

## ДЕРИВАТОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ КОМПОНЕНТІВ БАТОНЧИКА ЖЕЛЕЙНОГО З ВИКОРИСТАННЯМ БОРОШНА ГОРІХІВ КЕШ'Ю

Боковець Сергій Петрович

доктор філософії, старший викладач

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-0466-2426

serhii.bokovets@snau.edu.ua

Ключовим фактором для забезпечення стабільності та якості гелів під час їх виробництва, зберігання та використання в кондитерських та кулінарних виробках є їхній рівень термостійкості, який залежить від складу та вмісту сухих речовин. Однак поряд з термостійкістю гелів, важливо також враховувати їхню реологічну стабільність, яка визначається здатністю матеріалу зберігати свою форму та властивості під час зберігання та використання. У цій статті аналізуються термогравіметричні властивості гідрогелів, створених на основі агару та включають у себе мед і борошно з кеш'ю для виробництва желейних батончиків. Дослідження складалося з двох основних етапів. Перший етап включав вивчення окремих інгредієнтів, які входять до гідрогелю: агар 1200 ТМ «Fujian Province» (Китай), харчовий гліцерин ТМ BASF (Німеччина), соняшниковий мед та борошно з кеш'ю. Другий етап включав підготовку зразків гідрогелів на основі агару з урахуванням необхідних інгредієнтів: «агар 1 % – вода – гліцерин 0,2 %», «агар 1 % – вода – гліцерин 0,2 % – мед 25 %», «агар 1 % – вода – гліцерин 0,2 % – мед 25 % – борошно кеш'ю 20 %». Порівняльний аналіз показав, що на всіх етапах розкладу експериментальних зразків спостерігається втрата маси через випаровування води. Встановлено, що кінцева втрата маси для чистого агару від початку дослідження становила 16,91 % (або 16,75 мг). Зміна маси для гліцерину складала 0,17 % (або 0,21 мг), втрата маси соняшникового меду становила 46,06 % (або 56,20 мг), а для борошна з кеш'ю зміна маси складала 7,25 % (або 8,92 мг). У складних гелях спостерігалася зменшення швидкості видалення води, що пояснюється формуванням додаткових зв'язків між агаром та іншими компонентами композиції, такими як мед та борошно з кеш'ю. Встановлено, що до кінця експерименту маса тестового зразка «агар-вода-гліцерин» змінилася на 42 % (або 44,10 мг), втрата маси зразка «агар-вода-гліцерин-мед» становила 33,40 % (або 36,74 мг), а маса зразка «агар-вода-гліцерин-мед-борошно з кеш'ю» поступово зменшилася і до кінця експерименту змінилася на 28,82 % (або 34,59 мг) при підвищеній температурі, пов'язаній із випаровуванням водяної фази.

**Ключові слова:** дериватограми, агар, мед, гліцерин, борошно горіхів кеш'ю, гідрогелі.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.2.2>

**Постановка проблеми.** Агарові гелі активно використовуються у виробництві різних видів кондитерської продукції, зокрема желейних батончиків. Наша пропозиція полягає у застосуванні інноваційної технології для створення желейних батончиків на основі агару шляхом додавання до рецептури додаткових компонентів - меду та борошна горіхів кеш'ю, які багаті поживними речовинами (Dorokhovych et al., 2014).

У процесі виробництва батончиків з гелеподібною структурою агар відіграє роль основного інгредієнта, який визначає структуру готового продукту. Гелі представляють собою складні системи, що містять високомолекулярні речовини та рідину (воду). Для створення рецептур з оптимальними властивостями необхідно вивчити реологічні властивості водних розчинів окремих компонентів. Важливим фактором для стабільності та якості гелів під час виробництва, зберігання та використання в кондитерській і кулінарній продукції є їхня термостійкість, яка залежить від складу і вмісту сухих речовин (Sokolovska et al., 2016; Shanina et al., 2019).

Сьогодні термічний аналіз, особливо дериватографія, є одним із найпоширеніших фізико-хімічних методів дослідження. Цей метод дозволяє вивчати поведінку різних речовин як окремо, так і в композиціях за заданих умов нагрівання. На практиці, різні процеси, які відбуваються під час нагрівання зразка, можна кількісно

оцінювати за екзотермічними кривими та кривими втрати маси (Koshel et al., 2020; Ouyang Q-Q et al., 2018).

Під час аналізу літературних джерел виявлено, що дослідження, пов'язані з термогравіметричним аналізом агарових гелів, мають різний характер. Це визначає актуальність обраного напряму дослідження.

**Огляд літератури.** Багато вчених як в Україні, так і за кордоном вивчали термогравіметричні характеристики агарових гелів, меду і кеш'ю.

У роботах (Shankar et al., 2015; Kasprzyk et al., 2018; Martínez-Sanz et al., 2019) проводилося дослідження термічної деструкції агару. Було встановлено, що цей процес є одностадійним, і температура термічної деструкції зростає разом із збільшенням міцності гелю, тобто міцність гелю агару позитивно корелює із його термічною стабільністю. Іншими словами, чим міцніший гель агару, тим краща його термічна стабільність.

Дослідники (Xiao et al., 2018; Pradhan & Chandra Sharma, 2020; Yalcin et al., 2016) також провели термогравіметричний аналіз агарового гелю і суміші агару з альгінатом натрію. Аналіз підтвердив взаємодію суміші з альгінатом натрію. В агарі спостерігалася втрата маси на трьох етапах: при температурах до 105, 370 та 540 °С, що відповідає втраті ваги відповідно в 12 %, 64 % та 97 %.

Дослідники (Gok et al., 2015; Pauliuc et al., 2022; Siddiqui et al., 2017) провели дослідження реологічних та

термічних властивостей різних видів меду. Було встановлено, що температура склування змінюється залежно від походження рослин та вмісту вологи у меді. Значення температури склування коливаються від - 38,54 °C (малиновий мед) до - 45,82 °C (соняшниковий мед).

Дослідники (Singh & Singh, 2018) також дослідили термічну деградацію різних видів меду та оцінили їх фізико-хімічні властивості. Зразки меду проявили подібні профілі термічної деградації, починаючи з кімнатної температури і закінчуючи температурою близько 60 °C.

Автори (Silva et al., 2013; Shankar & Rhim, 2016) також провели диференційно-термічний аналіз кунжуту та кунжутної олії. Вони встановили, що кунжутна олія є стабільною до термічного розкладання завдяки збалансованому вмісту мононенасичених і поліненасичених жирних кислот, а також наявності природних антиоксидантів, таких як сезамол і токоферол.

Метою статті є термогравіметричний аналіз гідрогелів агару у поєднанні з медом та борошном горіхів кеш'ю для виробництва желейних батончиків.

**Матеріали і методи досліджень.** Для дослідження термічного розкладу, окислення та сумісності активних та допоміжних компонентів було вигідно використовувати термогравіметричний аналіз. Цей метод дозволяє аналізувати як окремі речовини, так і їх комбінації за допомогою дериватографів. Дослідження складалося з двох етапів. По-перше, ми досліджували окремі інгредієнти, які входили до складу запропонованих желейних батончиків: агар 1200 ТМ «Fujian Province» (Китай), харчовий гліцерин ТМ BASF (Німеччина), соняшниковий мед і борошно горіхів кеш'ю.

На другому етапі ми готували зразки агарових гідрогелів, які служили корпусом для запропонованих батончиків, з відповідною 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 % – борошно горіхів кеш'ю 20 %».

Отримані дані були записані за допомогою дериватографічних кривих T, DTA, TG, DTG, які представлені на рисунках 1-7. Крива T, °C на дериватограмі відображає зміну температури, крива TG, m - зміну маси зразка протягом експерименту. Крива DTA відображає

диференціацію теплових ефектів та містить інформацію про ендотермічні та екзотермічні піки. Крива DTG фіксує зміну маси речовини в залежності від часу або температури.

**Результати.** Аналіз дериватограми агару (рис. 1) підтвердив, що цей зразок виявив відносну термічну стабільність у діапазоні температур від 17 до 45 °C. У протоколі експерименту виявлено, що на сімнадцятій хвилині при температурі 46,2 °C спостерігається незначна зміна маси зразка, яка склала 0,33 % (0,33 мг) від початку експерименту. На двадцять дев'яній хвилині при температурі 70,66 °C маса сполуки змінилася на 3,95 % (3,99 мг), а на сорок першій хвилині при температурі 120,78 °C втрата маси агару становила 13,68 % (13,54 мг).

В кінці експерименту, при температурі 207 °C, втрата маси зразка склала 16,91 % (16,75 мг).

Як видно із представлених даних (рис. 2), гліцерин, як активна речовина, проявляє стійкість до тепла в діапазоні температур від 20 до 150 °C. На сорок шостій хвилині експерименту при температурі 150,88 °C маса дослідного зразка зменшилась на 0,44 % (0,56 мг), і вже на шістдесятій хвилині досліді, при температурі 205,36 °C, був зафіксований слабкий ендотермічний ефект, при якому маса гліцерину зменшилась на 4,70 % (5,87 мг). Надалі маса зменшувалась, досягнувши 45,45 % (56,82 мг) при температурі 230,65 °C.

Щодо меду (рис. 3), було встановлено, що до 45 °C досліджуваний зразок залишався стійким. На шістнадцятій хвилині експерименту при температурі 45,12 °C спостерігається невелика зміна маси зразка, яка від початку експерименту становила 0,17 % (0,21 мг).

На тридцять четвертій хвилині експерименту при температурі 120,05 °C маса зразка змінилася, зменшившись на 4,76 % (5,81 мг). Слід зазначити, що на сорок сьомій хвилині експерименту при температурі 172,78 °C спостерігалася значна зміна маси меду, яка становила 16,41 % (20,02 мг). Завершальний етап експерименту, коли температура досягла 249,41 °C, призвів до загальної втрати маси зразка на рівні 46,06 % (56,20 мг).

За результатами досліджень (рис. 4) можна визначити, що борошно горіхів кеш'ю проявляє термічну

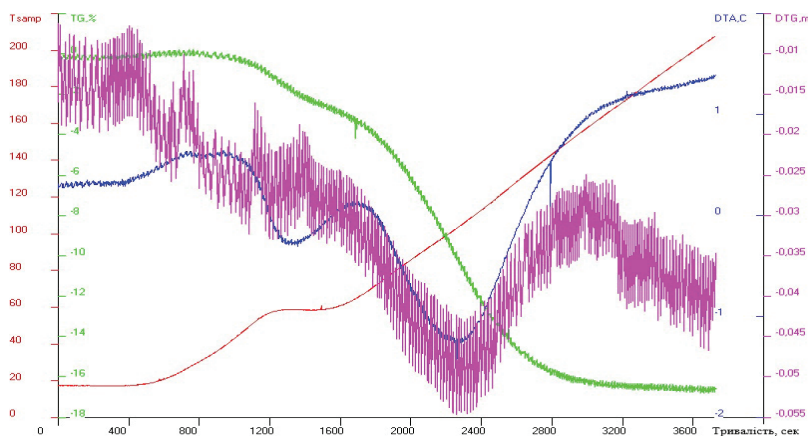


Рис. 1. Дериватограма чистого агару

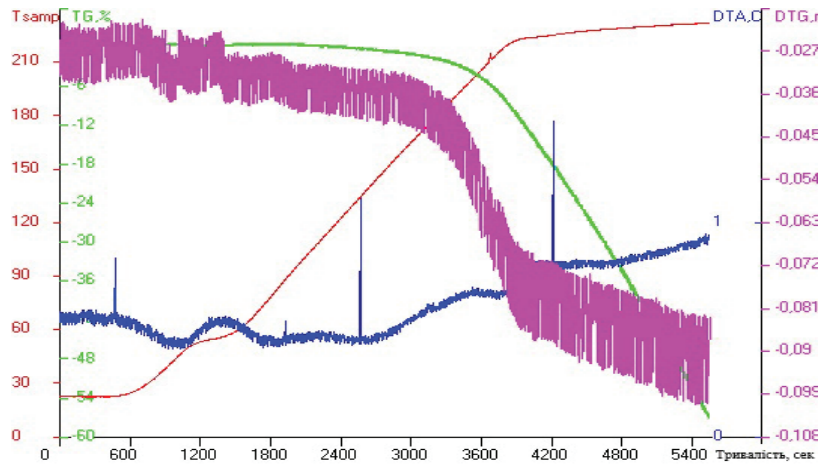


Рис. 2. Дериватограма гліцерину

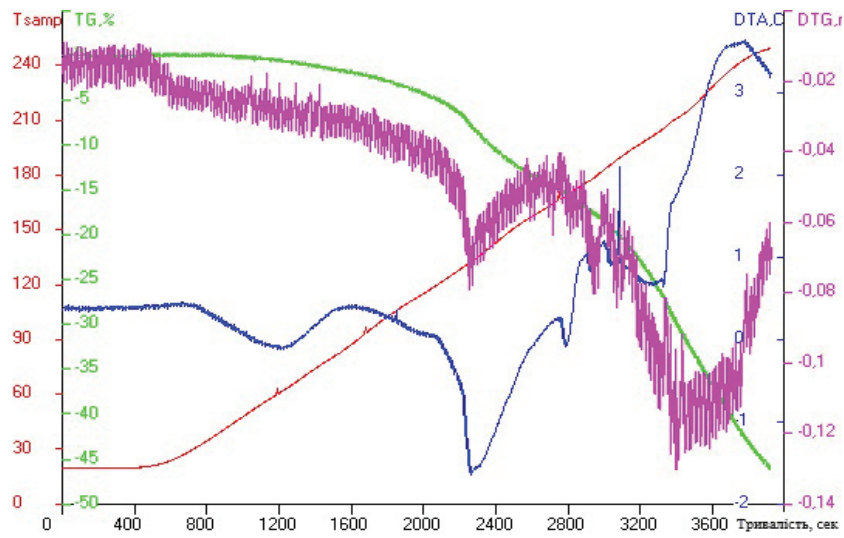


Рис. 3. Дериватограма меду

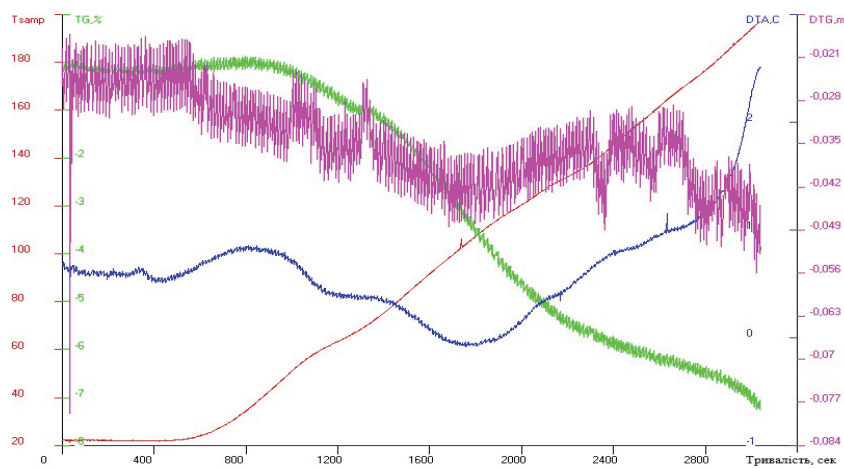


Рис. 4. Дериватограма борошна горіхів кеш'ю

стійкість в межах температур від 20 до 50 °С. На шістнадцятій хвилині експерименту, коли температура становила 50,37 °С, маса дослідного зразка зменшилась на 0,15 % (0,18 мг). Втрата маси зразка при температурі 110,06 °С склала 3,73 % (4,58 мг), а на тридцять шостій хвилині досліді, при температурі 130,42 °С, спостерігалася зміна маси на рівні 5,24 % (6,45 мг). Подальше зменшення маси продовжувалось, і при температурі 197 °С втрата маси становила 7,25 % (8,92 мг).

**Обговорення.** Аналіз дериватограми (рис. 5) показує, що агаровий гідрогель у поєднанні з гліцерином є стійким до температур до 35 °С. Зміна маси досліджуваного зразка спостерігається починаючи з температури 35,60 °С.

У діапазоні температур від 40 до 145 °С, втрата маси зразка супроводжується вираженим ендотермічним ефектом, пов'язаним із випаровуванням, і складає 28,94 % (30,39 мг) від початку досліді. На сорок дев'ятой хвилині експерименту, при температурі 190,43 °С, маса зразка зменшилась на 35,99 % (37,79 мг). Під кінець експерименту втрата маси дослідного зразка становила 42 % (44,10 мг).

Аналіз дериватограми для модельного зразка «агар-вода-гліцерин-мед» (рис. 6) показав, що ця сполука є стабільною в діапазоні температур від 20 до 30 °С. Спостерігається зміна маси зразку на п'ятнадцятій хвилині експерименту при температурі 30,23 °С, і ця зміна маси склала 0,82 % (0,90 мг) від початку досліді. Під час подальшого нагрівання відбуваються значні втрати води через її інтенсивне випаровування – 13,82 % (15,26 мг), і при досягненні температури 150 °С зміна маси агару становила 24,89 % (27,38 мг). Це, ймовірно, пов'язано з випаровуванням водної фази. Наприкінці експерименту, при температурі 208 °С, втрата маси зразку від початку досліді становила 33,40 % (36,74 мг).

З рисунку 7 можна побачити, що модельний зразок «агар-вода-гліцерин-мед-борошно горіхів кеш'ю» має схожий характер зміни маси порівняно з попереднім зразком, але втрата маси все ж була трохи меншою.

В діапазоні температур від 30 до 120 °С втрата маси досліджуваного зразка склала 11,08 % (13,29 мг). Після цього маса почала поступово зменшуватись, і в кінці експерименту вона змінилась на 28,82 % (34,59 мг) при температурі 204 °С, що пов'язано з випаровуванням водної фази.

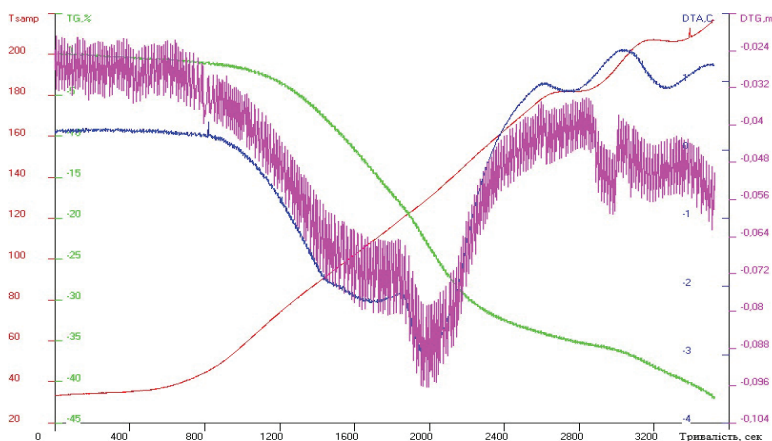


Рис. 5. Дериватограма гідрогелю «агар-вода-гліцерин»

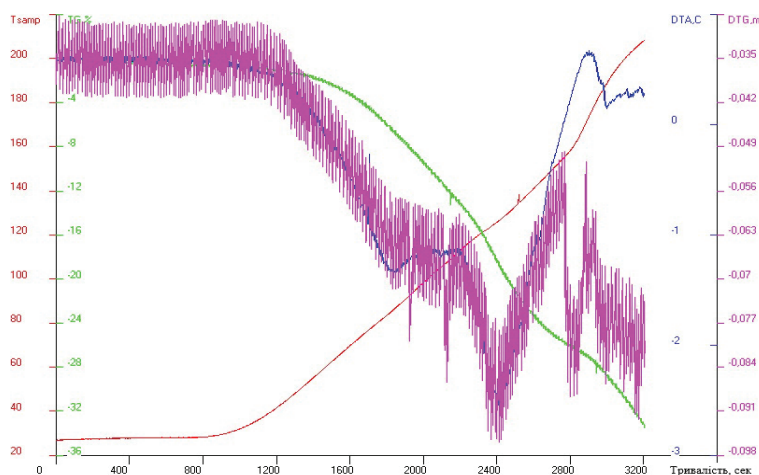


Рис. 6. Дериватограма гідрогелю «агар-вода-гліцерин-мед»

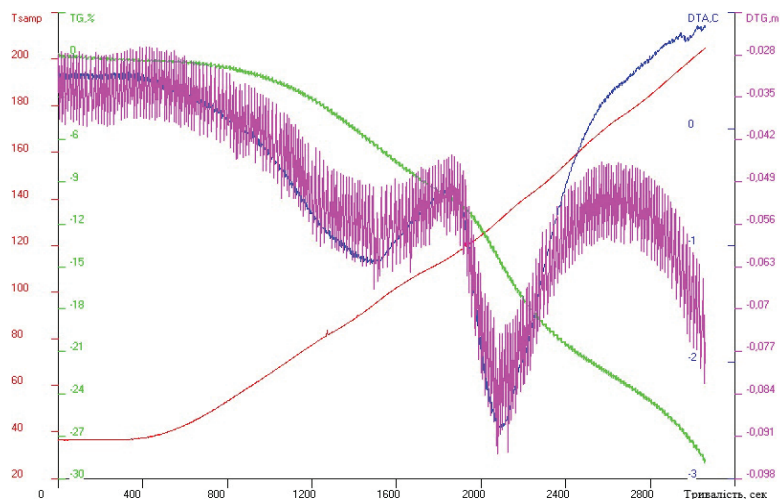


Рис. 7. Дериватограма гідрогелю «агар-вода-гліцерин-мед-борошно горіхів кеш'ю»

**Висновки.** Проведено аналіз термогравіметричних характеристик компонентів рецептури для наших желеєвих батончиків, які включають агар, гліцерин, мед, борошно горіхів кеш'ю, а також створені модельні системи «агар-вода-гліцерин», «агар-вода-гліцерин-мед», «агар-вода-гліцерин-мед-борошно горіхів кеш'ю», що використовуються як основний компонент для створення корпусу батончиків.

Аналіз порівняльних кривих (TG, DTG, DTA, T) вказує на те, що в усіх етапах розкладання агарових гелів відбувається втрата маси через випаровування води. Проте в складних гелях спостерігається сповільнення процесу випаровування води, що пояснюється

утворенням додаткових зв'язків між агаром і іншими компонентами рецептури батончиків – медом і борошно горіхів кеш'ю. Дослідження показало, що зразок «агар-вода-гліцерин-мед-борошно горіхів кеш'ю» виявив найвищу термічну стійкість. Це означає, що використання цієї комбінації компонентів сприятиме довшому терміну зберігання желеєвих батончиків, забезпечуючи їх зручність для транспортування і зберігання, навіть при високих температурах. Крім того, використання агарових гелів з невеликими змінами маси під час нагрівання може допомогти зберегти корисні властивості продукту, такі як вміст вітамінів і мікроелементів.

#### Бібліографічні посилання:

1. Dorokhovych A. M., Murzin A. V., Klepikov I. L. (2014). Tyksotropiia kondyterskykh aharovykh heliv [Thixotropy of confectionery agar gels]. *Khlibnyi ta kondyterskyi biznes*. № 6 (19). С. 34-37. <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/20285> [in Ukrainian]
2. 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. P. 234–240. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.040>
3. 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 P. 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.07.015>
4. Koshel O.Iu., Pertsevoi F.V., Marchenko O.S., Chuiko O.V., Samilyk M. M. (2020). Deryvatohrafichni doslidzhennia komponentiv rozroblenykh molokovmisnykh termostabilnykh nachynok z zhelatynom ta transhliutaminazoiu [Derivatographic studies of components in developed milk-containing thermally stable fillings with gelatin and transglutaminase]. *Naukovyi visnyk TDATU*. Vyp. 10. T. 2. С. 232-238. <http://repo.snau.edu.ua:8080/xmlui/handle/123456789/9029> [in Ukrainian]
5. 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. P. 101420. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101420>
6. 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. P. 277-283. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.098>
7. Pauliuc D., Dranca F., Ropciuc S., Oroian M. (2022). Advanced Characterization of Monofloral Honeys from Romania. *Food Agriculture*. Vol. 12 (4). P. 526. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040526>
8. 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. P. 121258. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121258>
9. Shanina O. M., Borovikova N. O., Havrysh T. V., Duhina K. V., Feizopulo O. E. Vplyv dobavok bilkovoї ta polisakharidnoi pryrody na volohoutrymyuiuchu zdatnist bezkleikovynnoho tista [The influence of protein and polysaccharide additives on the moisture retention capacity of gluten-free dough]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva*. 2019. 207. С. 132-141. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/4970> [in Ukrainian]

10. 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. P. 267-273. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.08.015>
11. 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. P. 149-156. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.054>
12. 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. P. 687–698. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.001>
13. Silva I. A. A., Souza A. L., Cordeiro A. M. T. M., Soledade 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. P. 353–358. <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2926-x>
14. Singh, I., Singh, S. (2018). Honey Moisture Reduction and Its Quality. *Journal of Food Science and Technology*. Vol. 55. P. 3861–3871. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3341-5>
15. Sokolovska I.O., Kambulova Yu.V., Overchuk N.O. (2016). Doslidzhennia stupeniu zviazuvannia vody v heliakh pektynu i alhinatu natriu [Research on the water binding capacity in pectin and sodium alginate gels]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 2(11). c. 1-11. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65746> [in Ukrainian]
16. 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. P. 360-368. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.107>
17. 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- $\beta$ -cyclodextrin on  $\beta$ -Amyloid (1-42)-Induced Toxicity. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. Vol. 105 (8). P. 2372-2380. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2016.05.017>

**Bokovets S. P.**, Doctor of Philosophy, Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Determination of derivatographic analysis of jelly bar components using cashew nut flour**

A key factor in ensuring the stability and quality of gels during their production, storage and use in confectionery and culinary products is their level of heat resistance, which depends on the composition and content of dry substances. This article analyzes the thermogravimetric properties of hydrogels created on the basis of agar and including honey and cashew nut flour for the production of jelly bars. The study consisted of two main stages. The first stage included the study of individual ingredients included in the hydrogel: agar 1200 TM «Fujian Province» (China), food glycerin TM BASF (Germany), sunflower honey and cashew nut flour. The second stage included the preparation of samples of agar hydrogels taking into account the necessary ingredients: «agar 1 % – water – glycerol 0,2 %», «agar 1 % – water – glycerol 0,2 % – honey 25 %», «agar 1 %-water – glycerol 0,2 % – honey 25 % – cashew nut flour 20 %». The comparative analysis indicated that at all stages of decomposition of the experimental samples there is a loss of mass due to the evaporation of water. It was found that the final mass loss for pure agar from the beginning of the study was 16,91 % (or 16,75 mg). The mass change for glycerin was 0,17 % (or 0,21 mg), the mass loss of sunflower honey was 46,06 % (or 56,20 mg), and for cashew nut flour the mass change was 7,25 % (or 8,92 mg). In the complex gels, a decrease in the rate of water removal was observed, which is explained by the formation of additional bonds between the agar and other components of the formulation, such as honey and cashew nut flour. It was established that at the end of the experiment, the mass of the «agar-water-glycerin» test sample changed by 42 % (or 44,10 mg), the mass loss of the «agar-water-glycerin-honey» sample was 33,40 % (or 36,74 mg), and the mass of the sample «agar-water-glycerin-honey-cashew nut flour» gradually decreased and at the end of the experiment changed by 28,82 % (or 34,59 mg) at an elevated temperature associated with evaporation of the aqueous phase.

**Key words:** derivatograms, agar, honey, glycerin, cashew flour, hydrogels.