

Оценка эффективности применения полисахаридных гидрогелевых гранул как носителей галловой кислоты

© Сигачева Полина Васильевна, Красноштанова*⁺ Алла Альбертовна

Кафедра биотехнологии. Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева.
Миусская пл., 9. г. Москва, 125047. Россия. Тел.: +7 (495) 495-23-79. E-mail: aak28@yandex.ru

*Ведущий направление; ⁺Поддерживающий переписку

Ключевые слова: хитозан, альгинат, каррагинан, гидрогелевые гранулы, галловая кислота, инкапсуляция.

Аннотация

Гидрогелевые носители, получаемые из полимеров, представляют собой нерастворимые матрицы с трехмерными пористыми структурами, которые обеспечивают защиту неустойчивых молекул от окисления, светового и термического разрушения, позволяют регулировать скорость высвобождения и повышать биодоступность при пероральном введении. Статья посвящена подбору условий получения полисахаридных гидрогелевых гранул, нагруженных галловой кислотой. Получено четыре типа полисахаридных гидрогелевых гранул различного состава: на основе альгината натрия, каррагинана, хитозана и альгината натрия, хитозана и каррагинана. Исследованы физико-химические характеристики пустых полисахаридных гидрогелевых гранул, включая функциональные свойства и стабильность к процессам синерезиса и циклам замораживания-оттаивания. Установлено, что эффективность инкапсуляции галловой кислоты в полисахаридные гидрогелевые гранулы зависит от природы полисахаридной матрицы и исходной концентрации БАВ. Наиболее высокие и устойчивые степени включения в более широком диапазоне концентраций характерны для каррагинановых и хитозан-каррагинановых гранул. Расчёт суточной дозы показал, что только каррагинановые гранулы позволяют обеспечить физиологически необходимое потребление галловой кислоты при технологически приемлемой массе гранул, что делает их перспективными носителями для функциональных пищевых продуктов. Исследование высвобождения галловой кислоты из полисахаридных гидрогелевых гранул в модельной среде желудочно-кишечного тракта *in vitro* показало, что все типы гранул обладают высокой устойчивостью к перевариванию в модели ротовой полости и к воздействию неблагоприятных условий желудка. Выход галловой кислоты в данных средах не превышает 15%. Значительное высвобождение галловой кислоты в кишечнике наблюдалось лишь у альгинатных гранул и составило 54%.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Сигачева П.В., Красноштанова А.А. Оценка эффективности применения полисахаридных гидрогелевых гранул как носителей галловой кислоты. *Бутлеровские сообщения*. 2026. Т.85. №2. С.59-69.
DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-85-2-59

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Сигачева П.В., Красноштанова А.А. Оценка эффективности применения полисахаридных гидрогелевых гранул как носителей галловой кислоты. *Бутлеровские сообщения* С. 2026. Т.12. №1. Id.8.
DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-85-2-59/ROI-jbc-RC/26-12-1-8

The output for citing the English online version of the article:

Polina V. Sigacheva, Alla A. Krasnoshtanova. Evaluation of the efficiency of polysaccharide hydrogel granules as carriers of gallic acid. *Butlerov Communications* С. 2026. Vol.12. No.1. Id.8.
DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-85-2-59/ROI-jbc-C/26-12-1-8

Литература

- [1] P.M. Junaid, A.H. Dar, K.K. Dash, S. Rohilla, R. Islam, R. Islam, R. Shams, V.K. Pandey, S. Srivastava, P.S. Panesar, S.F. Zaidi. Polysaccharide-based hydrogels for microencapsulation of bioactive compounds: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2024. Vol.15. P.101038. DOI: 10.1016/j.jafr.2024.101038
- [2] K. Venkatachalam, N. Charoenphun, C. Nitikornwarakul, S. Lekjing. Effect of sodium alginate concentration on the physicochemical, structural, functional attributes, and consumer acceptability of gel beads

- encapsulating tangerine peel (citrus reticulata blanco 'cho khun') extract. *Gels*. **2025**. Vol.11. No.10. P.808. DOI: 10.3390/gels11100808.
- [3] Z. Li, R. Qin, J. Xue, C. Lin, L. Jiang. Chitosan-based hydrogel beads: developments, applications, and challenges. *Polymers*. **2025**. Vol.17. No.7. P.920. DOI: 10.3390/polym17070920.
- [4] Макарова А.О., Зуева О.С., Богданова Л.Р., Сальников В.В., Зуев Ю.Ф. Биотехнологические приемы использования полисахаридных гидрогелей для доставки витаминов и диагностических маркеров. *Бутлеровские сообщения*. **2021**. Т.68. №10. С.147-155. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/21-68-10-147 [Anastasia O. Makarova, Olga S. Zueva, Lilia R. Bogdanova, Vadim V. Salnikov, Yury F. Zuev. Biotechnological approaches in polysaccharide hydrogels application for delivery of vitamins and diagnostic markers. *Butlerov Communications C*. **2021**. Vol.2. No.4. Id.17. DOI: 10.37952/ROI-jbc-C/21-2-4-17]
- [5] Базунова М.В., Силантьева А.Ю., Мустакимов Р.А. Получение гелеобразных материалов на основе полиэлектролитных комплексов *N*-сукцинилхитозана с хлоридом поли-*N,N*-диаллил-*N,N*-диметиламмония. *Бутлеровские сообщения*. **2022**. Т.72. №10. С.34-40. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/22-72-10-34 [Marina V. Bazunova, Anna Yu. Silantseva, Robert A. Mustakmov. Preparation of gel-like materials based on polyelectrolyte complexes of *N*-succinyl chitosan with poly-*N,N*-diallyl-*N,N*-dimethylammonium chloride. *Butlerov Communications C*. **2022**. Vol.4. No.3. Id.10. DOI: 10.37952/ROI-jbc-C/22-4-3-10]
- [6] Пурьгин П.П., Гараев Т.М., Куркин В.А., Гребенникова Т.В., Лосич М.А., Зайкова О.Н., Зарубин Ю.П. Изучение противовирусных свойств веществ и водно-спиртового экстракта родиолы розовой (*Rhodiola rosea* L.), в отношении вируса бешенства *in vitro*. *Бутлеровские сообщения*. **2024**. Т.80. №10. С.167-176. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-10-167 [Pyotr P. Purygin, Timur M. Garaev, Vladimir A. Kurkin, Tatyana V. Grebennikova, Milana A. Losich, Olga N. Zaikova, Yury P. Zarubin. Study of antiviral properties of substances and aqueous-alcoholic extract of *Rhodiola rosea* L. against rabies virus *in vitro*. *Butlerov Communications C*. **2024**. Vol.9. No.4. Id.17. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/24-80-10-167/ROI-jbc-C/24-9-4-17]
- [7] Разаренова К.Н., Сипкина Н.Ю., Жохова Е.В. Динамика накопления некоторых фенольных соединений в надземной и подземной частях *Geranium pratense* L. *Бутлеровские сообщения*. **2012**. Т.31. №7. С.93-97. DOI: jbc-01/12-31-7-93 [K.N. Razarenova, N.Yu. Sipkina, E.V. Zhokhova. Dynamics of accumulation of some phenolic compounds in the aboveground and underground parts of *Geranium pratense* L. *Butlerov Communications*. **2012**. Vol.31. No.7. P.93-97. DOI: jbc-01/12-31-7-93. (Russian)]
- [8] N.G. Puttaraju, S.U. Venkateshaiah, S.M. Dharmesh, S.M.N. Urs, R. Somasundaram. Antioxidant activity of indigenous edible mushrooms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. **2006**. Vol.54. P.9764-9772. DOI: 10.1021/jf0615707
- [9] B. Bajpai, S. Patil. A new approach to microbial production of gallic acid. *Braz. J. Microbiol.* **2008**. Vol.39. P.708-711. DOI: 10.1590/S1517-83822008000400021
- [10] Гаврилов С.Г. Трансдермальные системы доставки местных средств: новые перспективы. *Лечебное дело*. **2021**. №2. С.28-34. [S.G. Gavrilo. Transdermal delivery systems for topical agents: new perspectives. *General Medicine*. **2021**. No.2. P.28-34. (Russian)]
- [11] S. Lin, H.-Z. Qin, Z.-Y. Li, H. Zhu, L. Long, L.-B. Xu. Gallic acid suppresses the progression of triple-negative breast cancer HCC1806 cells *via* modulating PI3K/AKT/EGFR and MAPK signaling pathways. *Front. Pharmacol.* **2022**. Vol.13. P.1049117. DOI: 10.3389/fphar.2022.1049117
- [12] Alavi S. Rafiee, R. Farhoosh, A. Sharif. Antioxidant activity of gallic acid as affected by an extra carboxyl group than pyrogallol in various oxidative environments. *European Journal of Lipid Science and Technology*. **2018**. 1800319. DOI: 10.1002/ejlt.201800319
- [13] Куркин В.А., Рязанова Т.К. Актуальные аспекты стандартизации корневищ и корней родиолы розовой. *Химико-фармацевтический журнал*. **2021**. Т.55. №8. С.40-44. DOI: 10.30906/0023-1134-2021-55-8-40-44. [V.A. Kurkin, T.K. Ryazanova. Current aspects of standardization of rhizomes and roots of *Rhodiola rosea*. *Chemical and Pharmaceutical Journal*. **2021**. Vol.55. No.8. P.40-44. DOI: 10.30906/0023-1134-2021-55-8-40-44. (Russian)]
- [14] E. Papadaki, F.T. Mantzouridou. Application of *Aspergillus niger* for extracellular tannase and gallic acid production in non-sterile table olive 49 processing wastewaters. *Waste and Biomass Valorization*. **2024**. Vol.15. No.2. P.1199-1212. DOI:10.1007/s12649-023-02242-0
- [15] Евдокимова О.В., Гриминова Е.Б., Толкунова В.В., Прянишников Н.Н. Функционально-технологические свойства белковых препаратов. *Известия вузов. Пищевая технология*. **2006**. №2-3. С.73-74. [O.V. Evdokimova, E.B. Griminova, V.V. Tolkunova, N.N. Pryanishnikov. Functional and technological properties of protein preparations. *News of Universities. Food Technology*. **2006**. No.2-3. P.73-74. (Russian)]
- [16] V.L. Singleton, J.A. Rossi. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. **1965**. Vol.16. No.3. P.144-158.

- [17] I.M. Savić Gajić, I.M. Savić, Z. Svirčev. preparation and characterization of alginate hydrogels with high water-retaining capacity. *Polymers*. **2023**. Vol.15. No.12. P.2592. DOI: 10.3390/polym15122592
- [18] A. Brodkorb, L. Egger, M. Alminger, P. Alvito, R. Assunção, S. Ballance, T. Bohn, C. Bourlieu-Lacanal, R. Boutrou, F. Carrière, A. Clemente, M. Corredig, D. Dupont, C. Dufour, C. Edwards, M. Golding, S. Karakaya, B. Kirkhus, S. Le Feunteun, U. Lesmes, A. Macierzanka, A.R. Mackie, C. Martins, S. Marze, D.J. McClements, O. Ménard, M. Minekus, R. Portmann, C.N. Santos, I. Souchon, R.P. Singh, G.E. Vegarud, M.S.J. Wickham, W. Weitschies, I. Recio. INFOGEST static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*. **2019**. Vol.14. No.4. P.991-1014. DOI: 10.1038/s41596-018-0119-1
- [19] A. Mackie, S. Marze, D.J. McClements, O. Ménard, I. Recio, C.N. Santos, R.P. Singh, G.E. Vegarud,
- [20] M.S. Wickham, W. Weitschies, A. Brodkorb. A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food – an international consensus. *Food Funct*. **2014**. Vol.5(6). P.1113-1124. DOI: 10.1039/c3fo60702j
- [21] Polina V. Sigacheva, Alla A. Krasnoshtanova. Evaluation of the efficiency of polysaccharide hydrogel granules as carriers of gallic acid. *Butlerov Communications C*. **2026**. Vol.12. No.1. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-85-2-59/ROI-jbc-C/26-12-1-8
- [22] Сигачева П.В., Красноштанова А.А. Оценка эффективности применения полисахаридных гидрогелевых гранул как носителей галловой кислоты. *Бутлеровские сообщения С*. **2026**. Т.12. №1. Id.8. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-85-2-59/ROI-jbc-RC/26-12-1-8

The English version of the article have been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications C
Advances in Biochemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI: jbc-C/26-12-1-8

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-85-2-59/ROI-jbc-C/26-12-1-8

Evaluation of the efficiency of polysaccharide hydrogel granules as carriers of gallic acid

Polina V. Sigacheva, Alla A. Krasnoshtanova*⁺

*Department of Biotechnology. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia.
Miusskaya Pl., 9. Moscow, 125047. Russia. Phone: +7 (495) 495-23-79. E-mail: aak28@yandex.ru*

*Supervising author; ⁺Corresponding author

Keywords: chitosan, alginate, carrageenan, hydrogel granules, gallic acid, encapsulation.

Abstract

Hydrogel carriers obtained from polymers are insoluble matrices with three-dimensional porous structures that provide protection of unstable molecules from oxidation, light and thermal destruction, allow regulation of the release rate and increase bioavailability upon oral administration. The article is devoted to the selection of conditions for obtaining polysaccharide hydrogel granules loaded with gallic acid. Four types of polysaccharide hydrogel granules of different compositions were obtained: based on sodium alginate, carrageenan, chitosan and sodium alginate, chitosan and carrageenan. The physicochemical characteristics of empty polysaccharide hydrogel granules were investigated, including functional properties and stability to syneresis processes and freeze-thaw cycles. It was established that the efficiency of gallic acid encapsulation in polysaccharide hydrogel granules depends on the nature of the polysaccharide matrix and the initial concentration of the biologically active substance. The highest and most stable degrees of inclusion over a wider range of concentrations are characteristic of carrageenan and chitosan-carrageenan granules. Calculation of the daily dose showed that only carrageenan granules can provide the physiologically necessary intake of gallic acid with a technologically acceptable granule mass, which makes them promising carriers for functional food products. A study of the release of gallic acid from polysaccharide hydrogel granules in a model gastrointestinal tract environment *in vitro* showed that all types of granules are highly resistant to digestion in the oral cavity model and to the effects of unfavorable gastric conditions. The release of gallic acid in these environments does not exceed 15%. Significant release of gallic acid in the intestine was observed only with alginate granules and amounted to 54%.