I. O., Kambulova, Yu. V., Overchuk, N. O. (2016). Doslidzhennia stupeniu zviazuvannia vody v heliakh pektynu i alhinatu natriiu [Study of the degree of water binding in pectin and sodium alginate gels]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 2 (11), pp. 1–11. DOI:10.15587/1729-4061.2016.65746.
3. Shanina, O. M., Borovikova, N. O., Havarish, T. V., Duhina, K. V., Feizopulo, O.E. (2019). Vplyv dobavok bilkovoi ta polisakharydnoi pryrody na volohoutrymuiuchu zdattist bezkleikovynnoho tista [The effect of protein and polysaccharide additives on the moisture-retaining capacity of gluten-free dough]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva* [Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture]. no. 207, pp. 132–141. Available at: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/4970>.
4. Koshel, O. Yu., Pertsevoi, F. V., Marchenko, O. S., Chuiko, O. V., Samilyk, M. M. (2020). Deryvatohrafichni doslidzhennia komponentiv rozroblenykh molokvmisnykh termostabilnykh nachynok z zhelatynom ta transhliutaminazoiu. [Derivatographic studies of the components of the developed milk-containing thermostable fillings with gelatin and transglutaminase]. *Naukovyi visnyk TDATU* [Scientific Bulletin of TDATU]. no. 10, pp. 232–238. Available at: <http://repo.snau.edu.ua:8080/xmlui/handle/123456789/9029>.

5. Ouyang, Q. Q., Zhang, H., Li, S. D., Quan, W. Y., Wen, L. L., Yang, Z. M., Li, P. W. (2018). Thermal degradation of agar: mechanism and toxicity of products. *Food Chemistry*, vol. 264, pp. 277–283. DOI:10.1016/j.foodchem.2018.04.098.
6. Shankar, S., Reddy, J. P., Rhim, J. W. (2015). Effect of lignin on water vapor barrier, mechanical, and structural properties of agar/lignin composite films. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 81, pp. 267–273. DOI:10.1016/j.ijbiomac.2015.08.015.
7. Kasprzyk, I., Depciuch, J., Grabek-Lejko, D., Parlinska-Wojtan, M. (2018). FTIR-ATR Spectroscopy of Pollen and Honey as a Tool for Unifloral Honey Authentication. The Case Study of Rape Honey. *Food Control*, vol. 84, pp. 33–40. DOI:10.1016/j.foodcont.2017.07.015.
8. Martínez-Sanz, M., Gómez-Mascaraque, L. G., Ballester, A. R. (2019). Production of unpurified agar-based extracts from red seaweed *Gelidium sesquipedale* by means of simplified extraction protocols. *Algal Research*, vol. 38, 101420 p. DOI:10.1016/j.algal.2019.101420.
9. Xiao, Y. D., Huang, W. Y., Li, D. J., Song, J. F., Liu, C. Q., Wei, Q. Y., Zhang, M., Yang, Q. M. (2018). Thermal degradation kinetics of all-trans and cis-carotenoids in a light-induced model system. *Food Chemistry*, vol. 239, pp. 360–368. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.06.107.
10. Pradhan, G., Chandra Sharma, Y. (2020). Studies on green synthesis of glycerol carbonate from waste cooking oil derived glycerol over an economically viable NiMgOx heterogeneous solid base catalyst. *Journal of Cleaner Production*, vol. 264, 121258 p. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.121258.
11. Yalcin, A., Soddu, E., Turunc Bayrakdar, E., Uyanikgil, Y., Kanit, L., Armagan, G., Rassu, G., Gavini, E., Giunchedi, P. (2016). Neuroprotective Effects of Engineered Polymeric Nasal Microspheres Containing Hydroxypropyl- β -cyclodextrin on β -Amyloid (1-42)-Induced Toxicity. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 105 (8), pp. 2372–2380. DOI:10.1016/j.xphs.2016.05.017.
12. Gok, S., Severcan, M., Goormaghtigh, E., Kandemir, I., Severcan, F. (2015). Differentiation of Anatolian Honey Samples from Different Botanical Origins by ATR-FTIR Spectroscopy Using Multivariate Analysis. *Food Chemistry*, vol. 170, pp. 234–240. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.08.040.
13. Pauliuc, D., Dranca, F., Ropciuc, S., Oroian, M. (2022). Advanced Characterization of Monofloral Honeys from Romania. *Food Agriculture*, Vol. 12 (4), 526 p. DOI:10.3390/agriculture12040526.
14. Siddiqui, A. J., Musharraf, S. G., Choudhary, M. I., Rahman, A. (2017). Application of Analytical Methods in Authentication and Adulteration of Honey. *Food Chem.*, vol. 217, pp. 687–698. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.09.001.
15. Singh, I., Singh, S. (2018). Honey Moisture Reduction and Its Quality. *Journal of Food Science and Technology*, vol. 55, pp. 3861–3871. DOI:10.1007/s13197-018-3341-5.
16. Silva, I. A. A., Souza, A. L., Cordeiro, A. M., Soledade T. M., L. E. B., Queiroz, N., Souza, A. G. (2013). Thermal degradation of honeys and evaluation of physicochemical properties. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 114, pp. 353–358. DOI:10.1007/s10973-012-2926-x.
17. Shankar, S., Rhim, J. W. (2016). Tocopherol-mediated synthesis of silver nanoparticles and preparation of antimicrobial PBAT/silver nanoparticles composite films. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 72, pp. 149–156. DOI:10.1016/j.lwt.2016.04.054.
18. Fathiraja, P., Gopalrajan, S., Karunanithi, M. (2022). Process optimization and characterization of composite biopolymer films obtained from fish scale gelatin, agar and chitosan using response surface methodology. *Polymer Bulletin*. DOI:10.1007/s00289-022-04540-4.
19. Vidal, A., Sanchis, V., Ramos, A. J., Marin, S. (2015). Thermal stability and kinetics of degradation of deoxynivalenol, deoxynivalenol conjugates and ochratoxin A during baking of wheat bakery products. *Food Chemistry*, vol. 178, pp. 276–286. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.01.098.
20. Shankar, S., Teng, X., Rhim, J. W. (2014). Properties and characterization of agar/CuNP bionanocomposite films prepared with different copper salts and reducing agents. *Carbohydrate Polymers*, vol. 114, pp. 484–492. DOI:10.1016/j.carbpol.2014.08.036.
21. Ghosh, M., Upadhyay, R., Mahato, D. K., Mishra, H. N. (2019). Thermal and oxidative stability assessment of synergistic blends of sunflower and sesame oils tailored for nutritionally stable composition of omega fatty acids. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 135, pp. 2389–2398. DOI:10.1007/s10973-018-7342-4.
22. Bhatnagar, A. S., Hemavathy, J., Krishna, A. G. (2015). Development of a rapid method for determination of lignans content in sesame oil. *Journal of Food Science and Technology*, vol. 52, pp. 521–527. DOI:10.1007/s13197-013-1012-0.

Thermogravimetric analysis of agar hydrogels in combination with honey and sesame flour for the product

Bokovets S., Pertsevoi F.

An important factor in the stability and quality of gels during production, storage and use as part of confectionery and culinary products is their heat resistance, which depends on the ingredient composition and the content of dry substances. The article is devoted to the thermogravimetric analysis of agar-based hydrogels in combination with honey and sesame flour for the production of bars.

The study consisted of two stages. At the first, experimental samples were studied - individual ingredients of the finished hydrogel: agar 1200 TM "Fujian Province" (China), food glycerin TM BASF (Germany), sunflower honey and sesame flour TM "Useful flour" (Ukraine). At the second stage, samples of agar hydrogels were prepared with the required amount of auxiliary ingredients: "agar 1%-water-glycerol 0.2%", "agar 1%-water-glycerol 0.2%-honey 25%", "agar 1%-water-glycerin 0.2%-honey 25%-sesame flour 20%".

The comparative analysis of the curves showed that at all stages of decomposition of the experimental samples, mass losses occur due to water evaporation. It was investigated that the final mass loss for pure agar from the beginning of the experiment was 16.91% (16.75 mg), the change in the mass of glycerin was 0.17% (0.21 mg), the mass loss of sunflower honey was 46.06% (56.20 mg.), and for sesame flour, the mass change was 7.25% (8.92 mg).

However, in complex gels, there was a decrease in the rate of water removal, which is associated with the appearance of additional bonds between agar and reci-

pe components - honey and sesame flour. It was established that at the end of the experiment, the mass of the test sample, namely "agar-water-glycerin", changed by 42% (44.10 mg), the mass loss of the "agar-water-glycerin-sunflower honey" sample was 33.40% (36.74 mg.), the mass of the sample "agar-water-glycerin-sunflower honey-sesame flour" gradually decreased and at the end of the experiment changed by 28.82% (34.59 mg) at the temperature, which is associated with the evaporation of water phases.

Key words: thermogravimetric analysis, derivatograms, agar, honey, glycerin, sesame flour, hydrogels.



Copyright: Боковець С.П., Перцевой Ф.В.© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Боковець С.П.

Перцевой Ф.В.

<https://orcid.org/0000-0003-0466-2426>

<https://orcid.org/0000-0002-3111-5017>