

Исследование влияния ультразвуковой обработки на извлечение компонентов свеклы (*Beta vulgaris*) с последующим использованием в напитках брожения

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Москва, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Лариса Николаевна Харламова
E-mail: harlara@yandex.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Харламова, Л. Н., Синельникова, М. Ю., & Матвеева, Д. Ю. (2024). Исследование влияния ультразвуковой обработки на извлечение компонентов свеклы (*Beta vulgaris*) с последующим использованием в напитках брожения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 33–41. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.3.571>

ПОСТУПИЛА: 03.02.2024

ДОРАБОТАНА: 01.08.2024

ПРИНЯТА: 15.09.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2024

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение: Квас является напитком брожения и содержит в своем составе нутрицевтические биологически активные соединения, экстрагируемые из исходного сырья и в процессе брожения. В настоящее время квас получают не только из зернового сырья, но и из ягодного и овощного. Свекла богата азотосодержащими, фенольными соединениями, в том числе бетанинами, органическими кислотами, а также сахарами и клетчаткой, содержит ряд макроэлементов и микроэлементов, витаминов. Возможность сохранения исходных свойств используемого сырья в напитках брожения изучено недостаточно.

Цель: исследовать состав свеклы для использования в технологии получения квасов, обладающих различными функциональными свойствами для изучения возможности использования свеклы в напитках брожения.

Материалы и методы: В работе использовались корнеплоды свеклы рода *Beta vulgaris* сорта Славянка урожая 2024 г. Экстракты свеклы были подвергнуты температурной обработке и обработке ультразвуком. Определен состав водных экстрактов образцов свекловичного жмыха, полученных в ходе обработки свеклы. Определение сухих веществ реализовывалось по ГОСТ 33977, массовую долю титруемых кислот – по ГОСТ ISO 750, содержание общих полифенолов – по ГОСТ Р 55488. Определение флавоноидов и рибофлавина осуществлялось колориметрически, а бетанина – спектрофотометрически при длине волны 535 нм.

Результаты: В результате ультразвуковой обработки увеличивалось содержание флавоноидов, катехинов, бетанина, рибофлавина. Массовая доля титруемых кислот увеличилась на 4,9% в свекольном экстракте. Массовая доля редуцирующих веществ возросла по сравнению с контрольным образцом на 0,47%.

Выводы: Применение свеклы в качестве сырья в технологии квасов позволит обогатить зерновое сусло фенольными соединениями, в состав которых войдут флавоноиды, катехины, бетанин, рибофлавин, редуцирующие сахара, органические кислоты, что скажется положительно на ферментативной активности дрожжей и биологической ценности получаемого кваса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

квас; напиток брожения; свекла; фенольные соединения; бетанин; флавоноиды; катехины; рибофлавин; органические кислоты; ультразвуковая обработка; функциональные свойства; биологическая активность; ферментативная активность

Study on the Effect of Ultrasonic Treatment on the Extraction of Beetroot (*Beta vulgaris*) Components for Subsequent Use in Fermented Beverages

All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russian Federation

Larisa N. Kharlamova, Marina Yu. Sinelnikova, Daria Yu. Matveeva

CORRESPONDENCE:

Larisa N. Kharlamova

E-mail: harlara@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Kharlamova, L. N., Sinelnikova, M.Yu., & Matveeva, D.Yu. (2024). Study on the effect of ultrasonic treatment on the extraction of Beetroot (*Beta vulgaris*) Components for subsequent use in fermented beverages. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(3), 33-41. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.571>

RECEIVED: 03.02.2024

REVISED: 01.08.2024

ACCEPTED: 15.09.2024

PUBLISHED: 30.09.2024

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: Kvass is a fermented beverage that contains nutraceutical bioactive compounds, which are extracted both from the original raw materials and during the fermentation process. Currently, kvass is produced not only from grain materials but also from berries and vegetables. Beetroot is rich in nitrogen-containing and phenolic compounds, including betanins, organic acids, sugars, fiber, and contains several macro- and microelements, as well as vitamins. The potential for preserving the original properties of raw materials in fermented beverages has not been sufficiently studied.

Purpose: To analyze the composition of beetroot for use in kvass production technology to create beverages with various functional properties and to explore the feasibility of using beetroot in fermented beverages.

Materials and Methods: The study used beetroot roots of the *Beta vulgaris* Slayvanka variety, harvested in 2024. Beetroot extracts were subjected to heat and ultrasonic treatments. The composition of the aqueous extracts of beet pulp samples obtained during beet processing was determined. Dry matter content was measured according to GOST 33977, titratable acidity according to GOST ISO 750, and total polyphenol content according to GOST R 55488. Flavonoid and riboflavin contents were determined colorimetrically, and betanin content was measured spectrophotometrically at a wavelength of 535 nm.

Results: Ultrasonic treatment resulted in increased levels of flavonoids, catechins, betanin, and riboflavin. The titratable acidity increased by 4.9% in the beet extract. The reducing substance content rose by 0.47% compared to the control sample.

Conclusion: Using beetroot as a raw material in kvass production can enrich the grain wort with phenolic compounds, including flavonoids, catechins, betanin, riboflavin, reducing sugars, and organic acids, positively influencing the enzymatic activity of yeast and the biological value of the resulting kvass.

KEYWORDS

kvass; fermentation beverage; beetroot; phenolic compounds; betanin; flavonoids; catechins; riboflavin; organic acids; ultrasonic treatment; functional properties; biological activity; enzymatic activity

ВВЕДЕНИЕ

Напитки брожения традиционно рассматриваются как важный источник питательных веществ, поскольку они содержат разнообразные биоактивные компоненты, способствующие поддержанию здоровья. Квас, являясь одним из таких напитков, включает в себя органические кислоты, витамины, аминокислоты и фенольные соединения, которые могут быть получены из исходного растительного сырья или образуются в процессе ферментации (Позднякова & Сенченко, 2019; Евграфова и др., 2019; Коротких и др., 2020). За последние десятилетия научный интерес к использованию незернового растительного сырья, особенно корнеплодов свеклы, в производстве кваса значительно возрос (Колесниченко и др., 2020; Еременко и др., 2021; Обрезкова и др., 2019). Согласно ГОСТ 31494–2012, применение такого сырья в производстве кваса допускается и регулируется.

Свекла (*Beta vulgaris*) представляет собой богатый источник биологически активных соединений, включая макро- и микроэлементы (натрий, магний, калий, медь, цинк, йод), витамины (Е, А, К, В, С, РР и фолиевая кислота), азотосодержащие соединения (включая бетанин и беталаин), фенольные соединения, каротиноиды и органические кислоты (Еременко и др., 2021; Ceclu et al., 2020; Tomaszewska et al., 2018; Glaser et al., 2024; Gruska et al., 2022). Содержание углеводов в свекле также привлекает внимание, поскольку она содержит сахарозу, которая является основным сбраживаемым углеводом и составляет более 98 % общего содержания сахаров, а также глюкозу и фруктозу в меньших количествах (Hoffmann et al., 2018). Исследования показывают, что в растительной матрице свеклы присутствуют кестоза, галактоза, трегалоза, раффиноза, глюкоза и арабиноза в различных формах и концентрациях (Gruska et al., 2022; Varyga, 2023).

Одним из важнейших биоактивных соединений свеклы является бетанин, который принадлежит к группе беталаинов и составляет до 95 % этих пигментов (Sawicki et al., 2016; Choińska et al., 2022). Химическая структура бетанина представляет собой гликозид бетанидина, связанный с глюкозой. Бетанин известен своими выраженными противовоспалительными, антиоксидантными и антиканцерогенными свойствами, что делает его важным нутрицевтическим компонентом (Соколова, 2022).

Полифенольные соединения в свекле представлены флавоноидами, включая апигенин, витексин и их производные, а также монофенольными кислотами и флавонолами, такими как кемпферол и кверцетин (Ninfali et al., 2017; Arjeh et al., 2022). Интересным является тот факт, что фенольные соединения в нативном свекольном соке преимущественно находятся в связанной форме, а процесс ферментации способствует увеличению содержания свободных форм этих соединений (Płatosz et al., 2020). Таким образом, ферментация позволяет сохранить антимуtagenные свойства свеклы и увеличить содержание пробиотических и витаминных соединений, что положительно влияет на пищевую ценность конечного продукта (Sobhy et al., 2020; Gamage et al., 2016).

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных изучению состава свеклы и её применения в производстве напитков брожения, остаются нерешенные вопросы относительно эффективности извлечения биоактивных компонентов и их сохранности при обработке. В этом контексте использование ультразвуковой обработки представляется перспективным методом, способным увеличить выход полезных соединений за счет разрушения клеточных стенок и повышения проницаемости растительных тканей. Ультразвук позволяет ускорить процесс экстракции и минимизировать потери ценных веществ за счет кратковременного воздействия и отсутствия высоких температур.

Целью данного исследования является изучение влияния ультразвуковой обработки на извлечение комплекса биоактивных соединений из свеклы с последующим использованием в производстве кваса. В ходе работы были сформулированы следующие исследовательские вопросы: какие соединения свеклы играют ключевую роль в функциональных свойствах её переработанных продуктов; какие методы извлечения нутрицевтических компонентов наиболее совместимы с технологическим процессом производства кваса; какие корреляции существуют между различными органическими соединениями свеклы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

В работе использовались корнеплоды свеклы рода *Beta vulgaris* сорта Славянка урожая 2024 г., широко культивируемые на территории России. В качестве образцов использовали смешанный сок и экстракт, полученные из клубней свеклы, причем для исследования применялись только свежие, зрелые, неиспорченные образцы клубней.

Оборудование

Для обработки жмыха свеклы использовалась ультразвуковая баня Skymen JP-040ST (Китай, 2023 г.)

Спектрофотометрические методы определения проводились на спектрофотометре Shimadzu UV 2600 (Япония, 2019) и фотоэлектроколориметр КФК 3-01 (Россия, 1990 г.) в диапазоне длин волн 200–700 нм.

Содержание сухих веществ в образцах определяли на рефрактометре СНЕЛ-104. Активную кислотность измеряли на рН-метре Testo 206-pH1.

Методы

Определение сухих веществ проводилось по ГОСТ 33977¹, массовая доля титруемых кислот (общая кислотность) — по ГОСТ ISO 750², общих полифенолов — по ГОСТ Р 55488³, флавоноидов (в пересчете на апигенин) — по Шестакова и соавт. (2016), катехинов — по Маслянников и соавт. (2014), рибофлавина — по Крыльский и соавт. (2008), редуцирующих сахаров — по ГОСТ 34799⁴, бетанина — спектрофотометрическим методом.

Процедура исследования

Для выделения органических соединений образец свеклы измельчался до размера частиц 2 мм, сок самотек фильтровался и объединялся в общую пробу. Жмых, полученный из корнеплодов после отделения сока самотеком, был разделен на три образца, равных по массе. Далее они подвергались обработке. Общими условиями обработки для трех образцов был гидромодуль экстракции (1:2), растворитель — 0,01% водный раствор лимонной кислоты с рН 5,6, время обработки — 20 мин. Способы обработки образцов различались. Первый образец (контроль) выдерживали при температуре $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, второй образец (опыт 1) — при $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$, третий (опыт 2) — при той же температуре, что и второй, но в условиях ультразвука 60кГц. По истечению времени обработки образцы фильтровались и объединялись с соком самотеком, разделенным на 3 равных части. Образцы хранились при температуре $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение периода исследования. В образцах исследовалось содержание сухих веществ, кислотность, содержание полифенолов, в том числе флаваноидов, катехинов, бетанина, рибофлавина (витамина В₂), редуцирующих соединений.

Анализ данных

Статистические данные по полифенольному профилю экстрактов свеклы обрабатывались программой Statistics (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA, 2006).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для получения экстрактов были использованы корнеплоды свеклы рода *Beta vulgaris* сорта Славянка урожая 2024 г. В дальнейшем экстракты свеклы были подвергнуты температурной обработке и обработке ультразвуком. Определен состав водных экстрактов образцов свекловичного жмыха, полученных в ходе обработки свеклы. Состав водных

¹ ГОСТ 33977–2016. (2016). Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения общего содержания сухих веществ. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ ISO 750–2013. (2013). Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности. М.: Стандартинформ.

³ ГОСТ Р 55488–2013 (2013). Прополис. Метод определения полифенолов. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ 34799–2021 (2021). Продукция пивоваренная. Идентификация. Фотоэлектроколориметрический метод определения массовой концентрации β-глюкана. М.: Стандартинформ.

Таблица 1

Состав экстрактов образцов свеклы

Table 1

Composition of beet sample extracts

Показатель	Содержание в образцах экстрактов свеклы (± допустимое отклонение)		
	контроль	опыт 1	опыт 2
Содержание сухих веществ %	5,0 ± 0,3	5,2 ± 0,3	5,3 ± 0,3
Содержание массовой доли титруемых кислот %	11,3 ± 0,2	13,5 ± 0,2	16,2 ± 0,2
Содержание редуцирующих веществ %	0,63 ± 0,04	1,02 ± 0,07	1,10 ± 0,08
Содержание рибофлавина (B ₂), мг %	0,016 ± 0,001	0,019 ± 0,001	0,018 ± 0,001
Объем полученного экстракта при обработке жмыха, см ₃	220	225	240

Таблица 2

Полифенольный профиль экстрактов образцов свеклы

Table 2

Polyphenolic profile of beet sample extracts

Показатель	Содержание в образцах экстрактов из свеклы (± допустимое отклонение)		
	контроль	опыт 1	опыт 2
Содержание общих полифенолов, мг %	35,4 ± 3,1	39,8 ± 4,0	41,2 ± 4,0
Содержание флавоноидов (в пересчете на апигенин), мг %	0,032 ± 0,002	0,032 ± 0,002	0,117 ± 0,006
Содержание катехинов, мг %	0,0135 ± 0,001	0,0131 ± 0,001	0,0144 ± 0,001
Содержание бетанина, мг %	26,0 ± 1,3	20,7 ± 1,0	24,2 ± 1,2

экстрактов образцов свекловичного жмыха представлен в Таблицах 1 и 2.

Согласно данным Таблицы 1, содержание сухих веществ контроля и опытных образцов находится в пределах допустимых отклонений. Видно, как массовая доля титруемых кислот увеличилась благодаря ультразвуковой обработке жмыха, что говорит о пользе такой обработки относительно массовой доли титруемых кислот. Массовая доля титруемых кислот на 19 % и 43 % выше в опыте №1 и №2 соответственно по сравнению с контролем. Содержание редуцирующих веществ выше на 62–75 % в опытных образцах по сравнению с контролем, а рибофлавина — для опытных образцов находится в пределах погрешности метода определения, но в среднем на 15,6 % выше контрольного значения. Что говорит о том, что количество редуцирующих веществ и рибофлавина, увеличилось благодаря обработке образцов при температуре 50 °С, а применение ультразвука значимо не сказалось на увеличении дан-

ных показателей. Объем экстрактов жмыха опытных образцов на 2 % и 9 % выше в опыте №1 и опыте №2 соответственно по сравнению с контролем.

Данные Таблицы 2 демонстрируют, что содержание общих полифенолов в опытных образцах находится в пределах допустимых отклонений методов, а в среднем содержание полифенолов на 14,4 % выше аналогичного значения в контроле. Содержание общих полифенолов выше в опытном образце № 2, что подтверждает экстракцию полифенолов при действии ультразвука, за счет разрушения клеточной стенки. Увеличение содержания флавоноидов происходит в образце №2 в 3,6 раз, а также катехинов — на 7 % соответственно по сравнению с контролем и опытным образцом №1. Означает, что действие ультразвука, ведет к высвобождению их из клеток, повышая их биодоступность, а также вероятно увеличивает синтез вторичных метаболитов этих веществ. Содержание бетанина максимальное в контрольном образце, в опыте №1 и №2

оно ниже на 20% и 7% соответственно по сравнению с контролем. Отметим, что в опытных образцах, полученных при 50 °С, содержание бетанина снижается по сравнению с его значением в контроле. Согласно полученным данным, что снижение концентрации бетанина дает только нагревание, обработка ультразвуком не снижает его показатель.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты проведенного исследования демонстрируют потенциал свеклы как ценного сырья для производства ферментированных напитков, таких как квас. Обоснование применения свеклы в пищевой промышленности обусловлено ее богатым нутрицевтическим составом, который включает полифенолы, витамины и другие биологически активные соединения (Vaião et al., 2020). Полифенольные соединения, определяющие антиоксидантную активность свеклы, варьируют по содержанию в зависимости от сорта, климатических и агротехнических условий (Vaião et al., 2017). Общее содержание полифенолов, согласно литературным данным, колеблется от 720 до 3764 мг/кг (Jakubczyk et al., 2024). В исследованных образцах полифенольные соединения были выявлены в диапазоне 35,4–41,2 мг%, что согласуется с существующими данными.

Бетанин, основной представитель класса беталаинов, известен своей высокой эффективностью в ингибировании процессов перекисного окисления липидов (Vaião et al., 2017). Его стабильность в диапазоне pH от 3 до 7 делает его подходящим для использования в различных пищевых продуктах, включая напитки с кислой и нейтральной средой (Соколова, 2022). Однако важным недостатком бетанина является его термолабильность: при нагревании происходит декарбоксилирование молекулы с образованием необетанина, что приводит к утрате функциональных свойств (Aztatzi-Ruggerio et al., 2019). Полученные результаты подтвердили эту тенденцию: в образцах, подвергнутых обработке при температуре 50 °С, наблюдалось снижение содержания бетанина по сравнению с контрольными образцами при 25 °С. Важно отметить, что ультразвуковая обработка не снижала концентрацию бетанина, тогда как нагрев оказывал значительное влияние.

Флавоноиды, такие как витексин, рутин, эпикатехин, кверцетин и другие, также представляют собой зна-

чимую группу полифенольных соединений в свекле. Их общее содержание составляет 0,08 мг% (Patosz et al., 2020), что подтверждается полученными нами данными для образца №2 с ультразвуковой обработкой, согласующимися с литературными источниками. Применение воды, подкисленной лимонной кислотой до pH 5,6, в качестве экстрагента вероятно повлияло на степень экстракции фенольных соединений. Обычно в качестве экстрагента используются спиртовые растворы, однако в контексте квасного производства важно было понять, насколько эффективен водный раствор с pH, соответствующим суслу (5,4–5,6), для экстракции соединений.

Содержание эпикатехина в разных частях корнеплода варьирует, что было подтверждено Arjeh et al. (2022): в кожуре его содержание выше, чем в мякоти. Наши данные по эпикатехину (0,0253 мг%) находились в пределах литературы, хотя значения оказались несколько ниже заявленных Patosz et al. (2020), что объясняется сложностью процедуры извлечения фенольных соединений.

Ультразвуковая обработка показала свою эффективность в увеличении содержания органических соединений, включая титруемые кислоты. Увеличение содержания редуцирующих веществ и рибофлавина было минимальным и наблюдалось только при нагревании до 50 °С. Содержание редуцирующих соединений контрольного образца соответствовало значениям, приведенным в литературе (0,65%) (Бахарев и др., 2022). Содержание рибофлавина в наших образцах оказалось в 2,5 раза ниже заявленных данных (0,04 мг%) (Mirmiran et al., 2020), что можно объяснить условиями экстракции.

Ультразвуковая обработка жмыха свеклы увеличила выход растворенных соединений, подтверждая целесообразность использования этого метода для повышения эффективности извлечения полезных веществ. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения свеклы сорта Славянка для производства квасов с улучшенными нутрицевтическими характеристиками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что ультразвуковая обработка свекловичного жмыха при температуре 50 °С и использовании воды с pH 5,6 (с добавле-

нием лимонной кислоты) способствует эффективной экстракции органических соединений, увеличению их содержания и объема экстракта. Установлено, что применяемая технология обработки совместима с процессом производства кваса и не требует дополнительных этапов подготовки для включения экстрактов в сусло.

Полученные результаты подтверждают, что использование свеклы в качестве добавочного сырья в технологии производства кваса может значительно обогатить зерновое сусло такими биоактивными соединениями, как флавоноиды, катехины, бетанин, рибофлавин, редуцирующие сахара и органические кислоты. Это оказывает положительное влияние на ферментативную активность дрожжей и повышает биологическую ценность готового напитка.

Однако следует отметить ряд ограничений исследования. Одним из основных ограничений является стабильность свекловичного сырья при его внесении в разрабатываемые напитки. Данная нестабильность может повлиять на содержание полифенолов, бетанинов и других биоактивных компонентов, что, в свою очередь, может отразиться на точности получаемых результатов и выводов.

Для будущих исследований рекомендуется дальнейшее изучение изменений количественного состава органических соединений на различных этапах технологического процесса — от сусла до готового кваса. Это позволит глубже понять влияние обработки и оптимизировать технологию для достижения максимальной биологической активности и стабильности напитка.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Лариса Николаевна Харламова: научное руководство исследованием, визуализация, редактирование рукописи, разработка методологии исследования.

Марина Юрьевна Синельникова: проведение исследования, написание — подготовка черновика рукописи, разработка методологии исследования, концептуализация.

Дарья Юрьевна Матвеева: программное обеспечение, работа с программным обеспечением, разработка методологии исследования, концептуализация.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Larisa N. Kharlamova: supervision, visualization, editing of the manuscript, development of methodology.

Marina Yu. Sinelnikova: conducting research, writing — original draft preparation, development of methodology, conceptualization.

Daria Yu. Matveeva: software, working with software, development of methodology, conceptualization.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Бахарев, В. В., Воронина, М. С., Гуляева, А. Н., & Нафикова, О. А. (2022). Исследование физико-химических показателей свекольных выжимок после их дегидратации с последующей экструзией. *Индустрия питания*, 7(3), 25–31. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-3-3>
- Bakharev, V. V., Voronina, M. S., Gulyaeva, A. N., & Nafikova, O. A. (2022). Study of physicochemical parameters of beet pomace after their dehydration followed by extrusion. *Food Industry*, 7(3), 25–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-3-3>
- Евграфова, В. Е., Колесниченко, М. Н., & Курцева, В. Г. (2020). Исследование влияния растительного сырья и пробиотических культур на процессы брожения при производстве хлебного кваса. *Ползуновский вестник*, 4, 53–61. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.011>
- Evgrafova, V. E., Kolesnichenko, M. N., & Kurtseva, V. G. (2020). Study of the influence of plant raw materials and probiotic cultures on fermentation processes in the production of bread kvass. *Polzunovsky Vestnik*, 4, 53–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.011>
- Еременко, О. Н., Кох, Ж. А., Тарнопольская, В. В., & Демиденко, Н. Ю. (2021). Перспективы использования столовой свеклы в производстве функциональных напитков. *Ползуновский вестник*, 2, 102–109. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.014>
- Eremenko, O. N., Kokh, Zh. A., Tarnopolskaya, V. V., & Demidenko, N. Yu. (2021). Prospects for the use of table beetroot in the production of functional drinks. *Polzunovsky Vestnik*, 2, 102–109. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.014>

- Колесниченко, М. Н., & Каменская, Е. П. (2020). Перспективы использования плодов жимолости в производстве хлебного кваса. *Ползуновский вестник*, 1, 13–20. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.003>
- Kolesnichenko, M. N., & Kamenskaya, E. P. (2020). Prospects for the use of honeysuckle fruits in the production of bread kvass. *Polzunovsky Vestnik*, 1, 13–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.003>
- Коротких, Е. А., Новикова, И. В., Агафонов, Г. В., Коротких, Н. В., & Криваносов, И. Н. (2020). Интенсификация биотехнологии кваса с применением нетрадиционных видов сырья. *Вестник ВГУИТ*, 82(3), 123–130. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-123-130>
- Korotkikh, E. A., Novikova, I. V., Agafonov, G. V., Korotkikh, N. V., & Krivanosov, I. N. (2020). Intensification of kvass biotechnology using non-traditional types of raw materials. *VSUET Bulletin*, 82(3), 123–130. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-123-130>
- Крыльский, Д. В., Сливкин, А. И., & Брежнева, Т. А. (2008). *Практикум по фармацевтической химии (лекарственные вещества с гетероциклической структурой)*. Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета.
- Krylsky, D. V., Slivkin, A. I., & Brezhneva, T. A. (2008). *Practical training in pharmaceutical chemistry (medicinal substances with heterocyclic structure)*. Voronezh: Publishing and Printing Center of Voronezh State University. (In Russ.).
- Маслянный, П. В., Чупахина, Г. Н., Скрыпник, Л. Н., Федуряев, П. В., & Селедцов, В. И. (2014). Экологический анализ активности накопления биофлавоноидов в лекарственных растениях. *Вестник Балтийского федерального университета им. К.И.Канта*, 7, 110–120
- Maslyannikov, P. V., Chupakhina, G. N., Skrypnik, L. N., Feduraev, P. V., & Seledtsov, V. I. (2014). Ecological analysis of bioflavonoid accumulation activity in medicinal plants. *Bulletin of the K. I. Kant Baltic Federal University*, 7, 110–120. (In Russ.).
- Обрезкова, М. В., Каменская, Е. П., & Вагнер, В. А. (2019). Разработка рецептуры кваса брожения с использованием концентрата свекольного сока. *Вестник КрасГАУ*, 9(150), 158–165.
- Obrezkova, M. V., Kamenskaya, E. P., & Wagner, V. A. (2019). Development of a recipe for fermented kvass using beetroot juice concentrate. *Vestnik KrasSAU*, 9(150), 158–165. (In Russ.).
- Позднякова, В. Ф., & Сенченко, М. А. (2019). Производство кваса с использованием заменителей сахара из растительного сырья, выращенного в условиях Ярославской области. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 7(4), 55–63.
- Pozdnyakova, V. F., & Senchenko, M. A. (2019). Production of kvass using sugar substitutes from plant materials grown in the Yaroslavl region. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 7(4), 55–63.
- Соколова, Д. В. (2022). Динамические изменения содержания бетанина в столовой свекле в течение вегетационного периода: их взаимодействие с абиотическими факторами. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 26(1), 30–39. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-05>
- Sokolova, D. V. (2022). Dynamic changes in betanin content in table beet during the growing season: their interaction with abiotic factors. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 26(1), 30–39. (In Russ.). <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-05>
- Шестакова, Т. С., Белоногова, В. Д., & Петриченко, В. М. (2016). Спектрофотометрический метод определения содержания флавоноидов в траве *Veronica chamaedrys* (Scrophulariaceae). *Медицинский альманах*, 1(41), 127–130.
- Shestakova, T. S., Belonogova, V. D., & Petrichenko, V. M. (2016). Spectrophotometric method for determining the content of flavonoids in the herb *Veronica chamaedrys* (Scrophulariaceae). *Medical Almanac*, 1(41), 127–130. (In Russ.).
- Arjeh, E., Khodaei, S. M., Barzegar, M., Pirsa, S., Karimi Sani, I., Rahati, S., & Mohammadi, F. (2022). Phenolic compounds of sugar beet (*Beta vulgaris* L.): Separation method, chemical characterization, and biological properties. *Food Science & Nutrition*, 10(12), 4238–4246. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3017>
- Aztatzi-Ruggerio, L., Granados-Balbuena, S. Y., Zainos-Cuapio, Y., Ocaranza-Sánchez, E., & Rojas-López, M. (2019). Analysis of the degradation of betanin obtained from beetroot using Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Food Science and Technology*, 56(8), 3677–3686. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03826-2>
- Baião, D. D. S., de Freitas, C. S., Gomes, L. P., da Silva, D., Correa, A. C. N. T. F., Pereira, P. R., Aguila, E. M. D., & Paschoalin, V. M. F. (2017). Polyphenols from root, tubercles and grains cropped in Brazil: Chemical and nutritional characterization and their effects on human health and diseases. *Nutrients*, 9(9), 1044. <https://doi.org/10.3390/nu9091044>
- Baião, D. D. S., Silva, D. V. T., & Paschoalin, V. M. F. (2020). Beetroot, a remarkable vegetable: Its nitrate and phytochemical contents can be adjusted in novel formulations to Benefit Health and support cardiovascular disease therapies. *Antioxidants*, 9, 960. <https://doi.org/10.3390/antiox9100960>
- Baryga, A., Ziobro, R., Gumul, D., Rosicka-Kaczmarek, J., & Miśkiewicz, K. (2023). Physicochemical properties and evaluation of antioxidant potential of sugar beet pulp — Preliminary analysis for further use (future prospects). *Agriculture*, 13(5), 1039. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051039>
- Ceclu, L., & Nistor, O.-V. (2020). Red beetroot: Composition and health effects — A review. *Journal of Nutritional Medicine and Diet Care*, 6, 043. <https://doi.org/10.23937/2572-3278.1510043>
- Choińska, R., Piasecka-Jóźwiak, K., Woźniak, Ł., Świder, O., Bartosiak, E., Bujak, M., & Roszko, M.Ł. (2022). Starter culture-related changes in free amino acids, biogenic amines profile, and antioxidant properties of fermented red beetroot grown in Poland. *Scientific Reports*, 12, 20063. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24690-9>

- Gamage, S. M., Mihirani, M. K. S., Perera, O. D. A. N., & Weerahewa, H. D. (2016). Development of synbiotic beverage from beetroot juice using beneficial probiotic *Lactobacillus Casei 431*. *Ruhuna Journal of Science*, 7, 64–69. <https://doi.org/10.4038/rjs.v7i2.20>
- Glaser, S. J., Abdelaziz, O. Y., & Demoitie, C. (2024). Fractionation of sugar beet pulp polysaccharides into component sugars and pre-feasibility analysis for further valorisation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14, 3575–3588. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02699-4>
- Gruska, R. M., Baryga, A., Kunicka-Styczyńska, A., Brzeziński, S., Rosicka-Kaczmarek, J., Miśkiewicz, K., & Sumińska, T. (2022). Fresh and stored sugar beet roots as a source of various types of mono- and oligosaccharides. *Molecules*, 27(16), 5125. <https://doi.org/10.3390/molecules27165125>
- Jakubczyk, K., Melkis, K., Janda-Milczarek, K., & Skoniecznazydecka, K. (2024). Phenolic compounds and antioxidant properties of fermented beetroot juices enriched with different additives. *Foods*, 13, 102. <https://doi.org/10.3390/foods13010102>
- Hoffmann, C. M., & Kenter, C. (2018). Yield potential of sugar beet – Have we hit the ceiling? *Frontiers in Plant Science*, 9, 289. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00289>
- Mirmiran, P., Houshialsadat, Z., Gaeini, Z., Bahadoran, Z., & Azizi, F. (2020). Functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*) in management of cardio-metabolic diseases. *Nutrition & Metabolism*, 17, Article 3. <https://doi.org/10.1186/s12986-019-0421-0>
- Ninfali, P., Antonini, E., Frati, A., & Scarpa, E.S. (2017). C-Glycosyl Flavonoids from *Beta vulgaris* Cicla and Betalains from *Beta vulgaris* rubra: Antioxidant, anticancer and antiinflammatory activities – A review. *Phytother. Research*, 31(6), 871–884. <https://doi.org/10.1002/ptr.5819>
- Płatosz, N., Sawicki, T., & Wiczowski, W. (2020). Profile of Phenolic acids and flavonoids of red beet and its fermentation products. Does long-term consumption of fermented beetroot juice affect phenolics profile in human blood plasma and urine? *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(1), 55–65. <https://doi.org/10.31883/pjfn/116613>
- Sawicki, T., Bączek, N., & Wiczowski, W. (2016). Betalain profile, content and antioxidant capacity of red beetroot dependent on the genotype and root part. *Journal of Functional Foods*, 27, 249–261. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.09.004>
- Sobhy, E. S., Abdo, E., Shaltout, O., Abdalla, A., & Zeitoun, A. (2020). Nutritional evaluation of beetroots (*Beta vulgaris* L.) and its potential application in a functional beverage. *Plants*, 9(12), 1752. <https://doi.org/10.3390/plants9121752>
- Tomaszewska, J., Bieliński, D., Binczarski, M., Berłowska, J., Dziuganc, D., Piotrowski, J., Stanishevsky, A., & Witońska, I. A. (2018). Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. *RSC Advance*, 8, 3161–3177. <https://doi.org/10.1039/C7RA12782K>