

Р.И. Фаткуллин¹,
И.В. Калинина¹,
Н.В. Науменко¹, ✉
Н.В. Попова¹,
Е.Е. Науменко¹,
Е. Иванисова²,
М. Токар²,
А.Д. Антонова³

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Российская Федерация

² Словацкий сельскохозяйственный университет, Нитра, Словакия

³ Национальный исследовательский университет «ИТМО», Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ Naumenkonv@susu.ru

Поступила в редакцию:
26.08.2022

Одобрена после рецензирования:
20.09.2022

Принята к публикации:
10.10.2022

Rinat I. Fatkullin¹,
Irina V. Kalinina¹,
Natalya V. Naumenko¹, ✉
Natalia V. Popova¹,
Ekaterina E. Naumenko¹,
Eva Ivanišová²,
Marián Tokár²,
Anastasia D. Antonova³

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

² Slovak University of Agriculture, Nitra, Slovakia

³ "ITMO" University, St. Petersburg, Russian Federation

✉ Naumenkonv@susu.ru

Received by the editorial office:
26.08.2022

Accepted in revised:
20.09.2022

Accepted for publication:
10.10.2022

Оценка биодоступности флавоноидов в растительных напитках с антиоксидантными свойствами

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Развитие производства ферментированных растительных напитков позволит не только максимально эффективно перерабатывать зерновые культуры, но и удовлетворить потребности людей, страдающих непереносимостью компонентов молока, а также потребителей, придерживающихся вегетарианского типа питания. В качестве одного из направлений возможно предложить получение ферментированных растительных напитков с заданными свойствами путем обогащения их антиоксидантами полифенольной природы. Данные технологии позволят минимизировать риски возникновения неинфекционных заболеваний населения РФ и стабилизировать здоровье населения в долгосрочной перспективе.

Методы. Объектами исследования были определены шесть образцов ферментированных растительных напитков, два из которых получены путем ферментирования зерна пшеницы и ячменя с применением закваски «Бифивит», в два других образца на этапе ферментации вносился порошкообразный флавоноид таксифолин, а в последних двух использовалась инкапсулированная в гидроксипропил-бета-циклодекстрин форма таксифолина. Во всех исследуемых образцах было определено общее содержание флавоноидов с применением спектрофотометрического метода, антиоксидантная активность (АОА) с использованием DPPH-метода, а также индекс биодоступности и критерий усвояемости.

Результаты. Проведенные исследования показали, что для всех исследуемых образцов ферментированных растительных напитков с внесением таксифолина характерны достаточно высокие значения содержания флавоноидов. При этом у образцов, содержащих инкапсулированные формы флавоноида, значения в среднем на 7–8% ниже, чем у образцов растительных напитков с его нативной формой. При этом индекс биодоступности для образцов, содержащих инкапсулированные формы флавоноида, был в среднем на 40–42% выше, что свидетельствует об эффективности процесса инкапсуляции. На более высокие значения антиоксидантной активности были характерны для растительных напитков, обогащенных исходной формой таксифолина, что, возможно, обусловлено созданием защитной оболочки и снижением значений АОА в среднем на 10–12% в образцах с инкапсулированной формой. Процесс ферментации растительного сырья приводит к повышению его усвояемости, о чем свидетельствует прирост инфузорий *Tetrahymena pyriformis*. Внесение в рецептуру напитков таксифолина как в его исходной, так и в инкапсулированной форме повышает прирост простейших на 187±4–315±3%.

Ключевые слова: растительные напитки, функциональные продукты, флавоноиды, антиоксидантные свойства, биодоступность флавоноидов, критерий усвояемости

Для цитирования: Фаткуллин Р.И., Калинина И.В., Науменко Н.В., Попова Н.В., Науменко Е.Е., Иванисова Е., Токар М., Антонова А.Д. Оценка биодоступности флавоноидов в растительных напитках с антиоксидантными свойствами. *Аграрная наука*. 2022; 363 (10): 143–148. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-143-148>

© Фаткуллин Р.И., Калинина И.В., Науменко Н.В., Попова Н.В., Науменко Е.Е., Иванисова Е., Токар М., Антонова А.Д.

Assessment of the bioavailability of flavonoids in herbal beverages with antioxidant properties

ABSTRACT

Relevance. The development of fermented herbal beverages will make it possible not only to process grain crops as efficiently as possible, but also to meet the needs of people with intolerance to milk components, as well as those who adhere to a vegetarian diet. As one of the directions, it is possible to offer production of fermented vegetable drinks with predetermined properties by enriching them with antioxidants of polyphenolic nature. These technologies will minimise the risks of non-communicable diseases in the Russian Federation and stabilise public health in the long term.

Methods. Six samples of fermented herbal beverages were identified as objects of study, two of which were obtained by fermentation of wheat and barley grains using "Bifivit" starter, powdered flavonoid taxifolin was added to other two samples at the fermentation stage, while the last two used the hydroxypropyl-beta-cyclodextrin encapsulated form of taxifolin. Total flavonoid content using spectrophotometric method, antioxidant activity(AOA) using DPPH-method as well as bioavailability index and digestibility criterion were determined in all tested samples.

Results. All the samples of fermented herbal beverages with taxifolin are characterized by sufficiently high flavonoid content. The samples containing encapsulated forms of the flavonoid have, on average, 7 to 8% lower values than the samples of herbal drinks containing the native form of the flavonoid. At the same time, the bioavailability index for the samples containing encapsulated forms of flavonoid was on average 40 to 42% higher, indicating the effectiveness of the encapsulation process. The highest values of antioxidant activity were characteristic of the plant drinks enriched with the initial form of taxifolin, which is probably due to the creation of a protective shell and a decrease in the AOA values by 10–12% on average in samples with encapsulated form. The process of fermentation of vegetable raw materials leads to an increase in their digestibility, as evidenced by the growth of the infusoria *Tetrahymena pyriformis*. Introduction of taxifolin into the formulation of drinks both in its original and encapsulated form increases the growth of protozoa by 187±4–315±3%.

Key words: herbal beverages, functional foods, flavonoids, antioxidant properties, flavonoid bioavailability, digestibility criterion

For citation: Fatkullin R.I., Kalinina I.V., Naumenko N.V., Popova N.V., Naumenko E.E., Ivanišová E., Tokár M., Antonova A.D. Assessment of the bioavailability of flavonoids in herbal beverages with antioxidant properties. *Agrarian science*. 2022; 363 (10): 143–148. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-363-10-143-148> (In Russian).

© Fatkullin R.I., Kalinina I.V., Naumenko N.V., Popova N.V., Naumenko E.E., Ivanišová E., Tokár M., Antonova A.D.

Введение / Introduction

По данным Росстата, в прошлом году урожай зерновых в России составил 121,4 млн тонн. На сегодняшний день Минсельхоз РФ прогнозирует увеличение урожая зерновых до значения 130 млн тонн. Среди лидеров в данном сегменте можно выделить такие зерновые культуры, как пшеница и ячмень. Необходимо отметить, что зерновое сырье имеет неоспоримые преимущества для здоровья человека благодаря богатому химическому составу. Это незаменимый источник макро- и микроэлементов, витаминов, пищевых волокон, а также минеральных биологически активных веществ.

Рекордные урожаи уже сегодня позволяют задуматься производителям о новых и перспективных технологиях переработки зернового сырья, создании пищевых продуктов с доказанной эффективностью, гарантированно полезных для конечного потребителя.

Одним из таких направлений, которое получило активное развитие в последние годы, стало получение ферментированных растительных напитков. Данный сегмент позволяет удовлетворить потребности людей, страдающих непереносимостью компонентов молока, а также потребителей, придерживающихся вегетарианского типа питания. Высокий интерес к таким продуктам как со стороны производителей, так и потребителей открывает новые возможности для развития ассортимента ферментированных растительных продуктов. В качестве одного из направлений возможно предложить получение ферментированных растительных напитков с антиоксидантными свойствами путем обогащения их антиоксидантами полифенольной природы. Данные технологии позволяют минимизировать риски возникновения неинфекционных заболеваний населения РФ [1–3] и стабилизировать здоровье населения в долгосрочной перспективе.

Вместе с тем, важно учитывать, что ферментированные растительные напитки с антиоксидантными свойствами — это сложная многокомпонентная пищевая система. Ее конечные состав и свойства обусловлены целым комплексом факторов, среди которых вариативность химического состава исходного сырья, уровень активности заквасочных культур микроорганизмов, антиоксидантная активность обогащающих добавок, их устойчивость в системе продукта, а также влияние на развитие пробиотиков. В этой связи важным представляется разработка и исследование свойств таких продуктов с точки зрения оценки их потенциальной полезности для здоровья потребителей [4–9]. Многочисленные исследования, представленные в открытой печати [11–15], не дают полного представления о возможности эффективного применения полифенольных веществ в матрице пищевых продуктов. Исследования ряда авторов [16–17] показали, что фенольные вещества в зерновых культурах находятся в основном в плодовой и семенной оболочках в связанном виде и входят в состав клеточных мембран, что обуславливает необходимость в технологии переработки максимально сохранить все составные части зерна. Среди веществ, обладающих антиоксидантными свойствами, в зерновых культурах можно выделить такие фенольные кислоты, как кумаровая и феруловая, причем многочисленные исследования отмечают, что они находятся преимущественно в связанном состоянии.

Ферментативные процессы играют ключевую роль в производстве зерносодержащих продуктов благодаря их положительному влиянию на органолептические

показатели, повышение биодоступности и усвояемости, а также на высвобождение веществ, обладающих антиоксидантными свойствами. При этом получение пищевых продуктов с повышенными антиоксидантными свойствами и доказанной эффективностью зачастую сопряжено с внесением ингредиентов антиоксидантного действия, одним из которых является флавоноид тахифолин.

Целью настоящего исследования являлась оценка антиоксидантных свойств и биодоступности флавоноида тахифолина в исходном и инкапсулированном виде при добавлении его в состав растительных ферментированных напитков.

Материал и методы исследования / Materials and method

Объектом исследования были выбраны ферментированные растительные напитки из следующих зерновых культур:

- зерно пшеницы мягкой яровой (*Triticum aestivum* L.) сорта Любава, выращенной в Уральском регионе России, урожай 2021 года;
- зерно ячменя голозерного (*Hordeum distichon*) сорта Нудум 95, выращенного в Уральском регионе России, урожая 2021 года.

Для заквашивания использовали закваску «Бифивит», имеющую в составе: *Acetobacter aceti*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis*, *Propionibacterium freudenreichii*, *Bifidobacterium bifidum*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium adolescentis*, *Bifidobacterium animalis*.

В качестве растительного антиоксиданта использовали флавоноид тахифолин (Т), который вносили в сырье до начала процесса ферментации. В исследованиях было использовано две формы тахифолина:

- исходная порошкообразная;
- тахифолин, инкапсулированный в гидроксипропил-бета-циклодекстрин.

Для приготовления ферментированных напитков из зерна пшеницы и ячменя использовали метод мокрого помола с получением растительных эмульсий. Закваску вносили согласно рекомендациям производителя. Количество вносимого тахифолина рассчитывали таким образом, чтобы обеспечить соответствие готовых ферментированных продуктов требованиям ГОСТ 55577-2013.

Исходя из предложенного перечня объектов и условий проведения эксперимента были сформированы следующие образцы для исследований:

- образец 1 — ферментированный растительный напиток из зерна пшеницы (контроль);
- образец 2 — ферментированный растительный напиток из зерна ячменя (контроль);
- образец 3 — ферментированный растительный напиток из зерна пшеницы с внесением исходного порошкообразного тахифолина;
- образец 4 — ферментированный растительный напиток из зерна ячменя с внесением исходного порошкообразного тахифолина;
- образец 5 — ферментированный растительный напиток из зерна пшеницы с внесением тахифолина, инкапсулированного в гидроксипропил-бета-циклодекстрин;
- образец 6 — ферментированный растительный напиток из зерна ячменя с внесением тахифолина, инкапсулированного в гидроксипропил-бета-циклодекстрин.

В готовых ферментированных растительных напитках определяли следующую номенклатуру показателей, согласно указанным далее методикам:

— количество флавоноидов определяли с использованием метода, описанного Shafii [10], при помощи хлорида алюминия при длине волны спектрофотометра 415 нм. В качестве стандарта использовали кверцетин, результаты выражали в мкг/эквивалентах кверцетина (мг QE/г).

— индекс биодоступности, определяли согласно методике, предложенной авторами.

Индекс биодоступности (ИБД, %), рассчитывали по формуле:

$$\text{ИБД} = \frac{K_{\text{кон}}}{K_{\text{исх}}} \times 100, \quad (1),$$

где $K_{\text{кон}}$ — количество флавоноидов после процесса переваривания *in vitro*, мг QE/г;

$K_{\text{исх}}$ — количество флавоноидов до процесса переваривания, мг QE/г.

Использование моделирования процесса переваривания *in vitro* проходило последовательно в две фазы: фаза желудка и фаза тонкого кишечника;

— общую антиоксидантную (антирадикальную) активность (АОА) определяли методом DPPH, используя раствор 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH). Поглощение измеряли спектрофотометрически при длине волны 515 нм. АОА рассчитывали по формуле:

$$\text{АОА} = \frac{1 - (D_i - D_j)}{D_c} \times 100, \quad (2),$$

где D_i — оптическая плотность исследуемого раствора;

D_j — оптическая плотность контрольного раствора DPPH с метанолом;

D_c — оптическая плотность раствора DPPH;

— определение критерия усвояемости проводили по методике биотестирования с использованием культур простейших *Tetrahymena pyriformis* (тетрахимена пириформис).

Предварительно растили чистую культуру простейших в питательной среде 48–96 ч при температуре $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Критерий усвояемости рассчитывали согласно формуле:

$$K_y = \frac{K_{\text{рп}}}{K_{\text{рв}}} \times 100, \quad (3),$$

где $K_{\text{рп}}$ — коэффициент роста культуры в пробе;

$K_{\text{рв}}$ — коэффициент роста культуры в дистиллированной воде.

Экспериментальные данные были обработаны на основе методов математической статистики с использованием «Microsoft Excel» и «MathCad». Полученные данные представлены с доверительным коэффициентом 0,95.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В настоящее время для флавоноидов установлены МР 2.3.1.2432-08 и МР 2.3.1.0253-2021 [10] рекомендуемые уровни потребления веществ данной группы: для взрослых — 250 мг/сут., для детей 7–18 лет — от 150 до 250 мг/сут. Результаты определения содержания

флавоноидов в исследуемых образцах ферментированных растительных напитков в сопоставлении с индексом биодоступности представлены на рисунке 1.

Для всех исследуемых образцов ферментированных растительных напитков с внесением таксифолина характерны достаточно высокие значения содержания флавоноидов. При этом у образцов 5 и 6, содержащих инкапсулированные формы флавоноида, значения

Рисунок 1. Результаты определения содержания флавоноидов и индекса биодоступности в исследуемых образцах ферментированных растительных напитков, %

Figure 1. The results of determining the content of flavonoids and the bioavailability index in the studied samples of fermented vegetable drinks, %

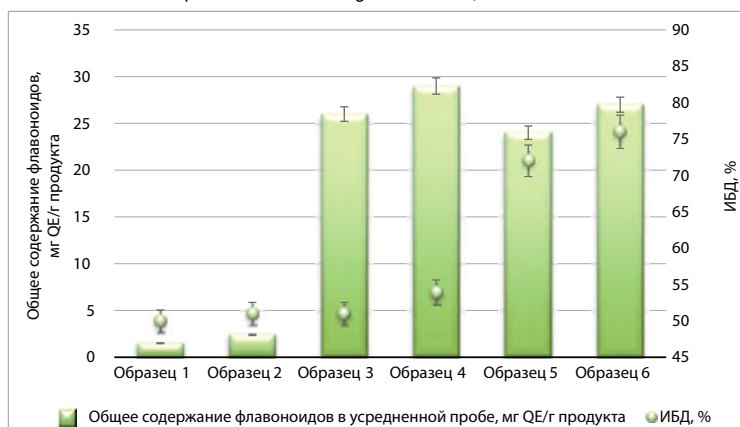
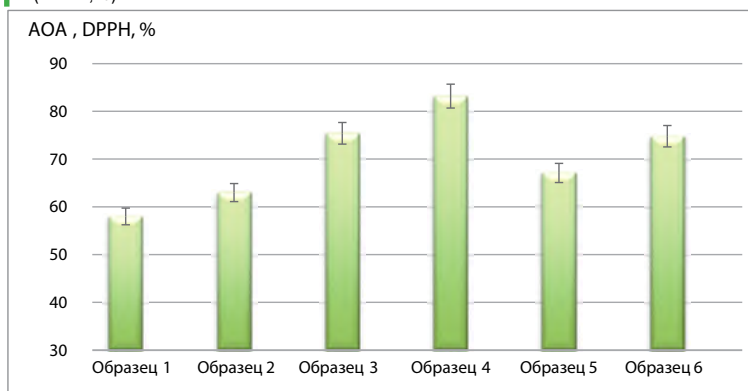


Рисунок 2. Значения АОА в исследуемых образцах ферментированных растительных напитках (DPPH, %)

Figure 2. AOA values in the studied samples of fermented vegetable drinks (DPPH, %)



в среднем на 7–8% ниже, образцов растительных напитков с его нативной формой. Использование технологий инкапсуляции может несколько скрыть проявление антиоксидантного действия флавоноидов за счет создания защитной оболочки.

Рядом исследований, представленных в открытой печати, подтверждено, что в процессе переваривания обнаруживается значительно более высокий уровень сохранения флавоноидов в инкапсулированном виде, чем в исходном [17–24]. Данный факт был подтвержден в наших исследованиях: так, индекс биодоступности для образцов 5 и 6 был в среднем на 40–42% выше образцов с внесенным таксифолином в исходной порошкообразной форме.

Следующим этапом настоящего исследования являлась оценка влияния используемых форм таксифолина на антиоксидантную активность полученных ферментированных растительных напитков. Результаты определения данного показателя представлены на рисунке 2.

Рисунок 3. Характерный вид процесса подсчета инфузорий *Tetrahymena pyriformis*, полученный с использованием прибора «БиоЛат-3.2»

Figure 3. A characteristic view of the process of counting ciliates *Tetrahymena pyriformis*, obtained using the «BioLat-3.2» device

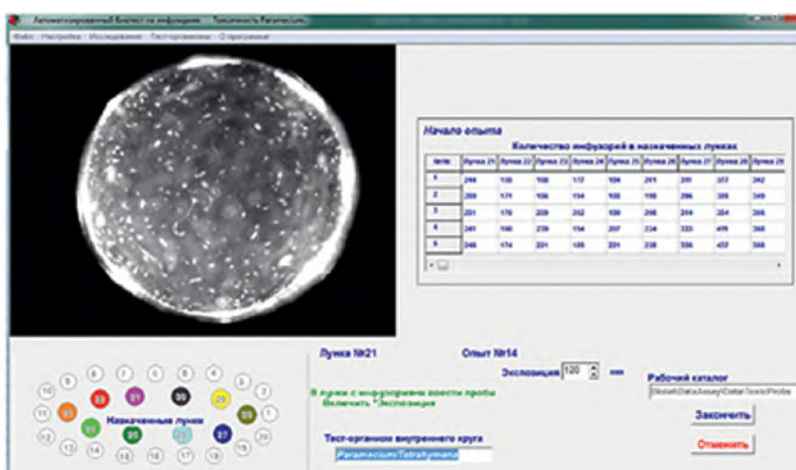
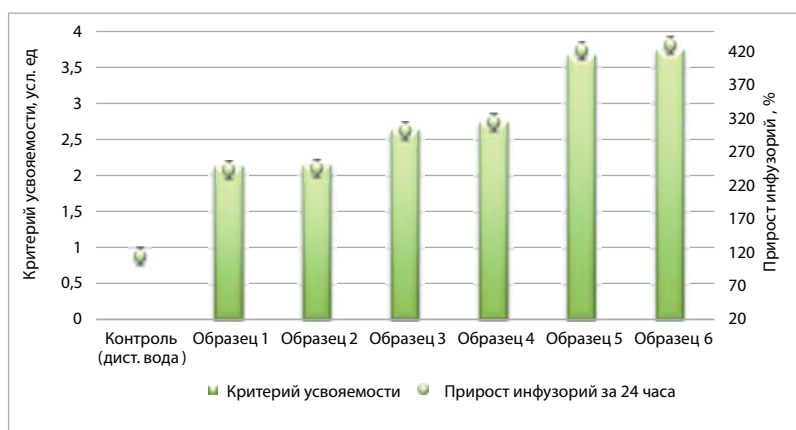


Рисунок 4 — Результаты определения критерия усвояемости и прироста инфузорий в питательной среде с использованием образцов ферментированных растительных напитков

Figure 4 — The results of determining the criterion of digestibility and growth of ciliates in a nutrient medium using samples of fermented vegetable drinks



Полученные результаты позволяют отметить, что наиболее высокие значения антиоксидантной активности были характерны для растительных напитков, обогащенных исходной формой таксифолина. Необходимо отметить, что использование технологий инкапсуляции может несколько скрыть проявление антиоксидантного действия флавоноидов за счет создания защитной оболочки. В нашем случае полученные значения в инкапсулированных образцах (образцы 5, 6) на 10–12% ниже, чем в образцах ферментированных растительных напитков с внесением исходного порошкообразного таксифолина.

Завершающим этапом исследований являлось определение критерия усвояемости по количеству прироста инфузорий *Tetrahymena pyriformis* за 24 часа (рисунок 3). Данный показатель наиболее полно характеризует изменение количества пищевых веществ и их соотношения в экстрактах анализируемых

продуктов, а также позволяет получить значительный массив данных и высокую степень корреляционной связи показателей, определяемых на крысах.

Результаты определения критерия усвояемости исследуемых образцов ферментированных растительных напитков представлены на рисунке 4.

Процесс ферментации растительного сырья приводит к повышению его усвояемости: так, для зерна пшеницы прирост инфузорий *Tetrahymena pyriformis* за 24 часа составил 129 ± 4 и $131 \pm 3\%$ относительно контрольных микролунок с дистиллированной водой соответственно. Внесение в рецептуру напитков таксифолина в его исходной форме способствовало значительному приросту инфузорий *Tetrahymena pyriformis* на 187 ± 4 и $200 \pm 4\%$. В микролунках с ферментированными растительными напитками из зерна пшеницы и ячменя с внесением таксифолина, инкапсулированного в гидроксипропил-бета-циклодекстрин, был отмечен наибольший прирост инфузорий *Tetrahymena pyriformis* за 24 часа, который и составил 307 ± 5 и $315 \pm 3\%$, что, в свою очередь, повышает значение критерия усвояемости в среднем на 172 и 174% относительно образцов без внесения таксифолина. Вероятно, это связано с тем, что выбранные нами технологии ферментации и инкапсулирования не только стимулируют расщепление белка и крахмала протеолитическими и амилолитическими ферментами, но и позволяют перевести флавоноид таксифолин в растворимую форму, более доступную для пищеварительного аппарата простейших и, как следствие, для человека, что позволяет данному флавоноиду попасть в кровоток и оказать свое полезное действие на организм.

Выводы / Conclusion

Полученные результаты позволяют сказать, что используемые подходы к получению ферментированных растительных напитков с антиоксидантными свойствами являются эффективными. Использование технологии инкапсуляции позволило не только значительно повысить антиоксидантные свойства напитков, но и увеличить индекс биодоступности флавоноидов в среднем на 40–42% по сравнению с таксифолином, внесенным в исходной порошкообразной форме.

Вместе с тем, следует отметить, что как на эффективность процессов ферментации, так и на процесс повышения антиоксидантных свойств влияет множество факторов, что в целом требует дополнительных исследований.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук МК-3690.2021.5.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нилова Л.П., Малютенкова С.М., Арсирий А.Г. Нутриенты апельсиновых соков и нектаров, роль в формировании антиоксидантных свойств. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Пищевые и биотехнологии*. 2021; 9(3): 72–80. DOI: 10.14529/food210308
2. Нилова Л.П., Пилипенко Т.В., Потороко И.Ю. Токоферолы и токотриенолы: свойства, функции, природные источники. Аналитический обзор. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Пищевые и биотехнологии*. 2021; 9(1): 68–81. DOI: 10.14529/food210108
3. Imran M, et al. Lycopene as a natural antioxidant used to prevent human health disorders. *Antioxidants*. 2020; 9(8):1-27 DOI 10.3390/antiox9080706
4. Фаткуллин Р.И., Васильев А.К., Калинина И.В., Брызгалова А.Д., Семиздралов И.А. Влияние процесса инкапсуляции на сохранение антиоксидантных свойства флавоноидов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Пищевые и биотехнологии*. 2021; 9(1): 38–47. DOI: 10.14529/food210105
5. Сербина Н.В., Позняковский В.М., Фаткуллин Р.И., Калинина И.В., Журавлева Д.Н., Воропай И. Оценка стабильности антиоксидантных свойств обогащенных напитков при хранении. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Пищевые и биотехнологии*. 2022; 10(1): 49–57. DOI: 10.14529/food220106
6. Науменко Н.В., Потороко И.Ю., Велямов М.Т. Цельнозерновая мука из пророщенного зерна пшеницы как пищевой ингредиент в технологии продуктов питания. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Пищевые и биотехнологии*. 2019; 7(3): 23–30. DOI: 10.14529/food190303
7. Потороко И.Ю., Паймулина А.В., Ускова Д.Г., Калинина И.В., Попова Н.Б., Шириш Сонавейн. Антиоксидантные свойства функциональных пищевых ингредиентов, используемых при производстве хлебобулочных и молочных продуктов, их влияние на качество и сохранность продукции. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2017; 79(4): 143–151. DOI:10.20914/2310-1202-2017-4-143-151
8. Шатилов А.В., Богданова О.Г., Коробов А.В. Роль антиоксидантов в организме в норме и при патологии. *Ветеринарная патология*. 2007; 2: 207–211.
9. Хайруллина В.Р. и др. Определение антиокислительного действия кверцетина и дигидрокверцетина в составе бинарных композиций. *Химия растительного сырья*. 2008; 4: 59–64.
10. Рамазанов И.А., Панасенко С.В., Сейфуллаева М.Э., Майорова Е.А. Инновационно-цифровые перспективы развития агропродовольственного сектора и сферы обращения. *Аграрная наука*. 2022; (4):109-117. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-358-4-109-117>
11. Thirumdas R. A., Saragapani R. C. Ajinkya M.T., Deshmukh R.R., Annappure U.S. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2016; 37: 53-60.
12. Lin J., Zhou W. Role of quercetin in the physicochemical properties, antioxidant and antiglycation activities of bread. *J. of Functional Foods*. 2018; 40: 299–306.
13. Nacz M., Shahidi F. Extraction and analysis of phenolics in food. *J. Chromatogr. A*. 2004; 1054(1–2): 95–111.
14. Lin J., Zhou W. Role of quercetin in the physicochemical properties, antioxidant and antiglycation activities of bread. *Journal of Functional Foods*. 2018; 40: 299–306.
15. Nacz M., Shahidi F. Extraction and analysis of phenolics in food. *J. Chromatogr.* 2004; A 1054 (1–2): 95–111.
16. Wang S. et al. Application of nanotechnology in improving bioavailability and bioactivity of diet-derived phytochemicals. *J. of Nutritional Biochemistry*. 2014; 25: 363–376.
17. Agati G., Azzarello E., Pollastri S., Tattini M. Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance. *Plant Sci*. 2012; 196(3): 67–76.
18. Parker M. L. et al. The phenolic acid and polysaccharide composition of cell walls bran layers of mature wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Avalon) grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005; 85: P. 2539–2547.
19. Perlovich G.L., Ryzhakov A.M., Strakhova N.N., Kazachenko V.P., Schaper K.J., Raevsky O.A. Thermodynamic aspects of solubility and partitioning processes of some sulfonamides in the solvents modeling biological media. *J. Chem. Thermodyn.* 2014; 69(2): 56–65.
20. Zhang H. et al. Structure-solubility relationships and thermodynamic aspects of solubility of some flavonoids in the solvents modeling biological media. *Journal of Molecular Liquids*. 2017; 225: 439–445.
21. Rios J.L., Recio M.C. Medicinal plants and antimicrobial activity. *J. Ethnopharmacol.*, 2005; 100: 80–84.
22. Заморська І. Л. Фенольний комплекс ягід суниць. *Інтеграційна система освіти, науки і виробництва в сучасному інформаційному просторі: матеріали міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції*. Тернопіль, 2014; 40–41.
23. Макарова Н.В., Зюзина А.В., Мирошкина Ю.И. Антиокислительное действие ягод. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2010. 2-3:10-12. EDN: MRXVVP
24. Солёнова Е.А., Величковская Л.Н. Флавоноиды. перспективы применения в антимикробной терапии. *Acta medica Eurasica*. 2017; 3:50-57. EDN: ZIFSML

FUNDING:

The article was financially supported by the grant of the President of the Russian Federation for young scientists for state support of young Russian scientists — candidates of science MK-3690.2021.5.

REFERENCES

1. Nilova L.P., Malyutenkova S.M., Arsirii A.G. Nutrients of Orange Juices and Nectars, Role in the Formation of Antioxidant Properties. *Bulletin of the South Ural State University. Series Food and Biotechnology*. 2021; 9 (3): 72–80. (in Russian) DOI: 10.14529/food210308
2. Nilova L.P., Pilipenko T.V., Potoroko I.Yu. Tocopherols and Tokotrienols: Properties, Functions, Natural Sources. Analytical Review. *Bulletin of the South Ural State University. Series Food and Biotechnology*. 2021; 9(1): 68–81. (in Russian) DOI: 10.14529/food210108
3. Imran M, et al. Lycopene as a natural antioxidant used to prevent human health disorders. *Antioxidants*. 2020; 9(8):1-27 DOI 10.3390/antiox9080706
4. Fatkullin R.I., Vasiliev A.K., Kalinina I.V., Bryzgalova A.D., Semizdrlov I.A. Effect of the Encapsulation Process on the Preservation of the Antioxidant Properties of Flavonoids. *Bulletin of the South Ural State University. Series Food and Biotechnology*. 2021; 9(1): 38–47. (in Russian) DOI: 10.14529/food210105
5. Serbina N.V., Pozniakovskiy V.M., Fatkullin R.I., Kalinina I.V., Zhuravleva D.N., Voropay I. Assessment of stability of antioxidant properties of enriched beverages during storage. *Bulletin of the South Ural State University. Series Food and Biotechnology*. 2022; 10(1): 49–57. (in Russian) DOI: 10.14529/food220106
6. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Velyamov M.T. Sprouted Whole Wheat Grain as a Food Constituent in Food Technology. *Bulletin of the South Ural State University. Series Food and Biotechnology*. 2019; 7(3): 23–30. (in Russian) DOI: 10.14529/food190303
7. Potoroko I.Yu., Paymulina A.V., Uskova D.G., Kalinina I.V., Popova N.V., Shirish Sonavein. Antioxidant properties of functional food ingredients used in the production of bakery and dairy products, their influence on the quality and shelf life of products. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2017; 79(4): 143–151. DOI:10.20914/2310-1202-2017-4-143-151(in Russian)
8. Shatilov A.V., Bogdanova O.G., Korobov A.V. The role of antioxidants in the body in normal and pathological conditions. *Veterinary pathology*. 2007; 2: 207–211. (in Russian)
9. Khairullina V.R. et al. Determination of antioxidant activity of quercetin and dihydroquercetin in binary compositions. *Chemistry of vegetable raw materials*. 2008; 4: 59–64. (in Russian)
10. Ramazanov I.A., Panasenkov S.V., Seyfullaeva M.E., Mayorova E.A. Innovative digital prospects of the agri-food sector and distribution chains development. *Agrarian science*. 2022; (4):109-117. (in Russian) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-358-4-109-117>
11. Thirumdas R. A., Saragapani R. C. Ajinkya M.T., Deshmukh R.R., Annappure U.S. Influence of low pressure cold plasma on cooking and textural properties of brown rice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2016; 37: 53-60.
12. Lin J., Zhou W. Role of quercetin in the physicochemical properties, antioxidant and antiglycation activities of bread. *J. of Functional Foods*. 2018; 40: 299–306.
13. Nacz M., Shahidi F. Extraction and analysis of phenolics in food. *J. Chromatogr. A*. 2004; 1054(1–2): 95–111.
14. Lin J., Zhou W. Role of quercetin in the physicochemical properties, antioxidant and antiglycation activities of bread. *Journal of Functional Foods*. 2018; 40: 299–306.
15. Nacz M., Shahidi F. Extraction and analysis of phenolics in food. *J. Chromatogr.* 2004; A 1054 (1–2): 95–111.
16. Wang S. et al. Application of nanotechnology in improving bioavailability and bioactivity of diet-derived phytochemicals. *J. of Nutritional Biochemistry*. 2014; 25: 363–376.
17. Agati G., Azzarello E., Pollastri S., Tattini M. Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance. *Plant Sci*. 2012; 196(3): 67–76.
18. Parker M. L. et al. The phenolic acid and polysaccharide composition of cell walls bran layers of mature wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Avalon) grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005; 85: P. 2539–2547.
19. Perlovich G.L., Ryzhakov A.M., Strakhova N.N., Kazachenko V.P., Schaper K.J., Raevsky O.A. Thermodynamic aspects of solubility and partitioning processes of some sulfonamides in the solvents modeling biological media. *J. Chem. Thermodyn.* 2014; 69(2): 56–65.
20. Zhang H. et al. Structure-solubility relationships and thermodynamic aspects of solubility of some flavonoids in the solvents modeling biological media. *Journal of Molecular Liquids*. 2017; 225: 439–445.
21. Rios J.L., Recio M.C. Medicinal plants and antimicrobial activity. *J. Ethnopharmacol.*, 2005; 100: 80–84.
22. Zаморська І. Л. фенольний комплекс ягід суниць. *Integration system of Education, Science and production in the modern information space: Proceedings of the international scientific and practical Internet Conference*. Ternopil, 2014; 40–41. (in Ukrainian)
23. Makarova N.V., Zyuzina A.V., Miroshkina Yu.I. Antioxidant effect of berries. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 2010; 2-3:10-12. EDN: MRXVVP (in Russian)
24. Solonova E.A., Velichkovskaya L.N. Flavonoids. prospects of application in antimicrobial therapy. *Asta medica Eurasia*. 2017; 3:50-57. EDN: ZIFSML (in Russian)

ОБ АВТОРАХ:

Ринат Ильгидарович Фаткуллин,
кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий,
Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76,
Челябинск, 454080, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0002-1498-0703>
fatkullinri@susu.ru

Ирина Валерьевна Калинина,
доктор технических наук, профессор кафедры пищевых и биотехнологий,
доцент,
Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76,
Челябинск, 454080, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>
kalininaiv@susu.ru

Наталья Владимировна Науменко,
доктор технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий,
доцент,
Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76,
Челябинск, 454080, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0002-9520-3251>
naumenkonv@susu.ru

Наталья Викторовна Попова,
кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий,
Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76,
Челябинск, 454080, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0001-7665-5984>
nvpopova@susu.ru

Екатерина Евгеньевна Науменко,
студент,
Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76,
Челябинск, 454080, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0002-0213-1595>
9193122375@mail.ru

Ева Иванисова,
PhD, доцент Института пищевых наук
Словацкий сельскохозяйственный университет, 2 Триеда Андрея Глинки,
Нитра, 94976, Словакия
<https://orcid.org/0000-0001-5193-2957>
eva.ivanisova@uniag.sk

Мариан Токар,
PhD, доцент Института пищевых наук
Словацкий сельскохозяйственный университет, 2 Триеда Андрея Глинки,
Нитра, 94976, Словакия
<https://orcid.org/0000-0002-0174-3434>
tokar@pekarne.sk

Антонова Анастасия Денисовна,
студент,
Национальный исследовательский университет ИТМО, Кронверкский пр.,
д. 49, лит. А., Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация
<https://orcid.org/0000-0001-6157-839X>
nastya.antonova.99@mail.ru

ABOUT THE AUTHORS:

Rinat Ilgidarovich Fatkullin,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of
Food and Biotechnology,
South Ural State University, 76 Lenin ave, Chelyabinsk, 454080, Russian
Federation
<https://orcid.org/0000-0002-1498-0703>
fatkullinri@susu.ru

Irina Valerievna Kalinina,
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food and
Biotechnology, Associate Professor,
South Ural State University, 76 Lenin ave, Chelyabinsk, 454080, Russian
Federation
<https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>
kalininaiv@susu.ru

Natalya Vladimirovna Naumenko,
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food
and Biotechnology, Associate Professor,
South Ural State University, 76 Lenin ave, Chelyabinsk, 454080, Russian
Federation
<https://orcid.org/0000-0002-9520-3251>
naumenkonv@susu.ru

Natalia Viktorovna Popova,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of
Food and Biotechnology,
South Ural State University, 76 Lenin ave, Chelyabinsk, 454080, Russian
Federation
<https://orcid.org/0000-0001-7665-5984>
nvpopova@susu.ru

Ekaterina Evgenievna Naumenko,
student,
South Ural State University, 76 Lenin ave, Chelyabinsk, 454080, Russian
Federation
<https://orcid.org/0000-0002-0213-1595>
9193122375@mail.ru

Eva Ivanisová,
PhD, Associate Professor, Institute of Food Sciences,
Slovak University of Agriculture, 2 Trieda Andreja Hlinku, Nitra, 94976, Slovakia
<https://orcid.org/0000-0001-5193-2957>
eva.ivanisova@uniag.sk

Marián Tokár,
PhD, Associate Professor, Institute of Food Sciences,
Slovak University of Agriculture, 2 Trieda Andreja Hlinku, Nitra, 94976, Slovakia
<https://orcid.org/0000-0002-0174-3434>
tokar@pekarne.sk

Antonova Anastasia Denisovna,
student,
ITMO University, 49, lit. A. Kronverksky pr., St. Petersburg, 197101, Russian
Federation
<https://orcid.org/0000-0001-6157-839X>
nastya.antonova.99@mail.ru