

УДК 641.05

DOI: 10.18413/2408-9346-2016-2-4-45-52

Кролевец А. А.¹
Мячикова Н. И.²
Халикова А. С.³
Андреев В. С.⁴

МОЛЕКУЛЯРНАЯ АРХИТЕКТУРА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО СУХОГО ЭКСТРАКТА ТОПИНАМБУРА

- 1) профессор, доктор химических наук, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия. *E-mail: a_krolevets@inbox.ru*
- 2) заведующая кафедрой технологии продуктов питания, кандидат технических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия. *E-mail: myachikova@bsu.edu.ru*
- 3) студент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия. *E-mail: 1130850@bsu.edu.ru*
- 4) студент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, 85, г. Белгород, 308015, Россия. *E-mail: slav-and@yandex.ru*

Аннотация. В работе приведены свойства наноструктурированного сухого экстракта топинамбура, определены самоорганизация и размеры частиц с помощью метода НТА. В результате проведенного исследования было показано, что размер нанокapsул сухого экстракта топинамбура зависит от природы оболочки. Наименьший размер нанокapsул составляет 227 нм в желлановой камеди, что позволяет использовать наноструктурированный сухой экстракт топинамбура в качестве наноингредиента в продуктах функционального назначения.

Ключевые слова: сухой экстракт топинамбура; самоорганизация; метод НТА.

UDK 641.05

Krolevets A. A.¹
Myachikova N. I.²
Halikova A. S.³
Andreenkov V. S.⁴

MOLECULAR ARCHITECTURE NANOSTRUCTURED DRY EXTRACT TOPINAMBUR

- 1) Professor, Doctor of Chemical Sciences, Belgorod State National Research University, 85, St. Pobedy, Belgorod, 308015, Russia. *E-mail: a_krolevets@inbox.ru*
- 2) Head of Department of Food Technology, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University, 85, St. Pobedy, Belgorod, 308015, Russia. *E-mail: myachikova@bsu.edu.ru*
- 3) Student, Belgorod State National Research University, 85, St. Pobedy, Belgorod, 308015, Russia. *E-mail: 1130850@bsu.edu.ru*
- 4) Student, Belgorod State National Research University, 85, St. Pobedy, Belgorod, 308015, Russia. *E-mail: slav-and@yandex.ru*

Abstract. The paper presents the properties of nanostructured dry extract topinambur, self-organization and defined particle sizes using NTA method. The study showed that the size of the nanocapsules dry extract of topinambur depends upon the nature of the shell. The smallest size of the nanocapsules is 227 nm in the gellan gum that allows the use of nanostructured dry extract of topinambur as nanoingredient in products functional destination.

Keywords: dry extract of topinambur; self-organization; NTA method.

Введение. Топинамбур – источник пищевых волокон, особенно ценен инулин, который присутствует в виде некрахмального легкоусвояемого полисахарида. Это полезное вещество является натуральным подсластителем с нулевой калорийностью, оно не претерпевает

метаболизма в организме человека, что делает экстракт из клубня идеальным не только для диабетиков, но и в диетологии.

Сухой экстракт этого растения содержит в своем составе антиокислительные витамины. Эти витамины, вместе с флавоноидами помогают

собирают в организме свободные радикалы, и тем самым обеспечивают защиту от рака, воспалений, вирусного кашля и простуды. Минералы, особенно наличие в составе калия, железа и меди, прекрасно стимулируют работу сердечно-сосудистой системы.

Усиливая сокращение стенок кишечника, инулин способствует освобождению организма от шлаков и непереваренной пищи. В кровеносных сосудах молекулы данного углевода производят аналогичную работу, очищая их от вредных продуктов обмена веществ и химических компонентов, попавших в кровь с медицинскими препаратами. Лечебные свойства топинамбура проявляются в устойчивой сопротивляемости организма различным инфекциям, кишечным бактериям и вирусным заболеваниям. Инулин оказывает еще массу положительных действий, среди которых улучшение кишечной микрофлоры, активизация деятельности желудочно-кишечного тракта, стимуляция работы желчного пузыря и защитных функций печени. Отмечен также высокий противоопухолевый эффект углевода.

Данная работа является продолжением наших исследований по изучению наноструктурированных биологическим активных соединений [1-11].

Известно, что нанообъекты обладают высокой биодоступностью, что используется в медицине и фармакологии. В литературе отсутствуют сведения о свойствах наноструктурированного экстракта сухого топинамбура.

Размер капсул, содержащих биологически активные соединения, имеет существенное значение для их физиологической активности в организме [12]. На примере многих лекарственных веществ было показано, что уменьшение размеров частиц приводит к изменению биодоступности и эффективности [13].

Цель работы. Цель данной работы заключается в проведении первого в мире исследования наноструктурированного сухого экстракта топинамбура, изучая самоорганизацию и размеры нанокapsул с помощью метода NTA (Метод анализа траекторий наночастиц).

Материалы и методы исследования. Исследование самоорганизации нанокapsул проводили следующим образом. Порошок

наноструктурированного сухого экстракта топинамбура растворяли в воде, каплю наносили на покровное стекло и выпаривали. Высушенную поверхность сканировали методом конфокальной микроскопии на микроспектрометре OmegaScore, производства AIST-NT (г. Зеленоград), совмещенном с конфокальным микроскопом.

Результаты исследования и их обсуждение. Нами впервые проведено исчерпывающее исследование по влиянию природы оболочки на размер нанокapsул на примере сухого экстракта топинамбура. В качестве оболочек использовались альгинат натрия, натрий кабоксиметилцеллюлоза, каррагинан, конжачковая камедь, ксантановая камедь, пектин яблочный и цитрусовый.

Размеры полученных нанокapsул определяли методом NTA, а также проводились исследования супрамолекулярных свойств капсул с помощью самоорганизации. Супрамолекулярная химия использует законы органической синтетической химии для получения супрамолекулярных ансамблей, координационной химии комплексов и физической химии для изучения взаимодействий компонентов, биохимии – рассмотрения функционирования супрамолекулярных ансамблей. К супрамолекулярным свойствам относятся самосборка и самоорганизация [14, 15]. В супрамолекулярной химии для достижения контролируемой сборки молекулярных сегментов и спонтанной организации молекул в стабильной структуре используют нековалентные взаимодействия [16, 17]. Самоорганизующиеся структуры можно имитировать как аспекты биологических систем: искусственные клетки мембран, ферментов, или каналы [18].

Результаты исследований представлены на рис. 1.

Поскольку в водном растворе нанокapsул при их достаточно низкой концентрации обнаружены фрактальные композиции, они обладают самоорганизацией. Образование нанокapsул происходит спонтанно за счет нековалентных взаимодействий, и это говорит о том, что для них характерна самосборка. Следовательно, наноструктурированный сухой экстракт топинамбура обладает супрамолекулярными свойствами.

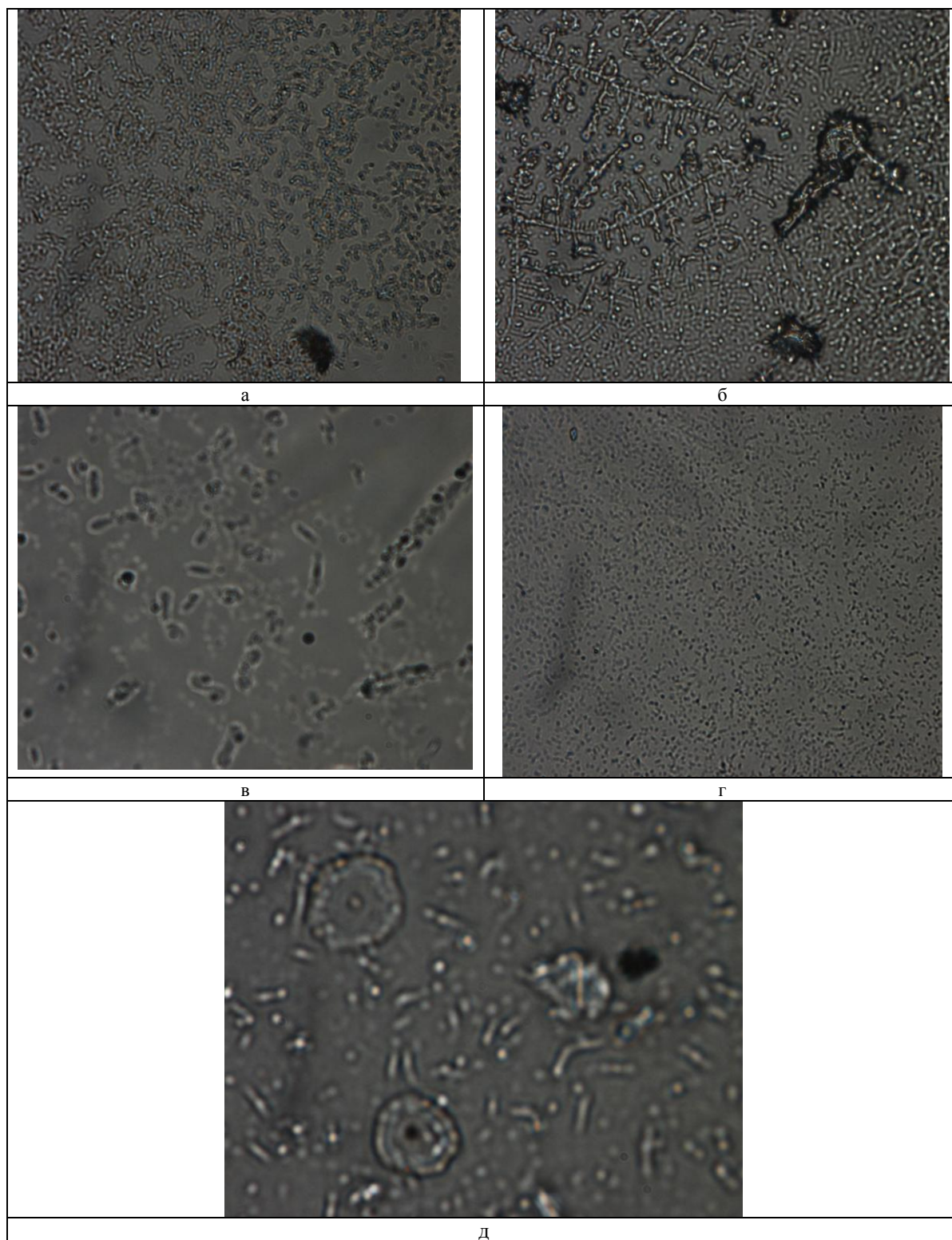


Рис. 1. Конфокальное изображение наноструктурированного экстракта мяты: а) в альгинате натрия, увеличение в 920 раз, концентрация 0,5%, соотношение ядро : оболочка 1:3; б) в каррагинане, увеличение в 920 раз, концентрация 0,25%, соотношение ядро : оболочка 1:3; в) в конжаковой камеди, увеличение в 1200 раз, концентрация 0,125%, соотношение ядро : оболочка 1:3; г) в ксантановой камеди, увеличение в 720 раз, концентрация 0,5%, соотношение ядро : оболочка 1:3; д) в яблочном пектине, увеличение в 720 раз, концентрация 0,25%, соотношение ядро : оболочка 1:3.

Fig. 1. Confocal images of nanostructured mint extract: a) sodium alginate, an increase of 920 times, the concentration of 0,5%, the ratio of core : shell 1:3; b) in karragins, an increase of 920 times, the concentration of 0,25%, the ratio core : shell 1:3; c) in konzhakovo resins, an increase of 1200 times, the concentration of 0,125%, the ratio of core : shell 1:3; g) in xanthan gum, an increase of 720 times, the concentration of 0,5%, the ratio of core : shell 1:3; d) in apple pectin, an increase of 720 time, the concentration of 0,25%, the ratio core : shell 1:3.

На рис. 1 представлены самоподобные объекты, инвариантные относительно локальных дилатаций, т.е. фракталы. Известно, что фракталы являются естественным заполнением множеств между известными евклидовыми объектами с целочисленными размерностями. Наличие фрактала указывает на возможность получения совершенно другого полимера при практически неизменном составе макромолекулы. Этот «новый полимер» будет иметь другие

молекулярные характеристики и отличающуюся надсегментальную структуру. Фрактальная композиция так же указывает на процесс самосборки, что указывает на образование нанокapsул.

Определение размеров нанокapsул осуществляли в различных оболочках: агар-агар, альгинат натрия, желатиновая камедь и конжаковая камедь. Их размеры представлены на рис. 2-5 и табл. 1-4.

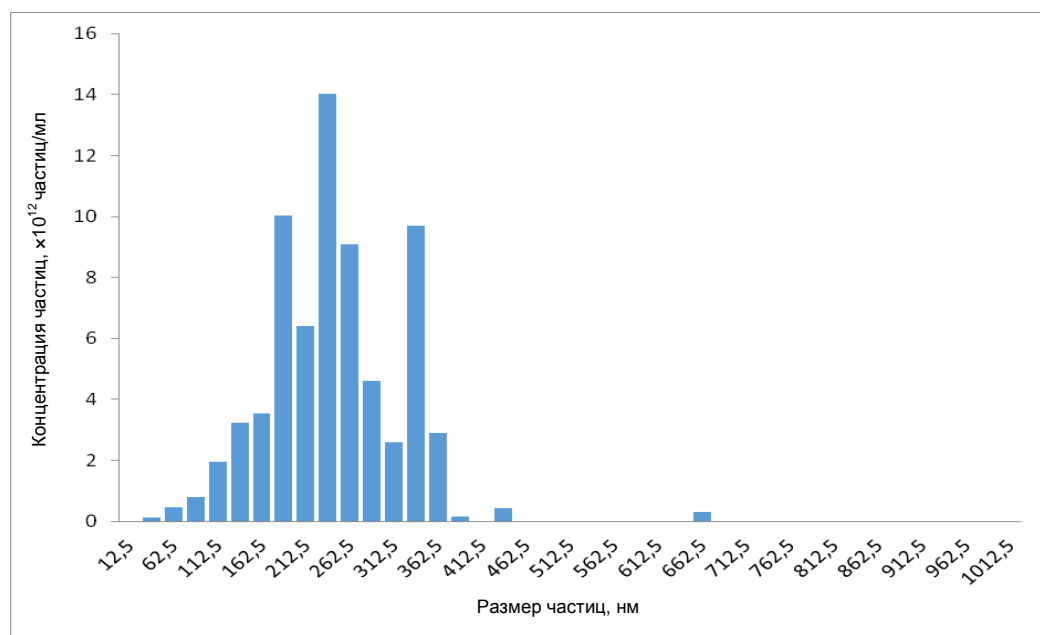


Рис. 2. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул топинамбура в агар-агаре, соотношение ядро : оболочка 1-3

Fig. 2. Distribution of particle size in the sample nanocapsule artichoke in agar-agar, the ratio of core : shell 1-3

Характеристики нанокapsул топинамбура в агар-агаре

Таблица 1

Characteristics of nanocapsule artichoke in agar-agar

Table 1

Параметр	Значение
Средний размер, нм	243
D10, нм	153
D50, нм	236
D90, нм	340
Коэффициент полидисперсности, (D90 – D10)/D50	0,79
Общая концентрация частиц, $\times 10^{12}$ частиц/мл	5,82

Примечание: D10, D50, D90 – десятый, пятидесятый и девяностый процент распределения (размеры, ниже которых лежат 10%, 50% и 90% частиц).

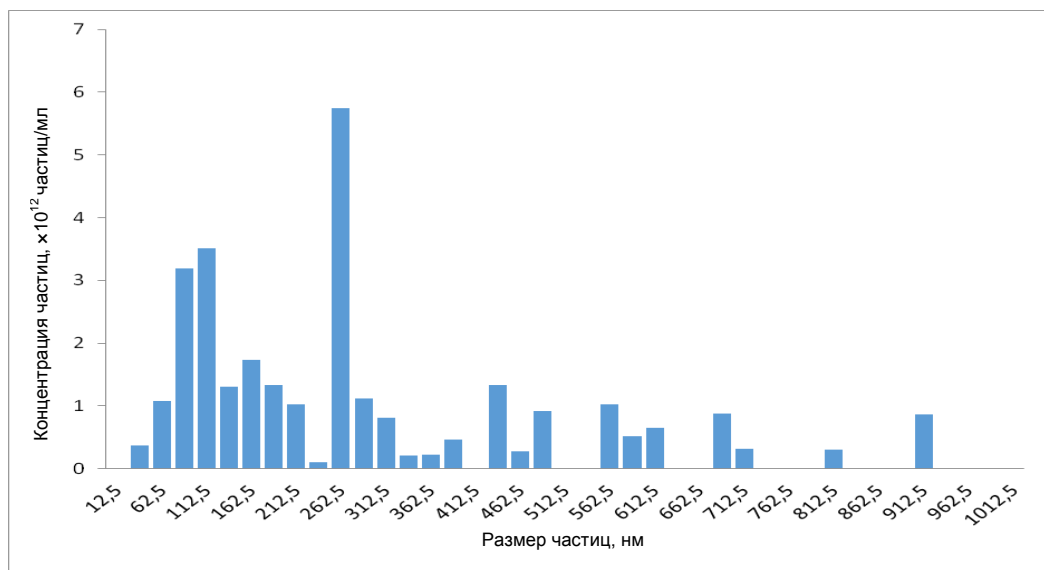


Рис. 3. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул топинамбура в альгинате натрия, соотношение ядро : оболочка 1-3

Fig. 3. Distribution of particle size in the sample nanocapsule artichoke in sodium alginate, the ratio of core : shell 1-3

Таблица 2

Характеристики нанокapsул топинамбура в альгинате натрия

Table 2

Characteristics of nanocapsule artichoke in sodium alginate

Параметр	Значение
Средний размер, нм	288
D10, нм	91
D50, нм	246
D90, нм	608
Коэффициент полидисперсности, (D90 – D10)/D50	2,10
Общая концентрация частиц, $\times 10^{12}$ частиц/мл	2,47

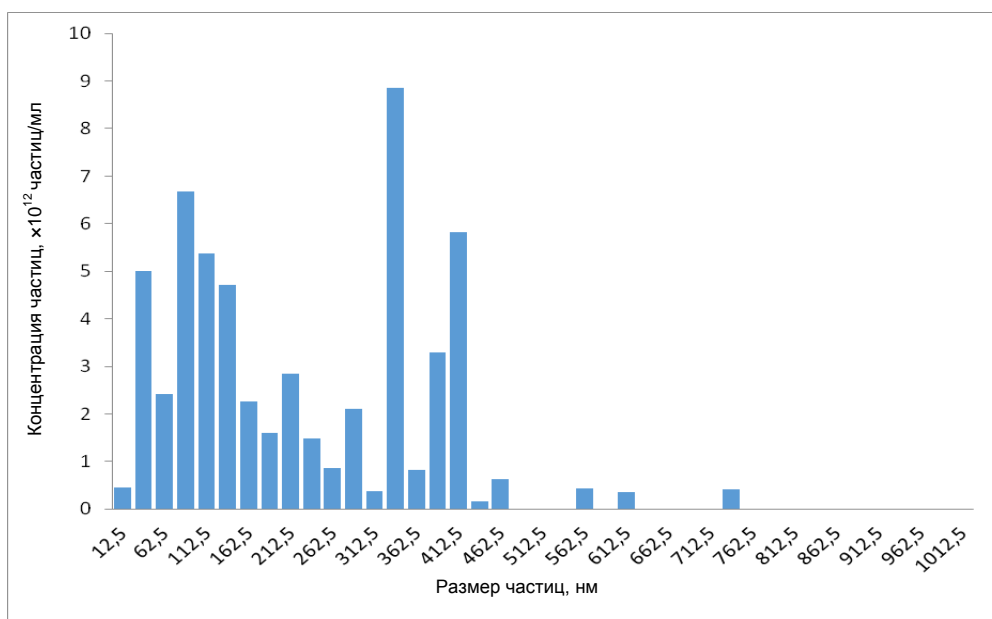


Рис. 4. Распределение частиц по размерам в образце нанокapsул топинамбура в геллановой камеди, соотношение ядро : оболочка 1-3

Fig. 4. Distribution of particle size in the sample nanocapsule artichoke in galanovaya resins, the ratio of core : shell 1-3

Таблица 3

Характеристики нанокапсул топинамбура в геллановой камеди

Table 3

Characteristics of nanocapsule artichoke in gellanova resins

Параметр	Значение
Средний размер, нм	227
D10, нм	53
D50, нм	200
D90, нм	408
Коэффициент полидисперсности, (D90 – D10)/D50	1,78
Общая концентрация частиц, $\times 10^{12}$ частиц/мл	4,78

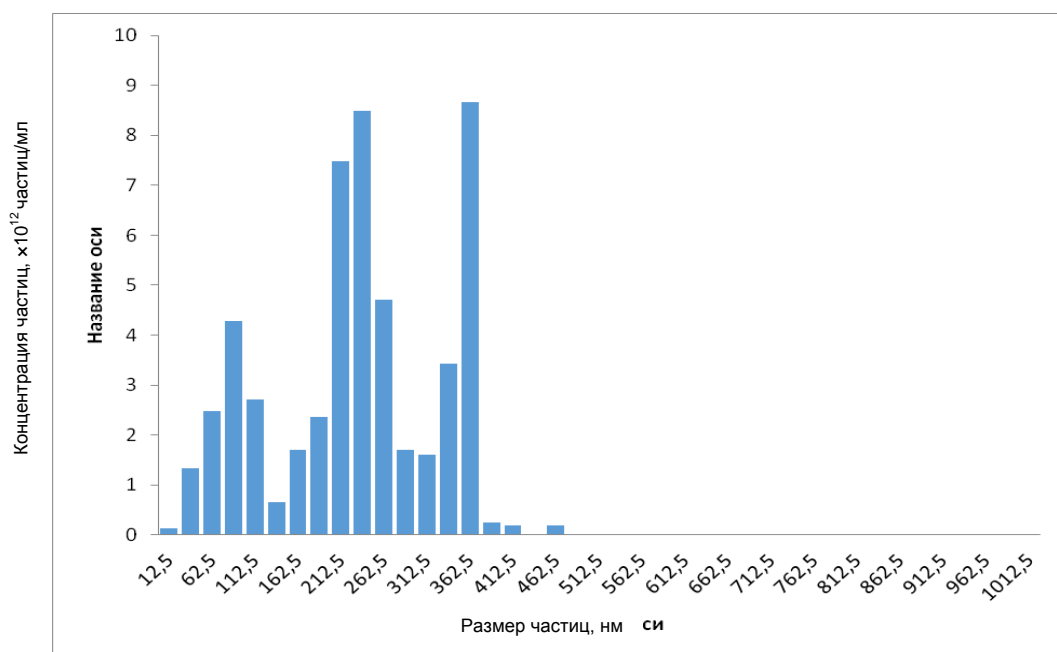


Рис. 5. Распределение частиц по размерам в образце нанокапсул топинамбура в конжаковой камеди, соотношение ядро : оболочка 1-3

Fig. 5. Distribution of particle size in the sample nanocapsule Jerusalem artichoke in konzhakovo resins, the ratio of core : shell 1-3

Таблица 4

Характеристики нанокапсул топинамбура в конжаковой камеди

Table 4

Characteristics of nanocapsule Jerusalem artichoke in konzhakovo resins

Параметр	Значение
Средний размер, нм	231
D10, нм	85
D50, нм	235
D90, нм	357
Коэффициент полидисперсности, (D90 – D10)/D50	1,16
Общая концентрация частиц, $\times 10^{12}$ частиц/мл	4,37

Как видно из табл. 1-4, размеры нанокапсул в различных оболочках составляют от 227 нм (в геллановой камеди) до 288 нм (в альгинате натрия). При этом размеры нанокапсул в геллановой камеди практически совпадают с размерами в конжаковой камеди.

Полученные результаты показывают, что наноструктурированный топинамбур можно использовать в функциональных продуктах питания профилактического назначения для всех возрастных групп.

Список литературы

1. Супрамолекулярные свойства микрокапсул кверцетина [Текст] / А. А. Кролевец, Е. Е. Быковская, М. Л. Воронцова, Ю. А. Тырсин // Тез. докладов международной конф. «Нанотехнологии в пищевой промышленности». М. : МГУПП, 2012, С. 33-35.

2. Кролевец, А. А., Воронцова, М. Л., Тырсин, Ю. А. Исследование микрокапсул экстракта зеленого чая методом рамановской спектроскопии [Текст] / А. А. Кролевец, М. Л. Воронцова, Ю. А. Тырсин // Тез. докладов международной конф. «Нанотехнологии в пищевой промышленности». М. : МГУПП, 2012, С. 36-39.

3. Нанокapsулированные пробиотики, практические аспекты применения в животноводстве и ветеринарной медицины [Текст] / О. Б. Сеин, А. А. Кролевец, Д. В. Трубников, В. А. Челноков и др. // Вестник КГСХА. 2013. № 3. С. 57-59.

4. Исследование микрокапсул Биобага-Д физико-химическими методами [Текст] / М. М. Наумов, А. А. Кролевец, З. Д. Ихласова, И. А. Брусенцев, И. А. Богачев // Вестник КГСХА. 2013. № 4. С. 66-67.

5. Влияние природы оболочки на размер микрокапсул на примере жирорастворимых витаминов [Текст] / А. А. Кролевец, И. А. Богачев, К. С. Никитин, Е. Е. Бойко // IV международной научно-практической конф. «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия». 2014. № 3(6). С. 108-111.

6. Свойства наноструктурированного адаптогена – экстракта женьшеня [Текст] / А. А. Кролевец, И. А. Богачев, Е. А. Хаит, В. С. Андреев // НАУ. 2015. № 2(7). С. 149-152.

7. Самоорганизация микрокапсул бетулина [Текст] / А. А. Кролевец, И. А. Богачев, О. В. Жданова, В. С. Андреев // НАУ. 2015. № 2(7). С. 152-156.

8. Кролевец, А. А., Богачев, И. А., Жданова, О. В. Исследование микрокапсул природных биологически активных соединений. Микрокапсулы унаби [Текст] / А. А. Кролевец, И. А. Богачев, О. В. Жданова // Евразийский союз ученых. 2015. № 1(18). Ч. 2. С. 54-59.

9. Кролевец, А. А., Богачев, И. А., Хаит, Е. А. Свойства наноструктурированного витамина Q₁₀ [Текст] / А. А. Кролевец, И. А. Богачев, Е. А. Хаит // Educatio. 2015. № 1(8). Ч. 2. С. 52-55.

10. Влияние природы оболочки на размер наноструктурированного кверцетина [Текст] / А. А. Кролевец, И. А. Богачев, Ю. А. Тырсин, О. В. Жданова, Ю. Н. Николаева, М. Л. Воронцова // VII межвед. научно-практич. конф. «Инновации в товароведении, общественном питании и длительном хранении продовольственных товаров». М. : МГУПП, 2015. С. 81-84.

11. Кролевец, А. А., Андреев, В. С., Воронцова, М. Л. Свойства наноструктурированных адаптогенов растительного происхождения [Текст] / А. А. Кролевец, В. С. Андреев, М. Л. Воронцова // Educatio. 2015. № 7(14). Ч. 2. С. 138-141.

12. Patent 20110223314 United States, International Class B05D 7/00 20060101 B05D007/00 [Текст]. Efficient Microencapsulation. ZHANG; Xiaoxiao; (Honolulu, HI); Garmire; David; (Honolulu, HI); Ohta; Aaron; (Honolulu, HI). Serial № : 045244. Filed: March 10, 2011.

13. Vidhyalakshmi, R., Bhakyaraj, R., Subhasree, R. S. Encapsulation «The Future of Probiotics» – A Review [Текст] / R. Vidhyalakshmi, R. Bhakyaraj, R. S. Subhasree // Advances in Biological Research. Vol. 3-4. 2009. Pp. 96-103.

14. Методы молекулярного моделирования супрамолекулярных комплексов: иерархический подход [Текст] / Ф. В. Григорьев, А. Н. Романов, Д. Н. Лайков и др. // Российские нанотехнологии. 2010. №5-6. С. 47-53.

15. Зоркий, П. М., Лубнина, И. Е. Супрамолекулярная химия: возникновение, развитие, перспективы [Текст] / П. М. Зоркий, И. Е. Лубнина // Вестн. Моск. ун-та. 1999. №5. С. 300-307.

16. Rohit, K. Rana, Vinit, S. Murty, Jie Yu. Nanoparticle Self-Assembly of Hierarchically Ordered Microcapsule Structures [Text] / K. Rana Rohit, S. Murty Vinit, Jie Yu // Advanced Materials. Vol. 17. 2005. Pp. 1145-1150.

17. Ana Carina Mendes, Erkan Türker Baran, Claudia Nunes Palmitoylation of xanthan polysaccharide for self-assembly microcapsule formation and encapsulation of cells in physiological conditions [Text] / Ana Carina Mendes, Erkan Türker Baran, Claudia Nunes // Journal of The Royal Society of Chemistry. 2011.

18. Hans-Peter Hentze, Eric W. Kaler Polymerization of and within self-organized media [Text] / Hans-Peter Hentze, Eric W. Kaler // Current Opinion in Colloid and Interface Science. Vol. 8. 2003. Pp. 164-178.

References

1. Supramolecular properties of microcapsules of quercetin [Text] / A. A. Krolevets, E. E. Byikovskaya, M. L. Vorontsova, Y. A. Tyrsin // Proc. reports of the international conf. «Nanotechnology in the food industry». M. : MGUPP, 2012, Pp. 33-35.

2. Krolevets, A. A., Vorontsova, M. L., Tyrsin, Y. A. Study of the microcapsules of green tea extract by the method of Raman spectroscopy [Text] / A. A. Krolevets, M. L. Vorontsova, Y. A. Tyrsin // proc. reports of the international Conf. «Nanotechnology in the food industry». M. : MGUPP, 2012. Pp. 36-39.

3. Nanocapsulation probiotics practical aspects of application in animal husbandry and veterinary medicine [Text] / O. B. Sein, A. A. Krolevets, D. V. Trubnikov, V. A. Chelnokov and others // Bulletin of KGSKHA. 2013. № 3. Pp. 57-59.

4. A study of the microcapsules of Biopag-D physico-chemical metodami [Text] / M. M. Naumov, A. A. Krolevets, Z. D. Ihtasova, I. A. Brusentsev, I. A. Bogachev // Bulletin of KGSKHA. 2013. № 4. Pp. 66-67.

5. The influence of the nature of the shell on the size of nanocapsule for example, fat-soluble vitamins [Text] / A. A. Krolevets, I. A. Bogachev, K. S. Nikitin, E. E. Boyko // IV international scientific-practical conference. «Scientific prospects of the XXI century. Achievements and prospects for the new century». 2014. № 3(6). Pp. 108-111.

6. *Properties of nanostructured adaptogen – ginseng* [Text] / A. A. Krolevets, I. A. Bogachev, K. S. Nikitin, E. E. Boyko // NAU. 2015. № 2(7). Pp. 149-152.
7. *Self-organization of nanocapsule betulin* [Text] / A. A. Krolevets, I. A. Bogachev, O. V. Zhdanova, S. V. Andreenkov // NAU. 2015. № 2(7). Pp. 152-156.
8. Krolevets, A. A., Bogachev, I. A., Zhdanova, O. V. *Study of nanocapsule of biologically active compounds. Nanocapsules jujube* [Text] / A. A. Krolevets, I. A. Bogachev, O. V. Zhdanova // Eurasian Union of scientists. 2015. № 1(18). Part 2. Pp. 54-59.
9. Krolevets, A. A., Bogachev I. A., Hait E. A. *Properties of nanostructured vitamin Q₁₀* [Text] / A. A. Krolevets, I. A. Bogachev, E. A. Hait // Educatio. 2015. № 1(8). Part 2. P. 52-55.
10. *The influence of the nature of the shell on the size of the nanostructured quercetin* [Text] / A. A. Krolevets, I. A. Bogachev, Yu. A. Tyrsin, O. V. Zhdanova, Yu. N. Nikolaeva, M. L. Vorontsova // VII lived. scientific-practical. conf. «Innovations in merchandising, public nutrition and long-term storage of food products». M. : MGUPP, 2015. Pp. 81-84.
11. Krolevets, A. A., Andreenkov, V. S., Vorontsova, M. L. *Properties of nanostructured adaptogens of plant origin* [Text] / A. A. Krolevets, V. S. Andreenkov, M. L. Vorontsova // Educatio. 2015. № 7(14). Part 2. Pp. 138-141.
12. Patent 20110223314 United States, International Class B05D 7/00 20060101 B05D007/00 [Text]. Efficient Microencapsulation. ZHANG; Xiaoxiao; (Honolulu, HI); Garmire, David; (Honolulu, HI); here; Aaron; (Honolulu, HI). Serial № : 045244. Filed: March 10, 2011.
13. Vidhyalakshmi, 3. R., Bhakyaraj, R., Subhasree, R. S. *Encapsulation «The Future of Probiotics» – A Review* [Text] / 3. R. Vidhyalakshmi, R. Bhakyaraj, R. S. Subhasree // Advances in Biological Research. Vol. 3-4. 2009. Pp. 96-103.
14. *Methods molecular modeling of supramolecular complexes: a hierarchical approach* [Text] / F. V. Grigorev, A. N. Romanov, D. N. Laykov etc. / Nanotechnologies in Russia. 2010. №. 5-6. Pp. 47-53.
15. Zorkiy, P. M., Lubnina, I. E. *Supramolecular chemistry: origin, development, prospects* [Text] / P. M. Zorkiy, I. E. Lubnina // Vestn. Mosk. Univ. 1999. № 5. Pp. 300-307.
16. Rohit, K. Rana, Vinit, S. Murty, Jie Yu. *Nanoparticle Self-Assembly of Hierarchically Ordered Microcapsule Structures* [Text] / K. Rana Rohit, S. Murty Vinit, Jie Yu // Advanced Materials. Vol. 17. 2005. P. 1145-1150.
17. Ana Carina Mendes, Erkan Türker Baran, Claudia Nunes *Palmitoylation of xanthan polysaccharide for self-assembly microcapsule formation and encapsulation of cells in physiological conditions* [Text] / Ana Carina Mendes, Erkan Türker Baran, Claudia Nunes // Journal of The Royal Society of Chemistry. 2011.
18. Hans-Peter Hentze, Eric W. Kaler *Polymerization of and within self-organized media* [Text] / Hans-Peter Hentze, Eric W. Kaler // Current Opinion in Colloid and Interface Science. Vol. 8. 2003. P. 164-178.