УДК 664.8.022.6

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ЧЕРНОПЛОДНОЙ РЯБИНЫ, ПОЛУЧЕННЫХ В НАДКРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Н.Б. Еремеева[1,*], Н.В. Макарова[1], И.А. Платонов[2]

[1]ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

[2]ФГАОУ ВО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)», 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34

**e-mail: rmvnatasha@rambler.ru*

Дата поступления в редакцию: 22.03.2016
Дата принятия в печать: 10.06.2016

Экстрагирование фенольных соединений из плодов методом настаивания имеет недостатки, поэтому особый интерес представляют альтернативные способы экстракции. Одним из таких методов может быть надкритическая жидкостная экстракция. В статье рассмотрено влияние условий надкритической экстракции на антиоксидантные свойства получаемых экстрактов. В качестве объекта исследования была выбрана черноплодная рябина, произрастающая на территории Самарской области. Экстракция проводилась при давлении 40 МПа и температурах 120, 150 и 200 °С при использовании в качестве растворителя воды и спирта. Контрольной группой выступали экстракты (водный, спиртовой и 50%-ный водно-спиртовой), полученные при атмосферном давлении и температуре 37 °С. В настоящей работе используются различные методы определения уровня антиоксидантной активности: содержание общего количества фенольных соединений эквивалент галловой кислоты, флавоноидов эквивалент катехина, антоцианов эквивалент цианидин-3-гликозида, антирадикальная способность с использованием свободного радикала DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразила), восстанавливающая сила по методу FRAP (ferric reducing antioxidant power), антиоксидантная активность в системе линолевая кислота. Значительное число методов оценки антиоксидантной активности соединений систематизировано по способу регистрации параметров, на основе которых определяется антиоксидантная активность, в том числе количественно. Использование высокого давления надкритической экстракции позволяет увеличить выход фенолов и антиоксидантов в получаемых экстрактах. Однако высокая температура приводит к деструкции соединений.

Надкритическая экстракция, антиоксидантная активность, фенольные соединения, черноплодная рябина

Введение

Свежие фрукты и овощи, а также побочные продукты их переработки богаты антиоксидантами, такими как аскорбиновая кислота, токоферолы, каротиноиды и полифенолы [1]. Полифенолы в плодах и овощах в основном включают в себя фенольные кислоты, флавоноиды. Антиоксиданты являются веществами, которые способны предотвратить или замедлить окисление липидов, белков и ДНК и защитить ткани от повреждений, вызванных действием кислорода или свободных радикалов.

Получение антиоксидантов из полуфабрикатов и отходов переработки пищевых предприятий приобретает все большее значение [2]. Именно натуральные антиоксиданты становятся заменой синтетических аналогов и имеют преимущество из-за благоприятного действия на здоровье человека и способности растворяться в пищевых системах, не обладая побочным действием.

Черноплодная рябина (арония черноплодная) принадлежит к семейству розоцветных. Черноплодная рябина использовалась в традиционной медицине, но в последние годы к ней все больше увеличивается интерес из-за возможного использования не только в качестве пищевого красителя, но и в качестве источника ценных фитонутриентов [3]. Было установлено [1], что черноплодная рябина является одним из самых богатых растительных источников фенольных соединений; также высоко содержание проантоцианидинов, антоцианов и фенольных кислот. Плоды аронии являются одним из самых богатых источников растительных антоцианов (класс флавоноидов): цианидин-3-О-галактозид, цианидин-3-О-арабинозид, цианидин-3-О-ксилозид и цианидин-3-О-глюкозид, отвечающие за темно-красный, синий и фиолетовый окрас плодов [4]. Из-за их высокой антиоксидантной активности и возможного положительного воздействия на здоровье человека проантоцианидины могут находить применение в питании и медицине [5].

По сравнению с другими плодами и ягодами антиоксидантная активность черноплодной рябины значительно выше. Положительный эффект на здоровье человека от аронии стал предметом многочисленных исследований, одно из которых показало благоприятное влияние в профилактике сахарного диабета II типа [6]. В другом исследовании было подтверждено гепатопротекторное действие черно-

плодной рябины у крыс, получавших острое отравление четыреххлористым углеродом [7]. Арония оказывает положительное воздействие на профилактику и лечение сердечно-сосудистых заболеваний.

Экстракция растворителем является хорошим методом извлечения полифенолов [8], однако имеет несколько недостатков, таких как использование большого количества органических растворителей, длительное время экстракции, ограничение в выборе растворителя из-за влияния на здоровье человека и способности деградации целевых соединений. Есть много альтернативных методов, которые способны либо устранить, либо уменьшить эти недостатки [9]. К таким способам можно отнести надкритическую флюидную экстракцию [10].

Надкритическая экстракция и экстракция под давлением находят все большее применение в пищевой промышленности и родственных индустриях.

Надкритические жидкости обладают полезными физическими свойствами, такими как низкая вязкость и высокий коэффициент диффузии в матрице образца. Это позволяет значительно быстрее протекать процессам экстракции, чем в обычных органических растворителях. Кроме того, надкритическая флюидная экстракция способна работать при низких температурах, что делает ее возможной для экстракции термолабильных соединений, таких как антиоксиданты. Сообщалось [11], что экстракты, полученные методом надкритической флюидной экстракции, как правило, обладают более высоким уровнем антиокислительной силы, чем те, которые получены путем экстракции растворителем, вероятно, вследствие меньшей деструкции соединений.

Самым экологически чистым растворителем, который может быть использован для извлечения антиоксидантов, является вода. Однако, поскольку чистая вода при нормальных условиях является полярным растворителем, для хорошего извлечения антиоксидантов диэлектрическую постоянную воды можно значительно уменьшить, это происходит вследствие того, что температура воды в надкритических условиях выше температуры кипения при атмосферном давлении [12]. Малополярные соединения, такие как антиоксидантные соединения, могут быть успешно извлечены из различных растительных образцов с использованием надкритической воды при температуре между 100 и 374 °С [13].

Объекты и методы исследований

Исходя из этого целью работы является подбор оптимальных условий при получении экстрактов в надкритических условиях. В качестве объекта исследования была выбрана черноплодная рябина, произрастающая на территории Самарской области. Экстракция проводилась при давлении 40 МПа и температурах 120, 150 и 200 °С при использовании в качестве воды и спирта. Контрольной группой выступали экстракты (водный, спиртовой и 50%-ный водно-спиртовой) [14, 15], полученные при атмосферном давлении и температуре 37 °С в течение 2 часов. Несмотря на то что в промышленных условиях часто используется метанол, нами этот растворитель не был рассмотрен из-за его высокой токсичности, которая представляет собой резкую опасность для окружающей среды.

Эксперименты по изучению процесса жидкостной экстракции под давлением в динамическом (проточном) режиме проводили с использованием установки, схема которой представлена на рис. 1.

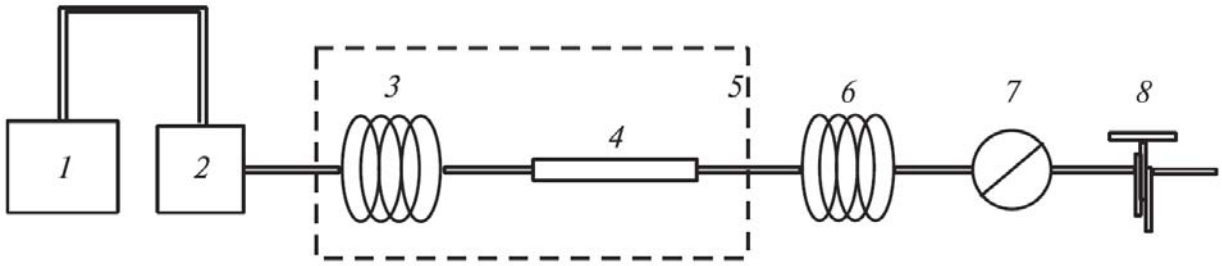

Рис. 1. Схема установки для жидкостной экстракции под давлением:
1 – сосуд с экстрагентом; 2 – насос высокого давления; 3 – капилляр предварительного нагрева экстрагента;
4 – экстрактор; 5 – термостат; 6 – охлаждаемый капилляр; 7 – манометр; 8 – регулятор давления

В данной установке экстрагент из сосуда 1 подается в насос высокого давления 2, обеспечивающий расход F_c в системе от 0,1 до 10,0 см^3/мин при давлении Р до 40,0 МПа. Из насоса 2 экстрагент поступает в капилляр предварительного нагрева экстрагента 3 и экстрактор 4, помещенные в термостат 5. Экстрактор 4 выполнен в виде колонки из нержавеющей стали длиной 250 мм и внутренним диаметром 10 мм. На выходе из экстрактора 4 установлен капилляр 6, охлаждаемый до температуры 20 °С. Для контроля давления в системе установлен образцовый манометр 7 и регулятор давления 8.

Для определения содержания фенольных веществ, флавоноидов и антоцианов, а также антирадикальной, антиокислительной и восстанавливающей способностей исследуемых объектов использовали специальные методики, описанные ниже.

Общее содержание фенольных веществ (ФВ) определяли при помощи реактива Folin-Ciocalteu's [16]. Метод основан на окислении фенольных групп исследуемого спиртового экстракта плодов черноплодной рябины реактивом Folin-Ciocalteu's в среде насыщенного карбоната натрия. Реакция проходит при температуре 20–25 °С. Спустя 30 мин

определяется коэффициент пропускания при 725 нм. Применяя калибровочную кривую, определяется общее содержание фенольных веществ, которое выражается в мг галловой кислоты на 1000 см^3 экстракта.

Общее содержание флавоноидов (Фл) определяется по интенсивности протекания реакции с растворами нитрита натрия и хлорида алюминия [17]. Коэффициент пропускания определяли в фотокалориметре при длине волны 510 нм. Применяя калибровочную кривую, определяется общее содержание флавоноидов, которое выражается в мг катехина на 1000 см^3 экстракта.

Общее содержание антоцианов осуществлялось методом дифференциала pH фактора [18], основанном на добавлении к экстракту буферов pH = 1,0 и pH = 4,5 и измерении поглощения при 510 и 700 нм. Суммарное содержание антоцианов выражено как эквивалент мг цианидин-3-гликозида/1000 см^3 экстракта.

Антирадикальную активность определяли по методу DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил) [19]. Метод основан на способности антиоксидантов исходного сырья связывать стабильный хромоген-радикал 2,2-дифенил-1-пикрилгидразил (DPPH). В течение 30 мин в темноте при комнатной температуре протекает реакция, после чего определяется коэффициент пропускания при 517 нм. Антирадикальная активность выражается в виде концентрации исходного экстракта в мг/мл, при которой происходило 50%-ное связывание радикалов.

Восстанавливающую силу изучаемых объектов определяли по методу FRAP (ferric reducing antioxidant power) 2,4,6-трипиридил-*s*-триазином [20]. Метод основан на способности активных веществ исходного экстракта восстанавливать трехвалентное железо. Исходный спиртовой экстракт с FRAP-реагентом (2,4,6-трипиридил-s-триазином) выдерживается при 37 °С в течение 4 мин. Коэффициент пропускания измеряется при длине волны 593 нм. Восстанавливающую силу определяли по калибровочному графику и выражали в ммоль Fe^{2+}/1 кг исходного сырья.

Антиокислительную активность образцов определяли в системе линолевой кислоты [21]. Метод основан на способности антиоксидантов изучаемого сырья ингибировать процессы окисления линолевой кислоты при условиях, приближенных к состоянию живой клетки. Процесс проводится в модельной системе при температуре 40 °С при pH 7,0 в течение 120 ч, после чего проводится измерение степени окисления по образованию гидроперекисей, реагирующих с растворами NH_4SCN и $FeCl_2$ в HC1. Антиоксидантная активность выражается в процентах ингибирования окисления линолевой кислоты.

Работы выполнялись на базе Самарского государственного технического университета, кафедра технологии и организации общественного питания, и Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева, кафедра химии.

Результаты и их обсуждение

Результаты определения общего содержания фенольных соединений выражали в мг галловой кислоты на 100 г исходного сырья по калибровочной кривой. Как видно из рис. 2, наибольшим содержанием фенольных соединений обладает надкритический водный экстракт, полученный при 150 °С, что превышает содержание фенолов в контрольном образце почти в 1,5 раза. При температуре 200 °С содержание фенольных веществ низкое, что свидетельствует о деструкции соединений.

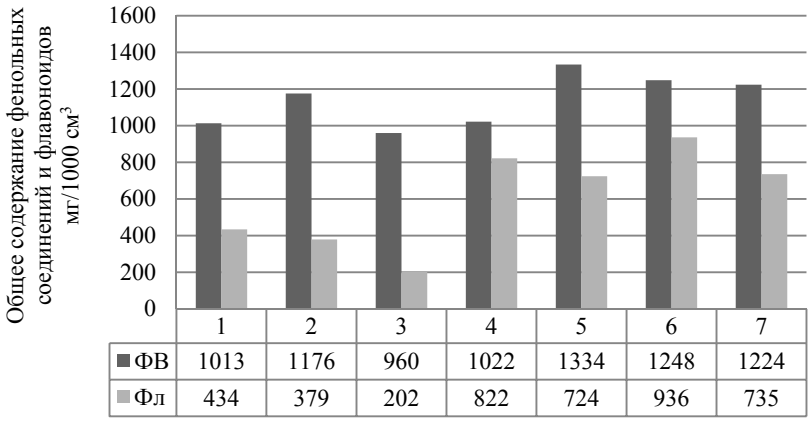

Рис. 2. Общее содержание фенольных соединений и флавоноидов в надкритических экстрактах черноплодной рябины: 1 – спирт/вода (контроль); 2 – спирт (контроль); 3 – вода (контроль); 4 – вода надкритика 120 °С; 5 – вода надкритика 150 °С; 6 – вода надкритика 200 °С; 7 – спирт 10%-ный надкритика 120 °С

Как и фенольные соединения, флавоноиды обладают хорошим антиоксидантным действием. Определение содержания флавоноидов показало (рис. 2), что наилучшими условиями для экстракции этих соединений является надкритическая экстракция водой при 200 °С (936 мг/100 г), что в 4,6 раза превышает контрольную группу.

Основным пигментом черноплодной рябины являются антоцианы, которые, как известно, проявляют антиоксидантные свойства. Однако применение

надкритической экстракции для получения экстракта с высоким содержанием антоцианов оказалось неприменимым, так как при увеличении температуры происходит их уменьшение по сравнению с контрольными образцами, связанное с нестабильностью структуры антоцианов при высоких температурах, что видно из табл. 1.

Одним из основных показателей, характеризующих антирадикальную активность по методу DPPH, является E_{c50} – концентрация экстракта антиоксиданта, при которой наблюдается 50%-ное ингибирование радикалов DPPH. Из рис. 3 видно, что среди исследуемых экстрактов наилучшую антирадикальную активность проявляют спиртовой и водно-спиртовой контрольные экстракты (1,3 и 1,2 E_{c50}, мг/см^3). Для водных экстрактов антирадикальная активность при применении надкритических условий вне зависимости от температуры в 2 раза выше, чем в спиртовых.

Таблица 1

Общее содержание антоцианов в надкритических экстрактах черноплодной рябины

Экстракты	Общее содержание антоцианов, мг цианидин-3-гликозида/ 1000 см^3 экстракта
Спирт/вода – контроль	790,89
Спирт – контроль	510,60
Вода – контроль	353,99
Вода, 120 °С	567,43
Вода, 150 °С	194,88
Вода, 200 °С	103,29
Спирт 10 %, 120 °С	270,76

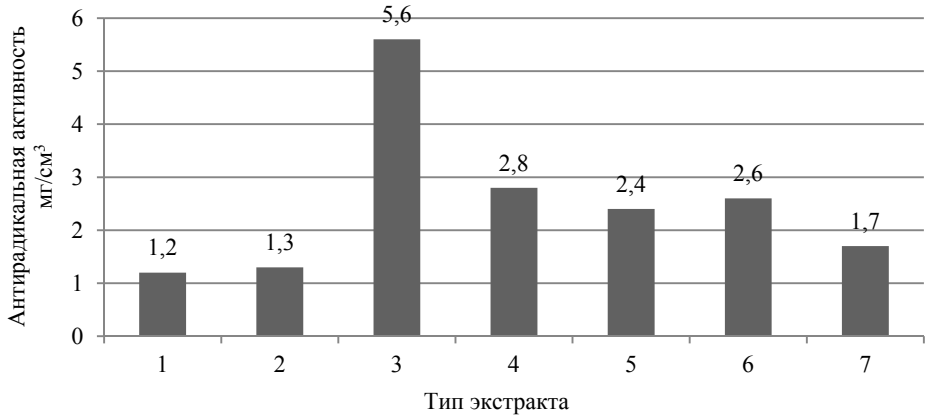

Рис. 3. Антирадикальная активность надкритических экстрактов черноплодной рябины, E_{c50}: 1 – спирт/вода (контроль); 2 – спирт (контроль); 3 – вода (контроль); 4 – вода надкритика 120 °С; 5 – вода надкритика 150 °С; 6 – вода надкритика 200 °С; 7 – спирт 10%-ный надкритика 120 °С

Таблица 2

Восстанавливающая сила по методу FRAP и антиоксидантная активность надкритических экстрактов черноплодной рябины

Экстракты	FRAP значение, ммоль Fe^{2+}/1 кг сырья	Антиоксидантная активность в системе линолевая кислота, % ингибирования окисления линолевой кислоты
Спирт/вода – контроль	18,36	27,60
Спирт – контроль	19,08	Не обнаружено
Вода – контроль	17,28	37,50
Вода, 120 °С	17,46	29,40
Вода, 150 °С	10,44	40,40
Вода, 200 °С	10,89	50,80
Спирт 10 %, 120 °С	16,02	26,30

По восстанавливающей силе по методу FRAP (ferric reducing antioxidant power) [22] согласно данным табл. 2 наилучшие результаты показала контрольная группа экстрактов. Восстанавливающая сила для водного экстракта, полученного в надкритических условиях при 120 °С, равна антиоксидантной активности водного экстракта из контрольной группы, а при увеличении температуры этот показатель падает с 17,46 ммоль Fe^{2+}/1 кг до 10,44 ммоль Fe^{2+}/1 кг.

Антиоксидантная активность в системе линолевая кислота [23] была исследована по известному методу. Как видно из табл. 2, наибольшей ингибирующей силой в системе линолевая кислота обладает водный экстракт, полученный при 200 °С (50,8 %), превышающий ингибирование контрольной группы более чем в 1,5 раза. Наблюдается следующая тенденция: при увеличении температуры экстракции увеличивается и процент ингибирования окисления линолевой кислоты для рассмотренных экстрактов.

Таким образом, из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1) использование надкритических экстрактов при температуре 150 °С (вода) позволяет увеличить содержание фенольных веществ в 1,5 раза по сравнению с контрольной группой; для флавоноидов наиболее оптимальными условиями являются 200 °С (вода), однако такая высокая температура приводит к деструкции антоцианов;

2) антирадикальная активность по методу DPPH наиболее высокая в спиртовом и водно-спиртовом экстрактах контрольной группы, при экстрагировании водой надкритические условия (150 °С) позволяют увеличить антирадикальную активность по методу DPPH в 2,3 раза; восстанавливающая сила по методу FRAP при использовании надкритической экстракции падает, наиболее щадящими условиями будут 120 °С (вода); антиоксидантная активность в системе линолевая кислота, напротив, увеличивается с увеличением температуры экстракции.

По совокупности результатов можно рекомендовать условия надкритической экстракции со следующими параметрами: вода, 150 °С.

Список литературы

1. Kulling, S.E. Chokeberry *(Aronia melanocarpa)* – A Review on the Characteristic Components and Potential Health Effects/ S.E. Kulling, H.M. Rawel // Planta Med Eur. – 2008. – Vol. 74. – № 13 – P. 1625–1634.
2. Grosso, C. Antioxidant activities of the supercritical and conventional *Satureja montana* extracts / C. Grosso et. al. // J. of Food Science. – 2009. – Vol. 74. N 9. – P. 713–717.
3. Елисеева, Л.Г. Плоды аронии черноплодной – источник витаминно-минеральных комплексов / Л.Г. Елисеева, О.М. Блинникова // Пищевая промышленность. – 2013. – № 4. – С. 28–29.
4. Журавлева, Ю.А. Исследование химического состава плодов черноплодной рябины, произрастающей в Приволжском регионе / Ю.А. Журавлева, М.Н. Земцова // Пищевая промышленность. – 2013. – № 8. – С. 20–21.
5. Oszmianski, J. Anthocyanins in fruits of *Aronia melanocarpa* (chokeberry) / J. Oszmianski, J.C. Sapis // J. Food Sci. 1988. – Vol. 53. – P. 1241–1242
6. Valcheva-Kuzmanova, S. Hypoglycemic and hypolipidemic effects of*Aronia melanocarpa* fruit juice in streptozotocin-induced diabetic rats/ S. Valcheva-Kuzmanova, K. Kuzmanov, S. Tancheva, A. Belcheva // Methods Find. Exp. Clin. – 2007. – Vol. 29. – P. 101–106.
7. Valcheva-Kuzmanova, S. Hepatoprotective effect of the natural fruit juice from *Aronia melanocarpa* on carbon tetrachloride-induced acute liver damage in rats / S. Valcheva-Kuzmanova et. al. // Exp. Toxicol. Pathol. – 2004. Vol. 56. – P. 195–201.
8. Терлецкая, В.А. Влияние технологических факторов на процесс экстракции рябины черноплодной / В.А. Терлецкая, Е.В. Рубанка, И.Н. Зинченко // Техника и технология пищевых производств. – 2013. – № 4. – С. 127–131.
9. Шишацкий, Ю.И. Интенсификация процесса экстрагирования при приготовлении спиртованных морсов и настоев / Ю.И. Шишацкий, Н.Н. Яковлев // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2009. – № 2. – С. 31–32.
10. Mendiola, J.A. Screening of functional compounds in supercritical fluid extracts from *Spirulina platensis* // J.A. Mendiola et. al. // Food Chem. – 2007. – Vol. 102. – P. 1357–1367.
11. Cavero, S. In vitro antioxidant analysis of supercritical fluid extracts from rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) / S. Cavero et. al. // Eur. Food Res. Technol. – 2005. – Vol. 221. – P. 478–486.
12. Aliakbarian, B. Extraction of antioxidants from winery wastes using subcritical water / B. Aliakbarian, A. Fathi, P. Peregoa, F. Dehghani // J. of Supercritical Fluids. – 2012. – Vol. 65. – P. 18–24.
13. Turner, Ch. Subcritical water extraction and b-glucosidase-catalyzed hydrolysis of quercetin glycosides in onion waste / Ch. Turner et. al. // Green Chem. – 2006. – Vol. 8. – P. 949–959.
14. Оробинская, В.Н. Разработка малоотходной технологии экстрагирования биологически активных веществ из плодово-ягодного сырья методом низкочастотного вибрационного воздействия / В.Н. Оробинская, О.Н. Писаренко // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 7 (38). – С. 117–122.
15. Cheigh, C.I. Enhanced extraction of flavanones hesperidin and narirutin from *Citrus unshiu* peel using subcritical water / C.I. Cheigh, E.Y. Chung, M.S. Chung //. J. Food Eng. – 2012. – V. 110. – P. 472–477.
16. Alessandro, L.G. Ultrasound assisted extraction of polyphenols from black chokeberry / L.G. Alessandro, K. Kriaa, I. Nikov, K. Dimitrov // Separation and Purification Technology. – 2012. – Vol. 93. – P. 42–47.
17. Rugina, D. Antioxidant Activities of Chokeberry Extracts and the Cytotoxic Action of Their Anthocyanin Fraction on HeLa Human Cervical Tumor Cells / D. Rugina, Z. Scontxa, L. Leopold, A. Pintea, A. Bunea, C. Socaciu // J Med Food. – 2012. – Vol. 15, № 8. – P. 700–706.
18. ГОСТ Р 53773-2010. Продукция соковая. Методы определения антоцианинов. – М.: Стандартинформ, 2010. – 20 с.
19. Oszmianski, J. Aronia melanocarpa phenolics and their antioxidant activity / J. Oszmianski, A. Wojdylo // Eur Food Res Technol. – 2005. – Vol. 221. – P. 809–813.
20. Демидова, А.В. Влияние режимов бланшировки на физико-химические свойства и антиоксидантную активность фруктового сырья на примере вишни, сливы, черноплодной рябины и клубники / А.В. Демидова, Н.В. Макарова // Пищевая промышленность. – 2016. – № 2. – С. 40–43.
21. Стрюкова, А.Д. Замороженные ягоды – эффективный антиоксидант в течение всего года / А.Д. Стрюкова, Н.М. Макарова // Пищевая промышленность. – 2013. – № 3. – С. 28–31.
22. Определение суммарного содержания антиоксидантов методом FRAP / Т.Г. Цюпко, И.С. Петракова, Н.С. Бриленок, Н.А. Николаева, Д.А. Чупрынина, З.А. Темердашев, В.И. Вершинин // Аналитика и контроль. – 2011. – № 15 (3). – С. 287–298.
23. Макарова, Н.В. Оценка антиокислительных свойств яблок на модели с линолевой кислотой / Н.В. Макарова, А.В. Зюзина // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 4 (322). – С. 13–15.

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF CHOKEBERRY EXTRACTS OBTAINED IN SUPERCRITICAL CONDITIONS

N.B. Eremeeva[1,*], N.V. Makarova[1], I.A. Platonov[2]

[1]*Samara State Technical University,*
244, Molodogvardeyskaya Str., Samara, 443100, Russia

[2]*Samara State Aerospace University,*
34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia

**e-mail: rmvnatasha@rambler.ru*

Received: 22.03.2016
Accepted: 10.06.2016

Extraction of phenolic compounds from berries using the infusion method has disadvantages, alternative methods of extraction being of special interest. Supercritical extraction is one of such methods. This paper deals with the influence of Supercritical extraction conditions on antioxidant properties of extracts. Chokeberry growing on the territory of the Samara region was chosen as the object of our research. Extraction was carried out at a pressure of 40 MPa and temperatures of 120, 150 and 200°C using water and alcohol as solvents. The extracts (aqueous, alcoholic and 50% aqueous ethanol) obtained at atmospheric pressure and a temperature of 37°C were used as a control group. Various techniques were used to determine the level of antioxidant activity: the content of total amount of phenolic compounds equivalent to Gallic acid, flavonoids equivalent of catechin, anthocyanins equivalent of cyanidin-3-glycoside, antiradical capacity using a free radical DPPH method (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), restoring force using the method of FRAP (ferric reducing antioxidant power), antioxidant activity in linoleic acid system. A considerable number of methods to assess antioxidant activity of compounds is classified with the method of registration parameters used to determine antioxidant activity, including its quantitative estimation. The use of high-pressure supercritical extraction allows increasing the yield of phenols and antioxidants in the extracts. However, high temperature leads to degradation of compounds.

Supercritical extraction, antioxidant activity, phenols, chokeberry

References

1. Kulling S.E., Rawel H.M. Chokeberry *(Aronia melanocarpa)* – A Review on the Characteristic Components and Potential Health Effects. *Planta Med. Eur.,* 2008, no. 74 (13), pp. 1625–1634.

2. Grosso C. et al. Antioxidant activities of the supercritical and conventional *Satureja montana* extracts. *J. of Food Science*, 2009, no. 74 (9), pp. 713–717.

3. Eliseeva L.G., Blinnikova O.M. Plody aronii chernoplodnoy – istochnik vitaminno-mineral'nykh kompleksov [The black chokeberry's fruits – source of vitamin-mineral complexes]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food processing industry], 2013, no. 4, pp. 28–29.

4. Zhuravleva Yu.A., Zemtsova M.N. Issledovanie khimicheskogo sostava plodov chernoplodnoy ryabiny, proizrastayushchey v Privolzhskom regione [The study of the chemical composition of fruits of Aronia melanocarpa, native to the Volga region]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food processing industry], 2013, no. 8, pp. 20–21.

5. Oszmianski J., Sapis J.C. Anthocyanins in fruits of *Aronia melanocarpa* (chokeberry). *J. Food Sci.* 1988, no. 53, pp. 1241–1242.

6. Valcheva-Kuzmanova S., Kuzmanov K., Tancheva S., Belcheva A. Hypoglycemic and hypolipidemic effects of *Aronia melanocarpa* fruit juice in streptozotocin-induced diabetic rats. *Methods Find. Exp. Clin*., 2007, no. 29, pp. 101–106.

7. Valcheva-Kuzmanova S. et. al. Hepatoprotective effect of the natural fruit juice from *Aronia melanocarpa* on carbon tetrachloride-induced acute liver damage in rats. *Exp. Toxicol. Pathol*., 2004, no. 56, pp. 195–201.

8. Terletskaya V.A., Rubanka E.V., Zinchenko I.N. Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na protsess ekstraktsii ryabiny chernoplodnoy [Influence of technological factors on the process of black chokebery extraction]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2013, no. 4, pp. 127–131.

9. Shishatskiy Yu.I., Yakovlev N.N. Intensifikatsiya protsessa ekstragirovaniya pri prigotovlenii spirtovannykh morsov i nastoev [Intensification of extraction process in the preparation of alcoholized fruit drinks and infusions]. *Proizvodstvo spirta i likero-vodochnykh izdeliy* [Manufacture of alcohol liqueur & vodka products], 2009, no. 2, pp. 31–32.

10. Mendiola J.A., et al. Screening of functional compounds in supercritical fluid extracts from *Spirulina platensis*. *Food Chem*., 2007, no. 102, pp. 1357–1367.

11. Cavero S., et al. In vitro antioxidant analysis of supercritical fluid extracts from rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Eur. Food Res. Technol*., 2005, no. 221, pp. 478–486.

12. Aliakbarian B., Fathi A., Peregoa P., Dehghani F. Extraction of antioxidants from winery wastes using subcritical water. *J. of Supercritical Fluids*, 2012, no. 65, pp. 18–24.

13. Turner Ch., et al. Subcritical water extraction and b-glucosidase-catalyzed hydrolysis of quercetin glycosides in onion waste. *Green Chem*., 2006, no. 8, pp. 949–959.

14. Orobinskaya V.N., Pisarenko O.N. Razrabotka malootkhodnoy tekhnologii ekstragirovaniya biologicheski aktivnykh veshchestv iz plodovo-yagodnogo syr'ya metodom nizkochastotnogo vibratsionnogo vozdeystviya [Developing of low waste tech-

nologies be extraction active compounds from the a fruit raw material of low-frequency vibration exposure]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2015, no 7 (38), pp, 117–122.

15. Cheigh C.I., Chung E.Y., Chung M.S. Enhanced extraction of flavanones hesperidin and narirutin from *Citrus unshiu* peel using subcritical water. *J. Food Eng.,* 2012, V. 110, P. 472-477.

16. Alessandro L.G., Kriaa K., Nikov I., Dimitrov K. Ultrasound assisted extraction of polyphenols from black chokeberry. *Separation and Purification Technology*, 2012, no. 93, pp. 42–47.

17. Rugina D., Scontxa Z., Leopold L., Pintea A., Bunea A., Socaciu C. Antioxidant Activities of Chokeberry Extracts and the Cytotoxic Action of Their Anthocyanin Fraction on HeLa Human Cervical Tumor Cells. *J Med Food*., 2012, no. 15 (8), pp. 700–706.

18. *GOST R 53773-2010. Produkstiya sokovaya. Metodi opredeleniya antostyaninov* [State Standard GOST R 53773-2010. Juice products. Methods for determination of anthocyanins]. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 20 p.

19. Oszmianski J., Wojdylo A. Aronia melanocarpa phenolics and their antioxidant activity. *Eur Food Res Technol.,* 2005, no. 221, pp. 809–813.

20. Demidova A.V., Makarova N.V. Vliyanie rezhimov blanshirovki na fiziko-khimicheskie svoystva i antioksidantnuyu aktivnost' fruktovogo syr'ya na primere vishni, slivy, chernoplodnoy ryabiny i klubniki [Influence of Blanching on the Physical and Chemical Properties and Antioxidant Activity of Fruit Raw Materials Cherries, Plums, Blank Chokeberry, Strawberry]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food processing industry], 2016, no. 2, pp. 40–43.

21. StryukovaA.D., Makarova N.V. Zamorozhennye yagody - effektivnyy antioksidant v techenie vsego goda [Frozen berries - an effective antioxidant throughout the year]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food processing industry], 2013, no. 3, pp. 28–31.

22. Tsypko T.G., Petrakova I.S., Brilenok N.S., Nikolaeva N.A., Chuprinina D.A., Temerdashev Z.A., Vershinin V.I. Opredelenie summarnogo soderzhaniya antioksidantov metodom FRAP [Determination of total content of antioxidants by FRAP assay]. *Analitika i kontrol'* [Analytics and control], 2011, no. 15 (3), pp. 287–298.

23. Makarova N.V., Zyuzina A.V. Otsenka antiokislitel'nykh svoystv yablok na modeli s linolevoy kislotoy [Antioxidant properties' estimation apple on the model with linoleic acid]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya* [Transactions of Higher Educational Institutions, Food Technology], 2011, no 4 (322), pp. 13–15.

Дополнительная информация / Additional Information

Еремеева, Н.Б. Антиоксидантная активность экстрактов черноплодной рябины, полученных в надкритических условиях / Н.Б. Еремеева, Н.В. Макарова, И.А. Платонов // Техника и технология пищевых производств. – 2016. – Т. 42. – № 3. – С. 12–18.

Eremeeva N.B., Makarova N.V., Platonov I.A. Antioxidant activity of chokeberry extracts obtained in supercritical conditions. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2016, vol. 42, no. 3, pp. 12–18. (in Russ.).

Еремеева Наталья Борисовна
аспирант кафедры технологии и организации общественного питания, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,
тел.: +7 (846) 332-20-69, e-mail: rmvnatasha@rambler.ru

Макарова Надежда Викторовна
д-р хим. наук, профессор, заведующая кафедрой технологии и организации общественного питания, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел.: +7 (846) 332-20-69,
e-mail: makarovanv1969@yandex.ru

Платонов Игорь Артемьевич
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой химии, ФГАОУ ВО «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)», 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34, тел.: +7 (846) 335-18-26, e-mail: pia@ssau.ru

Natalia B. Eremeeva
Postgraduate Student of the Department of Technology and Organization of Public Catering, Samara State Technical University, 244, Molodogvardeyskaya Str., Samara, 4443100, Russia, phone: +7 (846) 332-20-69, e-mail: rmvnatasha@rambler.ru

Nadezhda V. Makarova
Dr.Sci.(Chem.), Professor, Head of the Department of Technology and Organization of Public Catering, Samara State Technical University, 244, Molodogvardeyskaya Str., Samara, 4443100, Russia, phone: +7 (846) 332-20-69, e-mail: makarovanv1969@yandex.ru

Igor A. Platonov
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of Department of Chemistry, Samara State Aerospace University, 34, Moskovskoye shosse, Samara, 443086, Russia, phone: +7 (846) 335-18-26, e-mail: pia@ssau.ru