2020 Т. 50 № 1 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)
https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-52-60
Оригинальная статья
УДК 634.18:66.047.38
http://fptt.ru/

Инкапсуляция порошка рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*) полисахаридами растительного происхождения

И. В. Мацейчик[1], Е. Г. Мартынова[1,*], С. М. Корпачева[1], А. И. Штеер[1], И. О. Ломовский[2]

[1] *ФГБУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20*

[2] *ФГБУН «Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН», 630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18*

Дата поступления в редакцию: 05.11.2019
Дата принятия в печать: 23.03.2020

**e-mail: liz.martynova@mail.ru*

© И. В. Мацейчик, Е. Г. Мартынова, С. М. Корпачева, А. И. Штеер, И. О. Ломовский, 2019

Аннотация.
Введение. На сегодняшний день в технологии создания пищевых продуктов функциональной направленности прослеживается стабильная тенденция к использованию естественного растительного сырья и продуктов его переработки. Местным растительным сырьем является рябина обыкновенная. В статье представлена возможность инкапсулирования горьких растительных экстрактов для создания функциональных ингредиентов.
Объекты и методы исследования. Растительный экстракт был получен из порошка инфракрасной (ИК) сушки рябины, произрастающей в естественных условиях в городе Новосибирск и Алтайском крае (даты сбора – сентябрь 2018 года и октябрь 2019 года). Рассматриваются и сравниваются параллельно две технологии инкапсуляции: распылительная и лиофильная сушки. Экспериментальным путем установлено соотношение капсулирующей матрицы и порошка ИК-сушки рябины. В качестве инкапсулирующих оболочек используются полисахариды – конжаковая и гуаровая камеди. В исходном экстракте рябины ИК-сушки и полученном инкапсулированном порошке определяли содержание антиоксидантов, флавоноидов, витамина С и β-каротина. Разработана рецептура творожного десерта с использованием инкапсулированной функциональной добавки.
Результаты и их обсуждение. Установлено, что инкапсуляция горького вещества в нейтральный полисахарид улучшает органолептические свойства конечного материала. Физико-химическая оценка качества подтвердила функциональность разработанного десерта с инкапсулированным порошком рябины. Он содержит более 15 % суточной физиологической потребности витамина С, β-каротина, антиоксидантов и флавоноидов.
Выводы. Впервые отработан и применен метод технологии инкапсуляции порошка рябины обыкновенной для создания продукта функционального назначения. Использование технологии инкапсуляции позволяет нивелировать вкус готового изделия, маскируя природную горечь добавленного сырья. Получен продукт с высокими органолептическими показателями без снижения пищевой ценности и общего содержания биологически активных веществ.

Ключевые слова. Функциональный продукт, инфракрасная сушка, инкапсуляция, распылительная сушка, лиофильная сушка, флавоноиды, антиоксидантная активность, витамин С, β-каротин

Для цитирования: Инкапсуляция порошка рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*) полисахаридами растительного происхождения / И. В. Мацейчик, Е. Г. Мартынова, С. М. Корпачева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 1. – С. 52–60. DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-52-60.

Original article
Available online at http://fptt.ru/eng

Encapsulation of Powdered Rowanberries (*Sorbus aucuparia*) with Plant Polysaccharides

I.V. Matseychik[1], E.G. Martynova[1,*], S.M. Korpacheva[1], A.I. Shteer[1], I.O. Lomovsky[2]

[1] *Novosibirsk State Technical University, 20, Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia*

[2] *Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry – Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 18, Kutateladze Str., Novosibirsk, 630128, Russia*

Received: November 05, 2019

Accepted: March 03, 2020

*e-mail: liz.martynova@mail.ru

© I.V. Matseychik, E.G. Martynova, S.M. Korpacheva, A.I. Shteer, I.O. Lomovsky, 2019

Abstract.
Introduction. Functional food industry has a stable tendency to use natural plant materials and products. The rowan thrives in Siberian conditions, which makes rowanberries a local raw material of plant origin. The article features the process of encapsulation of bitter plant extracts, which makes it possible to create new functional ingredients.
Study objects and methods. The plant extract was obtained from the powder of infrared-dried uncultivated rowanberries harvested in the city of Novosibirsk and the Altai Territory in September 2018 and October 2019. The research compared two parallel encapsulation technologies: spray and freeze drying. The encapsulating matrix vs. IR-dried powder ratio was established experimentally. Konjac and guar gum polysaccharides were used as encapsulating membranes. The content of antioxidants, flavonoids, vitamin C, and β-carotene was determined in the IR-dried rowanberry extract and encapsulated powder. A set of experiments made it possible to compile a new formulation of a cottage cheese dessert with encapsulated functional additive. The dessert was tested for various quality indicators that affect the physicochemical and rheological properties of the product, i.e. moisture, solids content, sugar content, vitamin C, β-carotene, antioxidant capacity, and biologically active flavonoids.
Results and discussion. Encapsulation significantly improved the sensory properties of the final material. The physicochemical quality assessment showed that a 1:1 dilution of rowan extract with a food polysaccharide did not affect the content of biologically active substances (with a tolerance of 8%). The physical and chemical quality assessment confirmed the functionality of the dessert: it contained > 15% of the daily physiological requirements of vitamin C, β-carotene, antioxidants, and flavonoids.
Conclusion. The paper introduces a novel method of rowan powder encapsulation, which was successfully applied to create a new functional product. The encapsulation technology made it possible to soften the natural bitterness of the raw material. The new functional product demonstrated excellent sensory properties and nutritional value.

Keywords. Functional product, infrared drying, encapsulation, spray drying, freeze drying, flavonoids, antioxidant capacity, vitamin C, β-carotene

For citation: Matseychik IV, Martynova EG, Korpacheva SM, Shteer AI, Lomovsky IO. Encapsulation of Powdered Rowanberries (*Sorbus aucuparia*) with Plant Polysaccharides. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):52–60. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-52-60.

Введение

В настоящее время в технологии создания пищевых продуктов прослеживается стабильная тенденция к использованию естественного растительного сырья и продуктов его переработки. В качестве основы для разработки нового ингредиента в данной работе предложено использовать рябину обыкновенную (*Sorbus* L.), которая широко распространена по всему Сибирскому региону [1].

Несмотря на широкое распространение рябины в условиях умеренного климатического пояса, она очень редко используется в продуктах общественного питания. Это связано с тем, что плоды рябины обыкновенной обладают горьким вкусом из-за наличия в них дубильных веществ [2].

Целью данной работы является использование технологии инкапсуляции для нивелирования горечи порошка инфракрасной сушки рябины обыкновенной.

Объекты и методы исследования

Рябина и продукты ее переработки содержат целый комплекс биологически активных веществ, представленных биофлавоноидами (239,1 ± 0,3 мг%), антоцианами (105,4 ± 0,4 мг%), витамином С (377,4 ± 0,3 мг%), β-каротином (15,0 ± 0,2 мг%) и др. Рябина обладает высокой антиоксидантной активностью. АОА равна 4,2 ± 0,5 мг кверцетина/г продукта [3]. Для сохранения биологической активности растительной добавки необходимо применять такой метод консервирования, как инфракрасная сушка, что особенно актуально для Сибирского региона [4].

Для нивелирования горького вкуса порошка рябины использовали технологию инкапсуляции – включение одного материала в другой, при котором образуются микрочастицы (рис. 1) [5].

Работу проводили совместно с ИХТТМ СО РАН. Для сравнения конечных результатов использовали две технологии инкапсуляции: распылительную и лиофильную сушки. Чтобы подобрать необходимое соотношение капсулирующей матрицы и вещества, определяли содержание водорастворимых веществ в экстракте рябины. Экстракт использовали в качестве исходного раствора для сушки.

Рябину обыкновенную подвергали сушке инфракрасным излучением (SEDONA Express

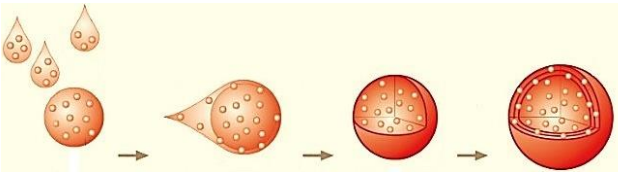

Рисунок 1. Инкапсуляция в потоке горячего воздуха

Figure 1. Encapsulation in a hot air stream

Таблица 1. Химический состав порошка ИК-сушки рябины

Table 1. Chemical composition of powdered IR-dried rowanberries

№	Показатели	Фактическое значение
1	Влажность, %	5,7 ± 0,01
2	Сырая зола, %	2,8 ± 0,04
3	Сахар, %	25,4 ± 0,21
4	Витамин С, мг/г	3,6 ± 0,29
5	β-каротин, мг/г	0,17 ± 0,10
6	Флавоноиды, мг/г	2,33 ± 0,02
7	Железо, мг/кг	102,0 ± 0,18
8	АОА, мкг кверцетина/г продукта	0,87 ± 0,02

SD-6780). Сушка производилась при t = 55 °С. Остаточная влажность определялась на анализаторе влажности WPS 50 SX и не превышала 5,7 % [6].

Высушенный порошок был тонко измельчен на дезинтеграторе DESI-11 (14 000 об/мин). В результате интенсивной механической обработки был получен тонкодисперсный порошок кирпичного цвета. Средний размер частиц составил 70 мкм. Полученный продукт использовали в качестве эталонного образца, в котором определяли химический состав. Результаты анализов представлены в таблице 1.

Для дальнейшей работы в эталонном образце порошка установили содержание водорастворимых веществ. Экстракцию функциональных ингредиентов из сырья проводили водой в ультразвуковой ванне при соотношении твердое вещество:жидкость = 1:25. Выход экстракции водорастворимых веществ составил 76 % от массы сухого образца сравнения. Экстракт использовали в качестве исходного раствора для сушки [7].

Для инкапсуляции распылительной сушкой в качестве добавки использовали конжаковую камедь (конжаковый маннан, Е425) – полисахарид растительного происхождения, состоящий из β-D-глюкозы (Г) и β-D-маннозы (М) в соотношении 1:1,6. Отличительным свойством данной камеди является её стабильность при высоких температурах.

Для инкапсуляции лиофильной сушкой использовали полисахарид гуаровую камедь (гуаровую смолу, Е412), так как она сохраняет свои свойства при замораживании продукта и является хорошо растворимым веществом. Она представляет собой полимерное соединение, которое содержит остатки галактозы.

Подготовку двух полисахаридов осуществляли по одной схеме: разведение камеди в воде до загустения.

Экстракт рябины смешали с подготовленным раствором конжаковой камеди в соотношении 1:1. Далее провели распылительную сушку в Buchi B290 (температура воздуха на входе составила 130 °С, температура на выходе – 70 °С) (рис. 2) [8]. После процесса распыления образовавшиеся частицы были сферическими. Средний размер частиц составлял

Рисунок 2. Принцип действия распылительной сушилки

Figure 2. Operation mode of the spray dryer

10 мкм [9].

В результате сушки был получен порошок кремового цвета с нейтральным вкусом. Однако его выход составил менее 15 % от ожидаемого результата. В связи с этим было принято решение отработать еще один метод инкапсуляции путем лиофильной сушки.

Для проведения лиофильной сушки экстракт рябины смешали с раствором гуаровой камеди в соотношениях 1:1 и 2:1.

Рисунок 3. Схема работы лиофильной сушилки:
1 – сушильная камера (сублиматор), *2* – пустотелая плита, *3* – противень, *4* – конденсатор-вымораживатель

Figure 3. Operational scheme of the freeze dryer: *1* – drying chamber (sublimator), *2* – hollow plate, *3* – metal sheet, *4* – condenser-freezer

Рисунок 4. Вкусовая профилограмма порошков рябины

Figure 4. Taste profile chart of powdered rowanberries

Сушка вымораживанием (лиофильная) осуществлялась с использованием Inei-4 при давлении в камере 3 Па и при температуре охладителя –40 °С. Температура образца не превышала –5 °С (рис. 3). Рабочий раствор состоял из водного раствора гуаровой камеди и экстракта рябины [10].

Влажность продукта (0 %) и давление паров воды в камере (50 Па) символизировали конец сушки.

В результате был получен порошок кремового цвета с нейтральным вкусом и с выходом, близким к 100 % от ожидаемого. В дальнейшей работе был использован порошок после инкапсуляции лиофильной сушкой.

При проведении дегустационного анализа разработанных функциональных ингредиентов использовали дескрипторно-профильный метод, наглядно демонстрирующий высокие органолептические показатели порошка после инкапсуляции (рис. 4) [11].

Применение технологии инкапсулирования растительного экстракта рябины позволяет получить порошок с отсутствием горечи, резкости и терпкости в отличие от порошка рябины ИК-сушки.

Для подтверждения функциональных свойств порошков был проведен ряд исследований.

Таблица 2. Антиоксидантная активность порошков рябины

Table 2. Antioxidant activity of powdered rowanberries

Образец	АОА, мкг кверцетина/г продукта	
	2017 год	2018 год
Рябина исходная	0,56 ± 0,02	0,72 ± 0,01
Рябина после измельчения	0,46 ± 0,02	0,87 ± 0,02
Инкапсулированный порошок	0,26* ± 0,01	0,64* ± 0,01

* с учетом разведения раствора рябины и полисахарида 2:1 АОА сохраняется примерно на прежнем уровне (с допуском 8 %).

* at a 2:1 dilution ratio of the rowan solution with polysaccharide, the antioxidant activity remains at approximately the same level (with a tolerance of 8%).

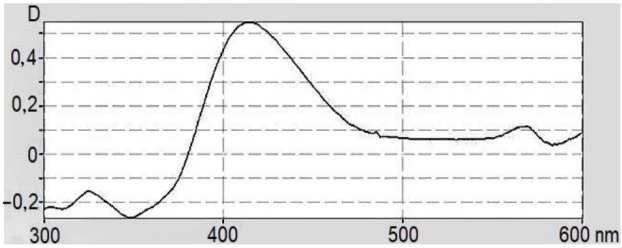

Рисунок 5. Зависимость оптической плотности раствора от длины волны

Figure 5. Effect of the wavelength on the optical density of the solution

Активность антиоксидантов измеряли с помощью жидкостного хроматографа Cvet-Yauza 01-AA (табл. 2) [12, 13].

Повышение АОА связано с разрывом клеточных стенок ягод при их измельчении на дезинтеграторе. При определении данного показателя в порошке из рябины обыкновенной извлечено большее количество веществ, обладающих антиоксидантными свойствами.

Кроме того, был проведен сравнительный анализ содержания антиоксидантов в рябине в процессе ее хранения в течение года. Установлено, что антиоксидантная активность снижается при хранении в течение года. Однако в инкапсулированном порошке потери АО меньше. Это связано с тем, что внешняя оболочка инкапсулированного порошка, которая состоит из полисахарида, позволяет сохранить инкапсулированный ингредиент от окисления.

Для качественного определения биофлавоноидов была выбрана наиболее характерная реакция – с хлоридом алюминия (III), а для анализа комплексов – спектрофотометрический метод [14, 15].

Особенность методики заключается в том, что в качестве стандарта используют флавоноид – максимум поглощения комплекса которого наиболее соответствует максимуму поглощения комплекса с хлоридом алюминия исследуемого образца (рис. 5).

Полученные данные представлены в таблице 3.

Стандартными методами определили содержание флавоноидов, витамина С и β-каротина в ИК-порошке и инкапсулированном[1,2]. Полученные данные представлены в таблице 4.

Провели электронную микроскопию инкапсулированных порошков. В электронном микроскопе вместо света для построения изображения используют поток электронов в вакууме [16].

Объекты исследования в электронной микроскопии – твёрдые тела. В данной работе

[1] ГОСТ 24556-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. – М. : Издательство стандартов, 2018. – 10 с.

[2] ГОСТ Р 54058-2010. Продукты пищевые функциональные. Метод определения каротиноидов. – М. : Стандартинформ, 2011. – 8 с.

Таблица 3. Расчет содержания флавоноидов в экстракте рябины

Table 3. Flavonoid content in the rowanberry extract

Наименование параметра	Порошок ИК-сушки рябины	Инкапсулированный порошок
Оптическая плотность (D)	0,21 ± 0,03	0,14 ± 0,02
Концентрация (C)	9,00 ± 0,01	5,80 ± 0,01
Масса навески рябины, г	4,12 ± 0,10	3,11 ± 0,10
Масса флавоноидов, мг	9,00 ± 0,30	7,25 ± 0,30
Содержание флавоноидов, мг/г	4,24 ± 0,02	2,33* ± 0,02

* с учетом разведения (2:1) общее количество флавоноидов сохраняется на прежнем уровне.

* at a 2:1 dilution ratio, the total number of flavonoids does not change.

Таблица 4. Содержание витамина С и β-каротина в порошках рябины

Table 4. Vitamin C and β-carotene content in powdered rowanberries

Наименование образца	Витамин С, мг/г	β-каротин, мг/г
Порошок ИК-сушки рябины	3,62 ± 0,1	0,17 ± 0,1
Инкапсулируемый порошок	2,51* ± 0,1	0,13* ± 0,1

* с учетом разведения (2:1) содержание витамина С и β-каротина также сохраняется на прежнем уровне.

* at a 2:1dilution ratio, the content of vitamin C and β-carotene does not change.

были исследованы инкапсулированные порошки (распылительная и лиофильная сушки) (рис. 6, 7).

Электронная микроскопия позволяет достичь наибольшего разрешения из всех доступных методов исследования биологических объектов.

С помощью электронного микроскопа в данной работе была исследована микроструктура твердых тел – инкапсулированных порошков – при увеличениях от 1 мм до 10 мкм. Установлено, что распылительная сушка позволяет получить частицы сферической формы. В случае лиофильной сушки частицы имеют форму листа с рваными краями.

Результаты и их обсуждение

Учитывая полезные свойства исследуемых образцов, на кафедре технологии и организации пищевых производств Новосибирского государственного технического университета (ТОПП НГТУ) была разработана линейка творожных десертов функционального назначения с использованием порошка ИК-сушки рябины (2 %, 7 %) и инкапсулированного порошка (9 %, 14 %). Готовые образцы исследовались по органолептическим показателям качества (рис. 8, 9) [17].

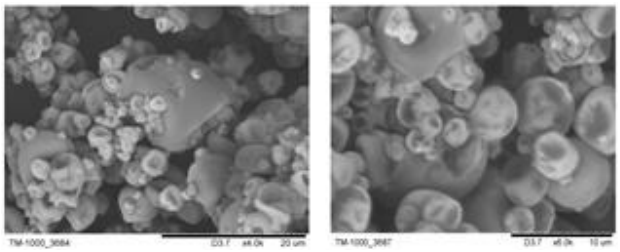

Рисунок 6. Электронная микроскопия инкапсулированного порошка (распылительная сушка)

Figure 6. Electron microscopy of the encapsulated powder (spray drying)

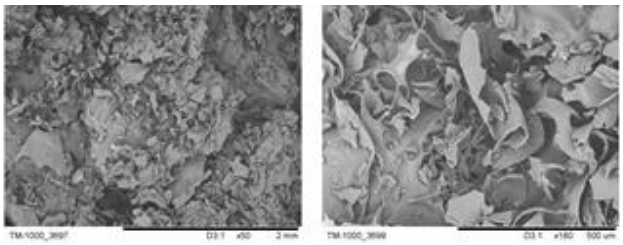

Рисунок 7. Электронная микроскопия инкапсулированного порошка (лиофильная сушка)

Figure 7. Electron microscopy of the encapsulated powder (freeze drying)

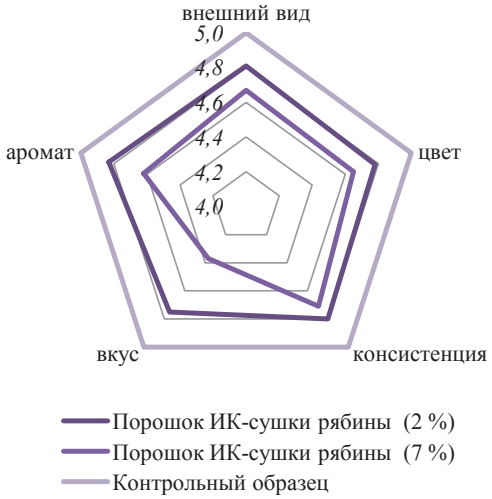

Рисунок 8. Органолептическая оценка качества творожных десертов с ИК-порошками рябины

Figure 8. Sensory evaluation of cottage cheese desserts with IR-dried powdered rowanberries

Творожный десерт с инкапсулированным порошком рябины отличается высокими органолептическими показателями, по сравнению с десертом, в котором использовали порошок ИК-сушки рябины. Проводя органолептический анализ качества только десертов с инкапсулированным порошком рябины, установлено, что творожный

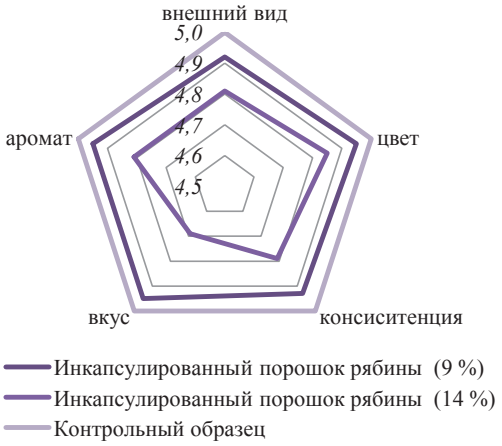

Рисунок 9. Органолептическая оценка качества творожных десертов с инкапсулированными порошками рябины

Figure 9. Sensory evaluation of cottage cheese desserts with IR-dried powdered rowanberries

десерт с использованием порошка в концентрации 9 % получил большее количество баллов. Для проведения физико-химической оценки качестве использовали десерты с наилучшими органолептическими показателями (табл. 5).

Горький вкус порошка ИК-сушки рябины ограничивает его добавление в какой-либо пищевой продукт до 2 % [18]. Данное количество вносимого ингредиента не обеспечивает конечный продукт полезными свойствами. Таким образом, порошок ИК-сушки рябины не может использоваться в качестве ингредиента, повышающего функциональность. Этап инкапсуляции позволил ввести в продукт в 7 раз больше полезных компонентов и обеспечить необходимое содержание БАВ в конечном продукте. Однако при введении 14 % инкапсулированного 1:1 порошка наблюдается ухудшение консистенции, а при введении 9 % инкапсулированного 2:1 порошка оценка данного показателя выше. Полученный образец инкапсулированного творожного десерта содержит в своем составе антиоксиданты, витамин С, β-каротин и биологически активные флавоноиды.

Выводы

Разработана технология получения инкапсулированных порошков рябины путем извлечения функциональных ингредиентов из сырья. Данный метод впервые применен для порошка инфракрасной сушки рябины обыкновенной. Использование технологии инкапсуляции позволяет нивелировать вкус готового изделия, маскируя природную горечь добавленного сырья. Получен продукт с высокими органолептическими показателями без снижения пищевой ценности и общего содержания биологически активных веществ.

Разработанный инкапсулированный порошок может быть применен как для создания пищевой

Таблица 5. Физико-химическая оценка качества творожных десертов

Table 5. Physical and chemical assessment of the quality of cottage cheese desserts

Параметр	Контрольный образец	Десерт с порошком ИК-сушки (2 %)	Десерт с инкапсулированным порошком (9 %)
Сухие вещества, г/100 г	69,89 ± 0,04	68,36 ± 0,04	68,32 ± 0,04
Кислотность, °Т	54,00 ± 0,50	72,00 ± 0,5	62,00 ± 0,5
Массовая доля золы, г/100 г	0,04 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,21 ± 0,3
Витамин С, мг/100 г	0,54 ± 0,02	6,17 ± 0,15	21,86 ± 0,2
β-каротин, мг/100 г	–	0,32 ± 0,02	1,01 ± 0,05
АОА, мг/100 г	0,06 ± 0,01	2,05 ± 0,08	5,30 ± 0,2
Флавоноиды, мг/100 г	–	4,48 ± 0,12	20,30 ± 0,2

продукции (сладких блюд, десертов на основе творога, напитков (соков, чаев и молочной продукции), в виде сухой смеси для выпечки печенья, кексов, бисквитов), так и для реализации в специализированных магазинах в качестве функционального ингредиента.

Критерии авторства

Данный проект проводился под руководством И. В. Мацейчик, которая вместе с С. М. Корпачевой контролировала технологическую часть исследования, проводимую на кафедре технологии и организации пищевых производств НГТУ. Идея работы принадлежит И. В. Мацейчик и И. О. Ломовскому. Последний отвечал за проведение исследований в химической лаборатории Института химии твердого тела и механохимии СО РАН. Проведением химических опытов, отработкой получения инкапсулированного порошка и приготовлением на его основе творожного десерта занимались Е. Г. Мартынова и А. И. Штеер.

Конфликт интересов

Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The project was supervised by I.V. Matseychik, who controlled the technological part of the study together with S.M. Korpacheva at the Department of Technology and Organization of Food Production at Novosibirsk State Technical University. The idea of the project belonged to I.V. Matseychik and I.O. Lomovskiy. I.O. Lomovskiy was responsible for conducting research in the chemical laboratory of the Institute of Solid State Chemistry and

Mechanochemistry. E.G. Martynova and A.I. Shteer performed chemical experiments, encapsulated the powder, and prepared the cottage cheese dessert.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Soukand, R. Use of wild food plants / R. Soukand, R. Kalle // Changes in the use of wild food plants in Estonia / R. Soukand, R. Kalle. – Cham : Springer, 2016. – P. 29–136. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-33949-8_5.

2. Исследование фенольных соединений экстрактов плодов рябины обыкновенной / Н. В. Исайкина, Н. Э. Коломиец, Н. Ю. Абрамец [и др.] // Химия растительного сырья. – 2017. – № 3. – С. 131–139. DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.2017031777.

3. Исследование химического состава плодов рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*), произрастающей в Кемеровской области / Л. А. Остроумов, О. В. Кригер, К. В. Карчин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – Т. 35, № 4. – С. 38–42.

4. Совершенствование организации и формирования культуры здорового питания в образовательных учреждениях / Н. Н. Аширова, Е. С. Бычкова, А. А. Дриль [и др.]. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2016. – 266 с.

5. Encapsulation technologies for food industry / V. Dordevic, A. Paraskevopoulou, F. Mantzouridou [et al.] // Emerging and traditional technologies for safe, healthy and quality food / V. Nedović, P. Raspor, J. Lević [et al.]. – Springer, 2016. – P. 329–382. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-24040-4_18.

6. Rigon, R. T. Microencapsulation by spray-drying of bioactive compounds extracted from blackberry (rubus fruticosus) / R. T. Rigon, C. P. Zapata Noreña // Journal of Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 53, № 3. – P. 1515–1524. DOI: https://doi.org/10.1007/s13197-015-2111-x.

7. Nielsen, S. Food analysis laboratory manual / S. Nielsen. – Springer, 2017. – P. 105–115. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6.

8. Распылительная сушилка / И. Ю. Алексанян, Ю. А. Максименко, О. Е. Губа [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2015. – Т. 5, № 1. – С. 61–66.

9. Fang, Z. Spray drying of bioactives / Z. Fang, B. Bhandari // Engineering foods for bioactives stability and delivery / Y. H. Roos, Y. D. Livney. – New York : Springer, 2017. – P. 261–284. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6595-3.

10. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (Rubus spp.) by-product extract by freeze-drying / C. Yamashita, M. M. S. Chung, C. dos Santos [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2017. – Vol. 84. – P. 256–262. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.063.

11. de Kock, H. L. Sensory evaluation, an important tool for understanding food and consumers / H. L. de Kock // Encyclopedia of food security and sustainability / P. Ferranti, E. M. Berry, J. R. Andercon. – Elsevier, 2019. – P. 546–549.

12. Хасанов, В. В. Методы исследования антиоксидантов / В. В. Хасанов, Г. Л. Рыжова, Е. В. Мальцева // Химия растительного сырья. – 2004. – № 3. – С. 63–75.

13. HPLC of anthocyans with an amperometric detector: Evaluation of the antioxidant activity / L. A. Deineka, S. L. Makarevich, V. I. Deineka [et al.] // Journal of Analytical Chemistry. – 2015. – Vol. 70, № 8. – P. 989–994. DOI: https://doi.org/10.1134/S1061934815080079.

14. Лобанова, А. А. Исследование биологически активных флавоноидов в экстрактах из растительного сырья / А. А. Лобанова, В. В. Будаева, Г. В. Сакович // Химия растительного сырья. – 2004. – № 1. – С. 47–52.

15. Da Silva, L. A. L. Spectrophotometric determination of the total flavonoid content in *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae) leaves / L. A. L. Da Silva, B. R. Pezzini, L. Soares // Pharmacognosy Magazine. – 2015. – Vol. 11, № 41. – P. 96–101. DOI: https://doi.org/10.4103/0973-1296.149721.

16. Морозова, К. Н. Электронная микроскопия в цитологических исследованиях / К. Н. Морозова. – Новосибирск : Новосибирский государственный университет, 2013. – 85 с.

17. Kumalasari, R. Quality assessment of physical and organoleptic instant corn rice on scale-up process / R. Kumalasari, R. Ekafitri, N. Indrianti // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – Vol. 101, № 1. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/101/1/012025.

18. Maceichik, I. V. The use of encapsulation technology for improvement of functional properties of curd desserts / I. V. Maceichik, I. O. Lomovskiy, E. G. Martynova // Materials of the V international conference “Fundamental bases of mechanochemical technologies” / Novosibirsk National Research State University. – Novosibirsk, 2018. – P. 150.

References

1. Soukand R, Kalle R. Use of wild food plants. In: Soukand R, Kalle R, editors. Changes in the use of wild food plants in Estonia. Cham: Springer; 2016. pp. 29–136. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-33949-8_5.

2. Isaykina NV, Kolomiets NE, Abramets NY, Bondarchuk RA. Study of phenolic compounds in the extracts of berries of Sorbus aucuparia. Chemistry of plant raw material. 2017;(3):131–139. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.14258/jcprm.2017031777.

3. Ostroumov LA, Kriger OV, Karchin KV, Shcetinin MP. Research of chemical composition of mountain ash (*Sorbus aucuparia*), growsing in the Kemerovo region. Food Processing: Techniques and Technology. 2014;35(4):38–42. (In Russ.).

4. Ashirova NN, Bychkova ES, Dril′ AA, Glavcheva SI, Korpachyova SM, Lomovskiy IO, et al. Sovershenstvovanie organizatsii i formirovanie kul′tury zdorovogo pitaniya v obrazovatel′nykh uchrezhdeniyakh [Improving the organization and formation of a healthy eating culture in educational institutions]. Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University; 2016. 266 p. (In Russ.).

5. Dordevic V, Paraskevopoulou A, Mantzouridou F, Lalou S, Pantić M, Bugarski B, et al. Encapsulation technologies for food industry. In: Nedović V, Raspor P, Lević J, Šaponjac VT, Barbosa-Cánovas GV, editors. Emerging and traditional technologies for safe, healthy and quality food. Springer; 2016. pp. 329–382. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-24040-4_18.

6. Rigon RT, Zapata Noreña CP. Microencapsulation by spray-drying of bioactive compounds extracted from blackberry (rubus fruticosus). Journal of Food Science and Technology. 2016;53(3):1515–1524. DOI: https://doi.org/10.1007/s13197-015-2111-x.

7. Nielsen S. Food analysis laboratory manual. Springer; 2017. pp. 105–115. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6.

8. Aleksanyan IYu, Maksimenko YuA, Guba OE, Feklunova YuS. Spray dryer. Technologies of food and processing industry of AIC – healthy food. 2015;5(1):61–66. (In Russ.).

9. Fang Z, Bhandari B. Spray drying of bioactives. In: Roos YH, Livney YD, editors. Engineering foods for bioactives stability and delivery. New York: Springer; 2017. pp. 261–284. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6595-3.

10. Yamashita C, Chung MMS, dos Santos C, Mayer CRM, Moraes ICF, Branco IG. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (Rubus spp.) by-product extract by freeze-drying. LWT – Food Science and Technology. 2017;84:256–262. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.063.

11. de Kock HL. Sensory evaluation, an important tool for understanding food and consumers. In: Ferranti P, Berry EM, Andercon JR, editors. Encyclopedia of food security and sustainability. Elsevier; 2019. pp. 546–549.

12. Khasanov VV, Ryzhova GL, Mal′tseva EV. Metody issledovaniya antioksidantov [Antioxidant research methods]. Chemistry of plant raw material. 2004;(3):63–75. (In Russ.).

13. Deineka LA, Makarevich SL, Deineka VI, Chulkov AN. HPLC of anthocyans with an amperometric detector: Evaluation of the antioxidant activity. Journal of Analytical Chemistry. 2015;70(8):989–994. DOI: https://doi.org/10.1134/S1061934815080079.

14. Lobanova AA, Budaeva VV, Sakovich GV. Issledovanie biologicheski aktivnykh flavonoidov v ehkstraktakh iz rastitel′nogo syr′ya [Biologically active flavonoids in plant extracts]. Chemistry of plant raw material. 2004;(1):47–52. (In Russ.).

15. Da Silva LAL, Pezzini BR, Soares L. Spectrophotometric determination of the total flavonoid content in *Ocimum basilicum* L. (Lamiaceae) leaves. Pharmacognosy Magazine. 2015;11(41):96–101. DOI: https://doi.org/10.4103/0973-1296.149721.

16. Morozova KN. Ehlektronnaya mikroskopiya v tsitologicheskikh issledovaniyakh [Electron microscopy in cytological studies]. Novosibirsk: Novosibirsk State University; 2013. 85 p. (In Russ.)

17. Kumalasari R, Ekafitri R, Indrianti N. Quality assessment of physical and organoleptic instant corn rice on scale-up process. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017;101(1). DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/101/1/012025.

18. Maceichik IV, Lomovskiy IO, Martynova EG. The use of encapsulation technology for improvement of functional properties of curd desserts. Materials of the V international conference “Fundamental bases of mechanochemical technologies”; 2018; Novosibirsk. Novosibirsk: Novosibirsk National Research State University; 2018. p. 150.

Сведения об авторах

Мацейчик Ирина Владимировна
канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и организации пищевых производств, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 2 0, тел.: +7 (383) 346-07-68, e-mail: ira.matseychik@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7095-2790

Мартынова Елизавета Георгиевна
магистрант кафедры технологии и организации пищевых производств, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел.: +7 (913) 205-34-16, e-mail: liz.martynova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7549-0978

Information about the authors

Irina V. Matseychik
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Technology and Organization of Food Industries, Novosibirsk State Technical University, 20, Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, phone: +7 (383) 346-07-68, e-mail: ira.matseychik@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7095-2790

Elizaveta G. Martynova
Undergraduate of the Department of Technology and Organization of Food Industries, Novosibirsk State Technical University, 20, Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, phone: +7 (913) 205-34-16, e-mail: liz.martynova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-7549-0978

Корпачева Светлана Михайловна
старший преподаватель кафедры технологии и организации пищевых производств, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, тел.: +7 (383) 346-07-68, e-mail: evtechova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8005-4364

Штеер Ангелина Ильинична
студент кафедры технологии и организации пищевых производств, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет», 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, e-mail: a.shteer@bk.ru
https://orcid.org/0000-0002-9117-7877

Ломовский Игорь Олегович
канд. хим. наук, старший научный сотрудник, исполнитель обязанностей заведующего лабораторией, ФГБУН «Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН», 630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18, тел.: +7 (923) 249-61-31, e-mail: lomovsky@solid.nsc.ru
https://orcid.org/0000-0001-8269-033X

Svetlana M. Korpacheva
Senior Lecturer of the Department of Technology and Organization of Food Industries, Novosibirsk State Technical University, 20, Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, phone: +7 (383) 346-07-68, e-mail: evtechova@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-8005-4364

Angelina I. Shteer
Student of the Department of Technology and Organization of Food Industries, Novosibirsk State Technical University, 20, Karla Marksa Ave., Novosibirsk, 630073, Russia, e-mail: a.shteer@bk.ru
https://orcid.org/0000-0002-9117-7877

Igor O. Lomovskiy
Cand.Sci.(Chem.), Senior Research, Acting Head of the Laboratory, Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry – Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 18, Kutateladze Str., Novosibirsk, 630128, Russia, phone: +7 (923) 249-61-31, e-mail: lomovsky@solid.nsc.ru
https://orcid.org/0000-0001-8269-033X