

ПРИМЕНЕНИЕ СЕРИЦИНА В ПРОЦЕССЕ КАПСУЛИРОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

В.Ю. Петрушина¹, А.Д. Шоева², К.А. Ерзунов¹, З.А. Яминзода², А.А. Малыгина¹, О.И. Одинцова¹

¹Кафедра химической технологии волокнистых материалов, Ивановский государственный химико-технологический университет, просп. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

²Технологический университет Таджикистана, ул. Н. Карабаева, 63/3, Душанбе, Таджикистан, 734055

E-mail: lera.petrushina@list.ru, azizashoeva6@gmail.com, erzunovk@mail.ru, zyaminova@inbox.ru, prohorova.a94@yandex.ru, odolga@yandex.ru

В современном мире приобретают востребованность текстильные материалы, позволяющие обеспечивать multifunctional защиту человека от негативного воздействия вредных факторов окружающей среды и быть комфортными при эксплуатации. Для решения этой задачи представляет интерес внедрение биологически активных веществ в структуру текстильного материала. С целью осуществления этого процесса был выбран метод микрокапсулирования, позволяющий осуществлять контролируемое высвобождение биологически активного вещества и обеспечивать долговечность отделки. При этом оболочка микрокапсул будет обладать дополнительным набором анти-микробных, антиоксидантных и ранозаживляющих свойств. В качестве такой оболочки предложено исследовать серицин, так как он обладает вышеперечисленными свойствами и при этом становится возможным решение еще одной задачи по переработке отходов шелкового производства. Исследована возможность синтеза микрокапсул с серицином. Получена дисперсия микрокапсул, содержащая биологически активные вещества, эмульгаторы и природные полиэлектrolиты. На приборе Photocor Compact-Z измерены размеры частиц полученной дисперсии и ее дзета-потенциал. Проведена оценка полученных изображений микрокапсул на медицинском микроскопе Микмед-6. Отработана методика получения капсул с применением экологически безопасного эмульгатора (Твин-80). Установлено, что при использовании анионного карбоксипав 6.90 в большинстве случаев получается более устойчивая система, чем при использовании твина-80, однако для эмульсий, содержащих твин-80 в качестве эмульгатора размеры всех капсул (на основе исследованных полиэлектrolитов) небольшие и однородные по размеру. Выявлена эффективная пара биосовместимых полиэлектrolитов для синтеза оболочки микрокапсул: производственный серицин с отрицательно заряженным природным полиэлектrolитом и экстрагированный серицин с положительно заряженным полиэлектrolитом.

Ключевые слова: биологически активные вещества, текстильные материалы, серицин, микрокапсулы, эфирные масла

THE USE OF SERICIN IN THE PROCESS OF ENCAPSULATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

V.Y. Petrushina¹, A.D. Shoeva², K.A. Erzunov¹, Z.A. Yaminzoda², A.A. Malygina¹, O.I. Odintsova¹

¹Department of Chemical Technology of Fibrous Materials, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevsky ave., 7, Ivanovo, 153000, Russia

²Technological University of Tajikistan (TUT), N. Karabaev St., 63/3, Dushanbe, 734055, Tajikistan

E-mail: lera.petrushina@list.ru, azizashoeva6@gmail.com, erzunovk@mail.ru, zyaminova@inbox.ru, prohorova.a94@yandex.ru, odolga@yandex.ru

In the modern world, textile materials are becoming in demand, making it possible to provide multifunctional human protection from the negative effects of harmful environmental factors

and to be comfortable during operation. To solve this problem, it is of interest to introduce biologically active substances into the structure of the textile material. In order to carry out this process, the microcapsulation method was chosen, as it allows for the controlled release of a biologically active substance, ensuring the durability of the finish. At the same time, the microcapsule shell will also have an additional set of antimicrobial, antioxidant and wound healing properties. It is proposed to study sericin as such a shell, since it has the above properties and at the same time it becomes possible to solve another problem of processing silk production waste. The possibility of synthesizing microcapsules with sericin has been investigated. A dispersion of microcapsules containing surfactants, emulsifiers and natural polyelectrolytes was obtained. The particle sizes of the obtained dispersion and its zeta potential were measured on the Photocor Compact device. The obtained microcapsule images were evaluated using a Micmed-6 medical microscope. A method for obtaining capsules using an environmentally friendly emulsifier (Twin-80) has been developed. It was found that when using anionic carboxypave 6.90, in most cases a more stable system is obtained than when using twin-80, however, for emulsions containing twin-80 as an emulsifier, the sizes of all capsules (based on the studied polyelectrolytes) are small and uniform in size. An effective pair of biocompatible polyelectrolytes for the synthesis of microcapsule shells has been identified: industrial sericin with negatively charged natural polyelectrolyte and extracted sericin with positively polyelectrolyte.

Keywords: biologically active substances, textile materials, sericin, microcapsules, essential oils

Для цитирования:

Петрушина В.Ю., Шоева А.Д., Ерзунов К.А., Яминзода З.А., Малыгина А.А., Одинцова О.И. Применение серицина в процессе капсулирования биологически активных веществ. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 4. С. 59–63. DOI: 10.6060/rcj.2025694.9.

For citation:

Petrushina V.Y., Shoeva A.D., Erzunov K.A., Yaminzoda Z.A., Malygina A.A., Odintsova O.I. The use of sericin in the process of encapsulation of biologically active substances. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 4. P. 59–63. DOI: 10.6060/rcj.2025694.9.

ВВЕДЕНИЕ

Текстильные материалы являются неотъемлемой составляющей жизни человека, и в современном мире к ним предъявляются высокие требования по функциональности и эксплуатационным характеристикам. Помимо комфорта и удобства в носке текстиль должен обеспечивать гигиену и защиту человека от воздействия вредных факторов окружающей среды, а также благоприятно воздействовать на его здоровье. Одним из решений для таких требований может стать разработка текстильных материалов с включенными в их структуру биологически активными веществами (БАВ). Ткани и трикотаж с такими свойствами смогут не только благоприятно воздействовать на человека, создавая эффект, например, ароматерапии и укрепляя его здоровье, но и также смогут обеспечить защиту от воздействия насекомых и бактерий за счет многообразия свойств выбранного для отделки БАВ (ароматерапевтические, антибактериальные, ранозаживляющие, репеллентные и т.д.).

Эффективно внедрить биологически активные вещества в текстиль позволяет метод микрокапсулирования. При разработке оболочки микрокапсул важно учитывать ее безопасность для здоровья человека и окружающей среды [1-4]. Решением этой проблемы может стать применение природных противоположно заряженных полиэлектролитов, которые будут послойно наслаиваться на ядро капсулы, содержащее БАВ. В качестве полиэлектролитов представляет интерес рассмотреть серицин шелка [5-7].

В последние годы серицин привлек внимание своим широким спектром свойств, таких как противовоспалительные, антиоксидантные, антибактериальные, УФ-защитные, антивозрастные и противораковые [5-15]. Эти уникальные свойства позволяют использовать серицин в биомедицине, косметической, пищевой и легкой промышленности.

Применение серицина в текстильной промышленности позволит не только решить проблему отходов шелкового производства, но и разрабатывать уникальные текстильные материалы с

микрокапсулами, состоящими из ядра, несущего БАВ с заданными свойствами и природной оболочкой капсулы из серицина, который, в свою очередь, тоже обладает рядом полезных свойств для человека [15-19].

Цель работы заключалась в оценке возможности применения серицина для получения микрокапсул с биологически активным веществом.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве биологически активного вещества использовали пихтовое эфирное масло, так как оно обладает рядом ценных оздоровительных для человека свойств. Один вид серицина в исследовании был выделен самостоятельно в лабораторных условиях и другой закуплен у промышленного предприятия «Green and healthy life» (GHL), Китай [20-22]. Дисперсию получали путем перемешивания на магнитной мешалке в течение 300 с масла с разными полиэлектролитами и эмульгаторами (твин-80, неонол АФ 9/10), последовательно вводя в систему разнозаряженные полиэлектролиты с промежуточным введением смешивающего агента. В качестве положительно заряженного электролита использовали хитозан (5 г/л), растворенный в 0,5% уксусной кислоте, отрицательно заряженного – альгинат натрия (5 г/л) и ксантановую камедь (5 г/л), растворенные в воде [4, 5, 22]. Методом динамического рассеяния света определены размеры частиц и дзета-потенциал системы на приборе Photocor Compact-Z. Внешний вид капсул дисперсии исследован при помощи метода оптической микроскопии на медицинском микроскопе Микмед-6.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Переход к применению более безопасных для человеческого организма веществ позволит ре-

комендовать синтезированные микрокапсулы к использованию в биомедицинских разработках. В связи с этим в качестве эмульгатора опробован препарат твин-80, так как он нетоксичен и безопасен, работает как «успокаивающее» средство для кожи. Получены микрокапсулы на основе производственного и выделенного серицина с использованием твина-80 в качестве эмульгатора, исследованы их свойства (табл. 1 и 2). Дисперсия, включающая капсулы, оболочки которых состоят из производственного серицина с хитозаном, характеризуется более высоким значением ξ -потенциала равном ± 30 мВ, по сравнению с системой, состоящей из капсул на основе альгината натрия и ксантановой камеди. В последнем случае получены частицы с наименьшим размером (табл. 1). Изображение, полученное методом оптической микроскопии на микроскопе Микмед-6 представлено на рисунке.

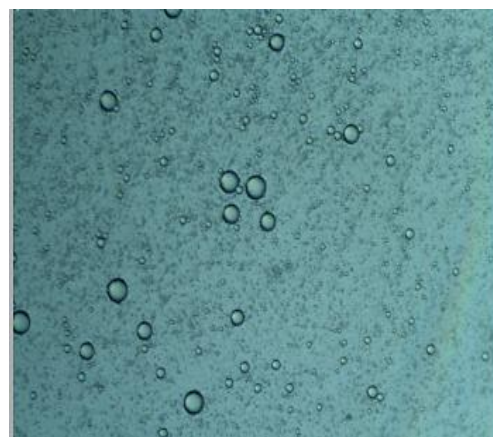


Рис. 1. Оптическое изображение полученных микрокапсул с эфирным маслом пихты в ядре и оболочкой, сформированной из GHL серицина и ксантановой камеди, увеличение 400 крат
Fig.1. Optical image of the obtained microcapsules with Fir essential oil in the core and a shell formed from sericin and xanthan gum, magnification 400 times

Таблица 1

Характеристика микрокапсул на основе серицина компании GHL при наличии в качестве эмульгатора твина-80

Table 1. Characteristics of GHL sericin-based microcapsules in the presence of twin-80 as an emulsifier

Состав раствора	ξ -потенциал, мВ	Размер частиц, нм / Степень однородности, %
Вода, Серицин GHL, Твин-80, Неонол АФ 9/10, Хитозан	-22,44 $\pm$ 0,51	463,4/100
Вода, Серицин GHL, Твин-80, Неонол АФ 9/10, Альгинат натрия	-2,03 $\pm$ 0,12	169,2/100
Вода, Серицин GHL, Твин-80, Неонол АФ 9/10, Ксантановая камедь	-8,16 $\pm$ 0,13	230,3/98

Таблица 2

Характеристика микрокапсул на основе выделенного серицина при наличии в качестве эмульгатора твина-80

Table 2. Characteristics of microcapsules based on isolated sericin in the presence of tween-80 as an emulsifier

Состав раствора	ξ -потенциал, мВ	Размер частиц, нм / Степень однородности, %
Вода, Серицин выдел., Твин-80, Неонол АФ 9/10, Хитозан	-11,56±0,14	132,7/100
Вода, Серицин выдел., Твин-80, Неонол АФ 9/10, Альгинат натрия	-1,47±5,06	229,3/100
Вода, Серицин выдел., Твин-80, Неонол АФ 9/10, Ксантановая камедь	-11,57±0,13	424,9/98,5

Выявлено, что дисперсия с капсулами, синтезированными в присутствии эмульгатора твина-80 и полиэлектролитов в разных соотношениях, нестабильна в течение длительного времени. При этом образуются капсулы небольшого размера (132-463 нм).

Установлено, что при введении в процессе эмульгирования ядра карбоксипав в большинстве случаев получается более устойчивая система, чем при использовании твина, однако для дисперсий, содержащих твин в качестве эмульгатора размеры всех капсул (на основе исследованных полиэлектролитов) небольшие и однородные по размеру. На основании сравнительного анализа характеристик полученных дисперсий рекомендованы составы с микрокапсулами, оболочки которых сформированы на основе пар промышленного серицина с альгинатом натрия и выделенного серицина с хитозаном.

ВЫВОДЫ

Осуществлен синтез микрокапсул, содержащих БАВ (масло пихты) в ядре капсулы и оболочку из биосовместимых полиэлектролитов и

эмульгаторов. Определен размер частиц и оценена устойчивость дисперсии микрокапсул. Выявлены оптимальные пары разнозаряженных полиэлектролитов, позволяющих получить дисперсию, устойчивую в течение длительного времени.

Работа выполнена в рамках Государственного задания на выполнение НИР, тема № FZZW-2023-008 и с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The work was carried out within the framework of the State Assignment for Research, topic No. FZZW-2023-008 and using the resources of the Center for the Collective Use of Scientific Equipment of ISUCT (with the support of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Agreement № 075-15-2021-671).

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Azizi N., Chevalier Y., Majdoub M. // *Industrial Crop-sand Products*. 2014. P. 150-157. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.10.027.
2. Липина А.А., Петрова Л.С., Одинцова О.И., Козлова О.В., Владимирцева Е.Л., Смирнова С.В., Ильичева М.Д. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 97-104. DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6628.

REFERENCES

1. Azizi N., Chevalier Y., Majdoub M. // *Industrial Crop-sand Products*. 2014. P. 150-157. DOI: 10.1016/j.indcrop.2013.10.027.
2. Lipina A.A., Petrova L.S., Odintsova O.I., Kozlova O.V., Vladimirtseva E.L., Smirnova S.V., Ilyicheva M.D. // *ChemChemTech[Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim.*

3. Кузьменко В.А., Русанова А.И., Одинцова О.И. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2014. Т. 57. Вып. 6. С. 102-104.
4. Одинцова О.И., Владимирцева Е.Л., Козлова О.В., Смирнова С.В., Липина А.А., Петрова Л.С., Ерзунов К.А., Константинова З.А., Зимнуров А.Р., Быков Ф.А., Мельников А.Г. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 7. С. 173-184. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
5. Власкина Е.С., Соотц Ю.Н., Липина А.А., Яминзода З.А., Одинцова О.И. // *Рос. хим. ж.* 2024. Т. LXVIII. №. 4. С. 110-122. DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.
6. Cheng S.Y., Shuk Y., Marcus C.W., Chi W.K. et al. // *International journal of molecular medicine*. 2009. V. 24. P. 411-419.
7. Aad R., Dragojlov I., Vesentini S. // *J. Funct. Biomater.* 2024. V. 15. P. 322. DOI: 10.3390/jfb15110322.
8. Das G., Shin H.S., Campos E.V.R., et al. // *J. Nanobiotechnology*. 2021. V. 19. P. 30. DOI: 10.1186/s12951-021-00774-y.
9. Sothornvit R., Chollakup R., Suwanruji P. // *J. Sci. Technol.* 2010.V. 32. P. 17-22.
10. Fatahian R., Noori M., Khajavi R. // *International Journal of Advanced Chemistry*. 2017. N 1. P. 25-28. DOI:10.14419/ijac.v5i1.7416.
11. Nagura M., Ohnishi R., Gitohe Y. // *Journal of Insect Biotechnology and Sericology*. 2001. V 70. P. 149-153. DOI: 10.11416/jibs2001.70.149
12. Khan M.R., Tsukada M., Gotoh Y. // *Bioresour Technol.* 2010. V. 101. P. 8439-8445. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.05.100.
13. McClements D.J. // *Curr. Opin. Food Sci.* 2018. V. 23. P. 80-84. DOI:10.1016/j.cofs.2018.06.008.
14. McClements D.J. // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2018. V. 17. P. 200-219. DOI: 10.1111/1541-4337.12313.
15. Gruskiene R., Bockuviene A., Sereikaite J. // *Molecules*. 2021. V. 29. P. 4601. DOI: 10.3390/molecules26154601.
16. Гутнова Т.С., Компанцев Д.В., Гвозденко А.А., Крамаренко В.Н., Блинов А.В. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 5. С. 98-105. DOI: 10.6060/ivkkt.20216405.6399.
17. Нагдалян А.А., Блинов А.В., Голик А.Б., Блинова А.А., Гвозденко А.А., Маглакелидзе Д.Г. // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 12. С. 24-29. DOI: 10.6060/ivkkt.20226512.6677.
18. Arefin P., MdShehan H., Chakraborty D. et al. // *International Journal of Pharmaceutical Chemistry and Analysis*. 2020. V. 7. P. 155-160. DOI: 10.18231/j.ijpca.2020.025.
19. Swami S.B., Sawant A.A., Khandetod Y.P. // *PharmaInnov.* 2020. V. 9. P. 40-93.
20. Gupta A.K., Dey B.K. // *Sunsari Tech Coll J.* 2013. V. 1. P. 48-54. DOI:10.3126/stcj.v1i1.8660.4.
21. AbdManaf M., Jai J., Raslan R., Subuki I., Mustapa A. // *Advanced Materials Research*. 2015. V. 1113. P. 679-683. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1113.679.
22. Власкина Е.С., Ерзунов К.А., Липина А.А., Одинцова О.И. // *Физика волоконистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX)*. 2023. С. 65-69.
3. Kuzmenko V.A., Rusanova A.I., Odintsova O.I. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2014. V. 57. N 6. P. 102-104. (in Russian).
4. Odintsova O.I., Vladimirtseva E.L., Kozlova O.V., Smirnova S.V., Lipina A.A., Petrova L.S., Erzunov K.A., Konstantinova Z.A., Zimmurov A.R., Bykov F.A., Melnikov A.G. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 7. P. 173-184. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6844j.
5. Vlaskina E.S., Soots Yu.N., Lipina A.A., Yaminzoda Z.A., Odintsova O.I. // *Ros. Khim. Zh.* 2024. V. LXVIII. N 4. P. 110-122. (in Russian). DOI: 10.6060/rcj.2024684.14.
6. Cheng S.Y., Shuk Y., Marcus C.W., Chi W.K. et al. // *International journal of molecular medicine*. 2009. V. 24. P. 411-419.
7. Aad R., Dragojlov I., Vesentini S. // *J. Funct. Biomater.* 2024. V. 15. P. 322. DOI: 10.3390/jfb15110322.
8. Das G., Shin H.S., Campos E.V.R., et al. // *J. Nanobiotechnology*. 2021. V. 19. P. 30. DOI: 10.1186/s12951-021-00774-y.
9. Sothornvit R., Chollakup R., Suwanruji P. // *J. Sci. Technol.* 2010.V. 32. P. 17-22.
10. Fatahian R., Noori M., Khajavi R. // *International Journal of Advanced Chemistry*. 2017. N 1. P. 25-28. DOI: 10.14419/ijac.v5i1.7416.
11. Nagura M., Ohnishi R., Gitohe Y. // *Journal of Insect Biotechnology and Sericology*. 2001. V 70. P. 149-153. DOI: 10.11416/jibs2001.70.149
12. Khan M.R., Tsukada M., Gotoh Y. // *Bioresour Technol.* 2010. V. 101. P. 8439-8445. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.05.100.
13. McClements D.J. // *Curr. Opin. Food Sci.* 2018. V. 23. P. 80-84. DOI: 10.1016/j.cofs.2018.06.008.
14. McClements D.J. // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2018. V. 17. P. 200-219. DOI: 10.1111/1541-4337.12313.
15. Gruskiene R., Bockuviene A., Sereikaite J. // *Molecules*. 2021. V. 29. P. 4601. DOI: 10.3390/molecules26154601.
16. Gutnova T.S., Kompantsev D.V., Gvozdenko A.A., Kramarenko V.N., Blinov A.V. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 5. P. 98-105. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216405.6399.
17. Naghdalyan A.A., Blinov A.V., Golik A.B., Blinova A.A., Gvozdenko A.A., Maglakelidze D.G. // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 12. P. 24-29. (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226512.6677.
18. Arefin P., MdShehan H., Chakraborty D. et al. // *International Journal of Pharmaceutical Chemistry and Analysis*. 2020. V. 7. P. 155-160. DOI: 10.18231/j.ijpca.2020.025.
19. Swami S.B., Sawant A.A., Khandetod Y.P. // *PharmaInnov.* 2020. V. 9. P. 40-93.
20. Gupta A.K., Dey B.K. // *Sunsari Tech Coll J.* 2013. V. 1. P. 48-54. DOI:10.3126/stcj.v1i1.8660.4.
21. AbdManaf M., Jai J., Raslan R., Subuki I., Mustapa A. // *Advanced Materials Research*. 2015. V. 1113. P. 679-683. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1113.679.
22. Vlaskina E.S., Erzunov K.A., Lipina A.A., Odintsova O.I. // *Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX)*. 2023. P. 65-69. (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 09.07.2025

Принята к опубликованию (Accepted) 13.08.2025