

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ ЯГОДНОГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Работа посвящена поиску оптимальных способов переработки ягодного сырья, способствующих максимальной сохранности биологически активных веществ. Целью работы являлось совершенствование процессов экстрагирования растительного сырья на основе использования ультразвука при обработке ягод черной смородины. В задачи исследований входило выявление влияния определяющих факторов на кинетику процесса экстрагирования водно-спиртовых настоев ягод черной смородины, обоснование режимов ультразвуковой обработки ягодного сырья и определение их влияния на физико-химические показатели экстрактов. В работе использованы стандартные методы, применяемые в консервной и безалкогольной промышленности. Показатели качества ягодного сырья и экстрактов определялись по совокупности органолептических, физико-химических и показателей безопасности. Экспериментально изучено влияние методов и условий ультразвуковой обработки на сохранность и выход целевых компонентов при экстрагировании. Доказана эффективность применения ультразвуковой обработки сырья, установлены оптимальные режимы при мощности 160 ВА и продолжительности 10 мин. Установлено, что использование ультразвукового облучения увеличивает выход экстрактивных веществ на 41 % по сравнению с технологией мацерации.

Ключевые слова: экстрагирование, обработка ультразвуком, водно-спиртовые настои, ягоды черной смородины, показатели качества.

I.A. Bakin, A.S. Mustafina, P.N. Lunin

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF BERRY RAW MATERIALS EXTRACTING WITH USE OF PROCESSING BY ULTRASOUND

The work is devoted to the solution of the problem of searching the optimum ways of processing of berry raw materials providing the maximum keeping of biologically active substances. The purpose of work was in improvement of extraction processes of vegetable raw materials by using of ultrasound in processing of blackcurrant berries. Research problems included the determination of influence of the main factors on extraction processes kinetics in aqueous-alcoholic infusion of blackcurrant berries, proving the operating modes of berry raw materials processing by ultrasound, and definition of their influence on physical and chemical properties of extracts. The standard methods applied in the canning and soft drink industries are used in this work. The quality indexes of berry raw materials and extracts were determined on the basis of set organoleptic, physical-chemical and safety indicators. The influence of methods and conditions of ultrasound processing on the safety and amount of extracted components is studied experimentally. The efficiency of application of ultrasound processing of raw materials is proved, the optimum of operating modes (the power of 160 W and duration of 10 minutes) is determined. It is determined that the using of ultrasound can increase the amount of extracted components exit in 41 % in comparison with maceration.

Key words: extracting, processing by ultrasound, aqueous-alcoholic infusion, blackcurrant berries, quality indexes.

Введение. В развитии технологии переработки плодово-ягодного сырья с целью наиболее полного извлечения и сохранения биологически активных веществ (БАВ) большое значение приобретают прогрессивные физические методы обработки сырья, к которым относится применение ультразвуковых (УЗ) акустических колебаний. В настоящее время для получения ягодных экстрактов в основном используется классический способ мацерации. В основе технологии лежит диффузионный процесс, характеризуемый большой продолжительностью, повышенным расходом раство-

рителя, неполным извлечением целевых компонентов, потерями экстрагента и БАВ. Перспективность использования УЗ-колебаний для предварительной обработки растительного сырья доказана в ряде работ [1, 2]. Обработка в условиях интенсивного УЗ-воздействия позволяет повысить интенсивность процессов экстрагирования в результате увеличения проницаемости клеток, турбулизации всей системы под действием кавитационных эффектов, уменьшения пограничного диффузионного слоя. Однако в растительном сырье под действием ультразвуковых колебаний возможно проявление специфических явлений, связанных с разрушающим воздействием облучения на клетки в результате термического и биологического воздействия. Для интенсификации процессов экстрагирования актуальным является исследование режимов обработки сырья и подбор оптимальных параметров ультразвукового облучения, обеспечивающих максимальный выход и сохранность биологически активных веществ.

Целью исследований. Совершенствование процессов экстрагирования растительного сырья на основе использования ультразвука при обработке ягод черной смородины.

Задачи исследований: выявление факторов, влияющих на кинетику процесса экстрагирования водно-спиртовых настоев ягод черной смородины при наложении полей ультразвуковых колебаний; обоснование режимов УЗ-обработки ягодного сырья и определение их влияния на физико-химические показатели экстрактов.

Материалы и методы исследований. В качестве объектов исследования выбраны экстракты ягоды черной смородины как перспективного сырья для переработки [3, 4]. В качестве экстрагента использовались вода и 40%-й водно-спиртовой раствор [3].

В работе использовались стандартные методы, применяемые в консервной и безалкогольной промышленности. Показатели качества ягодного сырья, экстрактов определялись по совокупности органолептических, физико-химических показателей и показателей безопасности [5, 6].

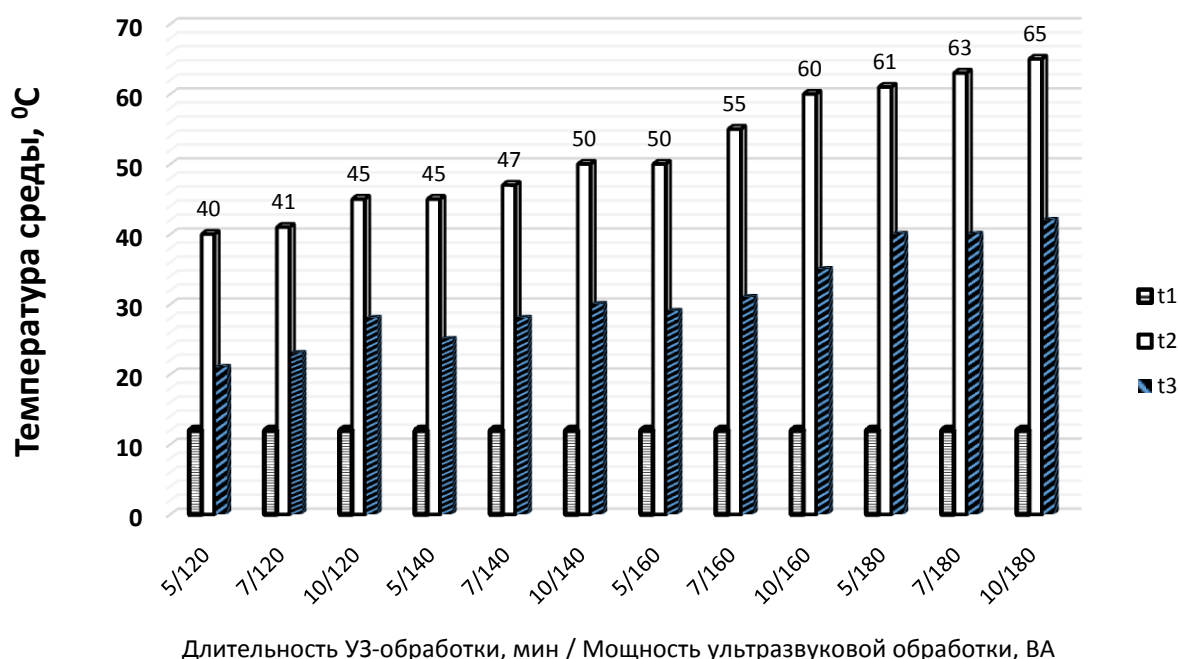
Содержание сухих веществ в экстрактах определяли рефрактометрическим методом по ГОСТ 6687.2-90. Массовая доля сухих веществ в ягодах определялась по ГОСТ 28561-90 высушиванием до постоянной массы. Кислотность экстрактов и готовых напитков находилась по ГОСТ 12788-87 титриметрическим методом с помощью рН-метра. Содержание полифенольных веществ определялось методом Еруманиса, рутина – фотоколориметрическим методом. Для определения лейкоантоцианов, антоцианидов, пектолитической активности ферментных препаратов использовался колориметрический метод. Содержание в черной смородине антоцианов исследовалось методом спектрофотометрии, путем пересчета на цианидин-3-рутинозид основного компонента антоцианового комплекса. Для определения количества аскорбиновой кислоты использовался йодометрический метод. Сухой остаток (экстрактивные вещества) в экстрактах находили путем выпаривания в печи 5 мл экстракта в предварительно взвешенном плоском бюксе и высушивания остатка при $100 \div 105^{\circ}\text{C}$ в течение 2 ч.

Результаты исследований и их обсуждение. В экспериментальных исследованиях кинетических закономерностей процесса экстрагирования при наложении полей ультразвуковых колебаний использовался ультразвуковой аппарат серии «АЛЕНА», разработанный ООО «Центр ультразвуковых технологий» (г. Бийск, руководитель Хмелев В.Н.). Прибор оборудован электронным генератором с таймером и регулятором выходной мощности, пьезоэлектрической колебательной системой в металлическом корпусе с принудительным воздушным охлаждением. Диапазон регулирования мощности составлял от 60 до 100 % при максимальной излучаемой мощности 200 ВА. В ходе опытов частота колебаний принята постоянной (22 кГц), варьировались мощность УЗ-воздействия и продолжительность облучения. Соотношение расхода масс сырья и жидкости принято, по рекомендациям [3], постоянными – $1 \div 2$. Связано это с тем, что при меньшем соотношении поверхность мезги ягоды недостаточно покрыта растворителем и эффективность УЗ-облучения недостаточна, в то же время при увеличении гидромодуля и количества растворителя возрастают затраты на последующие технологические стадии выпаривания и концентрирования ягодных настоев.

На первом этапе исследований изучено влияние мощности УЗ-облучения на технологические параметры процесса экстрагирования. В качестве экстрагента использовалась вода. Длительность

УЗ-обработки варьировалась в пределах 5, 7, 10 мин. По рекомендации [5], замороженная ягода дробилась без разморозки, средний размер частиц составил 0,5:1,0 мм. Мезга заливалась растворителем температурой 24°C для всех опытных образцов, далее в сосуд объемом 400 мл погружался УЗ-излучатель и проводился эксперимент с заданными параметрами. Для определения средней температуры в объеме сырья после УЗ-обработки система после первичного замера перемешивалась в течение 5 минут. Измерялись следующие параметры: содержание сухих веществ в конце опыта; температура в начале опыта (t_1 , °C); температура в зоне УЗ-излучателя в конце эксперимента (t_2 , °C); средняя температура в объеме сырья (t_3 , °C).

В ходе предварительных исследований выявлено, что при интенсивности УЗ-излучателя 100 % (200 ВА), система разогревается в зоне излучателя до температуры кипения 100°C в течение трех минут. Поэтому в дальнейшем была изучена зависимость термического воздействия на сырье режимных параметров УЗ-обработки. Графики изменения температуры среды от длительности и мощности ультразвука представлены на рисунке.



Зависимость температуры среды от параметров УЗ-обработки

Анализ полученных данных показывает, что УЗ облучение приводит к росту температуры во всем объеме обрабатываемой среды, но наибольший рост с увеличением продолжительности воздействия наблюдается в зоне УЗ-излучателя. Увеличение мощности УЗ-облучения более 160 ВА приводит к более интенсивному прогреву локального объема мезги ягоды в зоне излучателя, что может способствовать протеканию нежелательных химических реакций. Кроме того, при таких жестких условиях обработки подвергаются окислению и гидролизу биологически активные вещества ягодного сырья. Таким образом, исходя из задачи максимального сохранения БАВ сырья, необходимо ограничить технологические параметры УЗ-обработки: мощность УЗ-облучения 160 ВА (80 % от максимальной мощности аппарата); продолжительность воздействия – 10 минут. При этих параметрах значение температуры системы в зоне излучателя составляет 60°C, а после перемешивания в объеме мезги – 35°C.

В ходе исследований зависимости выхода сухих растворимых веществ в экстракт от мощности УЗ-обработки выявлено, что этот показатель в большей степени зависит от продолжительности озвучивания и экстрагирования.

Согласно полученным экспериментальным данным, эффект воздействия УЗ-облучения и полнота извлечения целевых компонентов в большей степени зависят от вида растворителя и продолжительности обработки. В ходе опытов получены образцы экстрактов с водным (ВР) и водно-спиртовым (ВСП) растворителем (с концентрацией спирта 40% об.) при варьировании продолжительности УЗ-воздействия 5, 7, 10 минут. Мощность УЗ-облучения принята постоянной (160 ВА), частота колебаний – 22 кГц. Контрольный опыт проводили при следующих условиях: замороженная ягода дробилась без разморозки, мезга заливалась дистиллированной водой температурой 60°C с последующим перемешиванием. Продолжительность процесса экстрагирования – 60 минут. Все экстракты подвергнуты физико-химическому анализу после отделения мезги и фильтрования через бумажный складчатый фильтр. Результаты исследований представлены в таблице.

Физико-химические показатели экстрагирования

Показатель	Контроль (ВР) 60 мин	ВР / 5 мин	ВР / 7 мин	ВР / 10 мин	ВСП / 5 мин	ВСП / 10 мин
Массовая доля сухих веществ, %	3,3	3,2	3,2	4,5	4,08	4,89
Массовая доля редуцирующих сахаров, г/100 см ³	0,72	0,684	0,72	0,81	1,134	1,17
Массовая доля титруемых кислот в пересчете на яблочную кислоту, г/ дм ³	8,174	8,374	8,442	8,978	8,040	8,442
Массовая доля пектиновых веществ, %	0,204	0,233	0,252	0,331	0,108	0,222
Содержание аскорбиновой кислоты, мг/100 см ³	11	13,2	17,6	13,2	13,2	11,0
Общее содержание фенольных веществ, мг/дм ³	510,04	401,8	565,8	706,84	929,88	980,72
Содержание лейкоантоцианов, мг/ дм ³	75	65,0	75,5	77,0	80,0	102,5
Содержание рутина, мг/ дм ³	59	63,0	60,0	68,0	67,0	90
Спирт, % об.	–	–	–	–	22,6	23,2

Данные, представленные в таблице, подтверждают выраженное влияние УЗ-воздействия на процесс экстрагирования ягодного сырья. Обработка ультразвуком в течение 10 минут при мощности 160 ВА с использованием водного растворителя позволила сократить время на извлечение растворимых веществ на 50 минут, при этом наблюдается увеличение содержания сухих веществ на 36 % в сравнении с контрольным образцом, где процесс реализован по классической технологии мацерацией.

Увеличение выхода экстрактивных веществ можно объяснить механическим воздействием ультразвука на растительную ткань, вследствие чего процесс перехода целевых компонентов из мезги в экстракт значительно интенсифицируется. В опытах, где в качестве экстрагента использовались водно-спиртовые растворы, получено, что под воздействием УЗ-облучения при продолжительности экстрагирования 10 минут увеличивается выход сухих веществ, редуцирующих сахаров,

фенольных соединений, лейкоантоцианов ягоды в среднем на 41% по сравнению с экстрагированием водным растворителем при тех же параметрах.

В то же самое время выявлено отрицательное воздействие ультразвукового облучения при увеличении продолжительности процесса. Установлено, что содержание аскорбиновой кислоты при экстрагировании водно-спиртовым растворителем и при воздействии УЗ-облучения в течение 10 минут уменьшается на 17 %. Связано это с тем, что витамин С является водорастворимым компонентом, а длительное воздействие УЗ-облучения приводит к его разрушению.

Выводы. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что обработка ягодного сырья ультразвуковым облучением оказывает эффективное воздействие на процесс экстрагирования, позволяет повысить выход сухих растворимых и экстрактивных веществ, значительно сокращает продолжительность процесса.

Опытным путем установлены оптимальные режимы УЗ-обработки экстрактов при мощности 160 ВА и продолжительности 10 мин исходя из условия максимальной сохранности БАВ сырья.

Установлено, что для водно-спиртовых растворов, при продолжительности экстрагирования 10 минут, под воздействием УЗ-облучения увеличивается выход сухих веществ, редуцирующих сахаров, фенольных соединений, лейкоантоцианов ягоды в среднем на 41% по сравнению с экстрагированием водным растворителем при тех же параметрах.

Литература

1. Хмелёв В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. – 160 с.
2. Лысянский В.М., Гребенюк С.М. Экстрагирование в пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1987. – 188 с.
3. Исследование технологических процессов получения экстрактов ягод черной смородины / И.А. Бакин, А.С. Мустафина, Л.А. Алексенко [и др.] // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 12. – С. 227–230.
4. A review on bioactive compounds in black currants (*Ribes nigrum* L.) and their potential health-promoting properties / R. Karjalainen, M. Anttonen, N. Saviranta [et al.]. – Acta Horticulturae, 2009. – 839:301. – 307.
5. ГОСТ Р 51074-2003. Продукты пищевые. – М.: Изд-во станд., 2003. – URL: <http://docs.cntd.ru>.
6. Федюлин А.С. Технология комплексной переработки плодов *Aronia melanocarpa*: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01. – Красноярск, 2010. – 133 с.

Literatura

1. Hmelyov V.N., Popova O.V. Mnogofunkcional'nye ul'trazvukovye apparaty i ih primeneniye v usloviyah malykh proizvodstv, sel'skom i domashnem hozyaistve. – Barnaul: Izd-vo AltGTU, 1997. – 160 s.
2. Lysyanskii V.M., Grebenyuk S.M. Ehkstragirovanie v pishchevoi promyshlennosti. – M.: Agropromizdat, 1987. – 188 s.
3. Issledovanie tekhnologicheskikh processov polucheniya ehkstraktov yagod chernoj smorodiny / I.A. Bakin, A.S. Mustafina, L.A. Aleksenko [i dr.] // Vestnik KrasGAU. – 2014. – № 12. – S. 227–230.
4. A review on bioactive compounds in black currants (*Ribes nigrum* L.) and their potential health-promoting properties / R. Karjalainen, M. Anttonen, N. Saviranta [et al.]. – Acta Horticulturae, 2009. – 839:301. – 307.
5. GOST R 51074-2003. Produkty pishchevye. – M.: Izd-vo stand., 2003. – URL: <http://docs.cntd.ru>.
6. Fedulin A.S. Tekhnologiya kompleksnoi pererabotki plodov *Aronia melanocarpa*: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.18.01. – Krasnoyarsk, 2010. – 133 s.