ХИМИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ. 2015. №4. С. 125–130.
DOI: 10.14258/jcprm.201504763

УДК 663.44

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСТРАКТОВ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA*)

© *А.В. Савенко*[1*], *А.Ф. Сорокопуд*[2]

[1]*Рубцовский индустриальный институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, ул. Тракторная, 2/6, Рубцовск, 658207 (Россия), e-mail: rii@rubinst.ru*
[2]*Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, б-р Строителей, 47, Кемерово, 650056 (Россия), e-mail: mapp@kemtipp.ru*

Использование добавок природного происхождения при производстве продуктов питания позволяет повысить их пищевую ценность, придать необходимые свойства, повысить конкурентоспособность на рынке. Береза с давних времен известна своими целебными свойствами, и современные исследования свойств ее экстрактов открывают новые границы по применению в пищевой промышленности. Извлечение полезных веществ из растительного сырья наиболее оправданно методом экстрагирования. Однако получаемые экстракты имеют низкую концентрацию полезных веществ, что сказывается на их свойствах. Среди прочих методов концентрирования можно выделить выпаривание под вакуумом, как способ, позволяющий в большей мере сохранить полезные свойства экстрактивных веществ. Получение концентрированного экстракта в промышленных масштабах затруднено ввиду отсутствия данных о физико-химических и теплофизических свойствах экстракта листьев березы, необходимых для проектирования и технологического оборудования, в том числе и выпарных установок. В работе представлены результаты исследования влияния температуры и концентрации сухих веществ на физико-химические свойства (плотность, вязкость, поверхностное натяжение) и теплофизические характеристики (теплопроводность, теплоемкость) экстрактов листьев березы, полученных с использованием наиболее распространенных методик исследования в экспериментальной практике. Полученные данные проанализированы и представлены в виде диаграмм, что позволяет наглядно проследить выявленные зависимости. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены уравнения множественной регрессии, описывающие изменение физико-химических свойств и теплофизических характеристик экстрактов в широком диапазоне изменения температур и содержания сухих водорастворимых веществ.

Ключевые слова: экстракт листьев березы, плотность, вязкость поверхностное натяжение, теплопроводность, теплоемкость.

Введение

Биологически активные вещества растительного происхождения и получаемые на их основе ингредиенты для пищевой промышленности вызывают большой интерес во всем мире. Формируется четко выраженная тенденция к применению естественных продуктов [1]. Продукты питания, имеющие в своем составе вещества природного происхождения, являются конкурентоспособными и пользуются большим доверием у покупателей. В связи с этим активно ведутся разработки по исследованию полезных свойств веществ природного происхождения, в контексте создания здоровых продуктов питания. На данный момент известны работы по использованию антиоксидантов природного происхождения в пищевой промышленности. Однако производство продуктов питания, отвечающих современным тенденциям, затруднено ввиду отсутствия необходимых компонентов, выработанных на основе природного сырья. Решением данного вопроса может служить переработка местных растительных ресурсов, представляющих интерес как источник биологически активных ве-

Савенко Александр Валентинович – аспирант кафедры «Техника и технология машиностроения и пищевых производств», e-mail: saven21@mail.ru
Сорокопуд Александр Филиппович – профессор кафедры «Машины и аппараты пищевых производств», доктор технических наук, e-mail: office@kemtipp.ru

[*] Автор, с которым следует вести переписку.

ществ. Дешевым, легкодоступным и возобновляемым ресурсом для получения ценных природных компонентов могут служить различные наземные части целебных растений, широкодоступных и дающих устойчивые урожаи на территории Алтайского края. Такой подход позволяет существенно сократить затраты на транспортировку и хранение как исходного сырья, так и полученного продукта. Наибольший интерес вызывают растения, с давних времен известные своими целебными свойствами. К ним можно смело отнести растения рода береза. Стоит отметить, что на сегодняшний день уже известны основные пути применения экстрактов березы в пищевой промышленности [7, 9].

Экстракт березы обладает богатым химическим составом, а наличие в листьях березы природных антиоксидантов делает возможным его применение в качестве консерванта при хранении молочных продуктов с высоким содержанием влаги, так как они наиболее подвержены реакциям окисления и брожения [9]. Ингибирующее воздействие в отношении бактерий и грибков позволяет применить экстракт березы для увеличения сроков хранения творога [11]. Содержание А и Р витаминов в вегетативных органах березы достигает весьма высоких значений (150–200 мг/кг). Для сравнения: такое содержание витаминов является вдвое большим, нежели у хвойных деревьев. Интерес к антиоксидантам обусловлен также широким спектром их фармакологической активности. В народной медицине береза известна как противовоспалительное, дезинфицирующее средство. Отвар из листьев и почек березы оказывает желчегонное, отхаркивающее действие, снимает отеки, воспаления. Содержание аскорбиновой кислоты в листьях и почках березы достигает 2,8%, флавоноидов – 2,77% в том числе кверцетина – 0,36% [6].

Концентрирование экстрактов целесообразно с точки зрения сохранности их полезных свойств, применение концентрированных экстрактов позволяет добиться высокой концентрации полезных веществ на единицу объема продукта, концентрирование экстрактов упрощает их транспортировку и погрузочно-разгрузочные работы.

Важным аспектом концентрирования экстракта является термолабильность содержащихся в нем полезных веществ, поэтому наиболее простым и оправданным способом концентрирования является выпаривание под вакуумом [5, 10]. Таким образом, большую актуальность приобретают данные, характеризующие параметры экстракта в процессе обработки: теплофизические характеристики (ТФХ) и физико-химические свойства (ФХС), которые в значительной мере определяют габаритные размеры создаваемого технологического оборудования. Поэтому цель настоящей работы – определение ТФХ и ФХС экстрактов листьев березы.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования принят концентрированный водный экстракт листьев березы, концентрацией сухих веществ $C_{св}$ = 60% масс. Для получения такого концентрата была использована лабораторная вакуум-выпарная установка, обеспечивающая кипение водного экстракта при температуре 46–48 °С. Содержание сухих водорастворимых веществ в экстракте определялось рефрактометрическим методом. Предел допускаемой погрешности измерения по шкале сухих веществ по сахарозе ±0,01% [3]. Исходный экстракт был получен в результате экстрагирования водой высушенных листьев березы в поле низкочастотных механических колебаний с применением аппарата с вибрационной тарелкой. Полученный экстракт фильтровался и направлялся на концентрирование.

Для получения необходимых концентраций модельных систем полученный концентрат разбавлялся дистиллированной водой. Таким образом, были получены образцы экстракта с концентрацией 1, 15, 30, 45, 60% масс. Исследование ФХС и ТФХ производилось для каждого образца в диапазоне температуры t от 20 до 48 °С, с шагом варьирования Δt = 7 °С.

ФХС и ТФХ экстракта определяли методами, получившими широкое распространение в исследованиях такого рода. Относительная плотность ρ, кг/м^3 измерялась пикнометрическим методом [4]. Погрешность измерения относительной плотности при использовании этой методики составляет $\delta\rho_t = \pm 0{,}097\%$ [10].

Измерения коэффициента динамической вязкости μ, (Па·с) производились с помощью лабораторных вискозиметров ВПЖ-2-3-ХЗС ГОСТ 10028-81 с диаметром капилляра $2{,}37\cdot10^{-3}$м и ВПЖ-2-30-ХЗС ГОСТ 10028-81 с диаметром капилляра $4{,}66\cdot10^{-3}$м. Такой метод определения вязкости обеспечивает относительную погрешность $\delta\mu = \pm 4{,}6\%$ [10]. Поверхностное натяжение σ, (Н/м) определялось методом Ребиндера [2]. Описание установки для определения приведено в работе [10]. Погрешность измерения таким методом составляет $\delta\sigma = \pm 1{,}16\%$ [10], что является достаточным для проведения инженерных расчетов.

Коэффициент теплопроводности λ, (Вт/(м·К)) измерялся методом Христиансона [8]. Относительная погрешность измерения теплопроводности этим методом составляет $\delta_\lambda = \pm 2{,}14\%$ [5].

Определение коэффициента удельной теплоемкости экстракта *c,* кДж/(кг·К) осуществлялось с использованием калориметрического метода [8]. Относительная погрешность измерений этим способом $\delta_C = \pm 4{,}44\%$ [5].

Результаты и их обсуждение

Данные, полученные в ходе экспериментов, были обработаны на ЭВМ в среде статистического пакета STATISTICA 8.0 и EXEL, в результате получены уравнения множественной регрессии. Для относительной плотности уравнения имеют вид:

$$\rho_б = 1025{,}9128 + 3{,}7165 \cdot C_{св} - 0{,}5314 \cdot t,\ R = 99{,}4\%, \quad (1)$$

где $C_{св}$ – концентрация сухих водорастворимых веществ, % масс., t – температура экстракта, ^oC, R –коэффициент множественной корреляции, показывающий величину соответствия полученной математической модели экспериментальным данным.

Для коэффициента динамической вязкости, μ:

$$\mu_б = 2{,}7625 + 0{,}4654 \cdot C_{св} - 0{,}0552 \cdot t,\ R = 99{,}9\%. \quad (2)$$

Для поверхностного натяжения, σ:

$$\sigma_б = 76{,}28896 - 0{,}4917 \cdot C_{св} - 0{,}1544 \cdot t,\ R = 98{,}7\%. \quad (3)$$

Для коэффициента теплопроводности, λ:

$$\lambda_б = 0{,}3986 - 0{,}00124 \cdot Ccв + 0{,}0013 \cdot t,\ R = 92{,}6\%. \quad (4)$$

Для коэффициента теплоемкости, с:

$$c_б = 3{,}6901 - 0{,}0152 \cdot Ccв + 0{,}0065 \cdot t,\ R = 94{,}7\%. \quad (5)$$

Для графического анализа в результате статистической обработки данных получены поверхности отклика, описывающие зависимость ТФХ и ФХС от изменения температуры и концентрации (рис. 1–5).

Плотность экстракта с увеличением температуры уменьшается (рис. 1). Объяснить это можно увеличением интенсивности тепловых колебаний молекул экстрактивных веществ и воды по мере увеличения температуры. Исходя из того, что по мере увеличения концентрации плотность экстракта возрастает, можно сделать вывод, что плотность экстрактивных веществ больше плотности воды.

Вязкость обусловлена прежде всего межмолекулярным взаимодействием, ограничивающим подвижность молекул. Для перемещения молекулы в жидкости требуется наличие в соседнем слое молекул полости, на образование которой и расходуется энергия активации вязкого течения, которая снижается с повышением температуры. Помимо этого, увеличение температуры приводит к более интенсивному колебанию звеньев молекул экстрактивных веществ и воды. Этим можно объяснить снижение коэффициента динамической вязкости с увеличением температуры (рис. 2). Увеличение вязкости с увеличением концентрации можно объяснить наличием в составе экстрактивных веществ высокомолекулярных соединений, молекулы которых при одной и той же температуре обладают меньшей подвижностью, чем молекулы воды.

Снижение поверхностного натяжения экстракта с увеличением температуры и концентрации (рис. 3) объясняется уменьшением интенсивности межмолекулярного взаимодействия как молекул воды, так и молекул экстрактивных веществ.

Теплопроводность жидкости также обусловлена межмолекулярным взаимодействием. Уменьшение теплопроводности с увеличением концентрации сухих водорастворимых веществ в экстракте можно объяснить тем, что межмолекулярное взаимодействие молекул экстрактивных веществ в сравнении с молекулами воды при одной и той же температуре менее интенсивно. Исходя из графического отображения данных экспериментальных исследований зависимости коэффициента теплопроводности экстракта от температуры и концентрации сухих веществ (рис. 4), можно сделать вывод, что теплопроводность экстрактивных веществ меньше, чем теплопроводность присутствующей в экстракте воды.

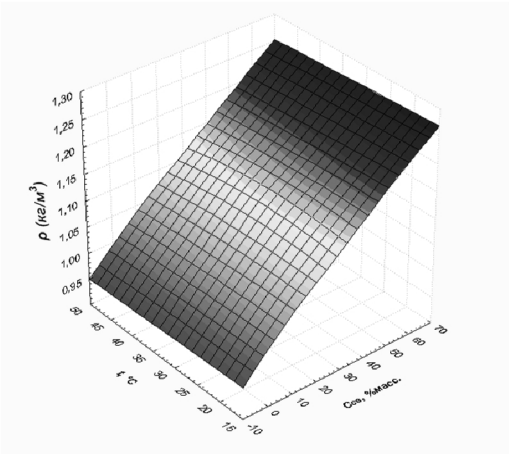

Рис. 1. Зависимость относительной плотности экстрактов листьев березы повислой от температуры и концентрации сухих веществ

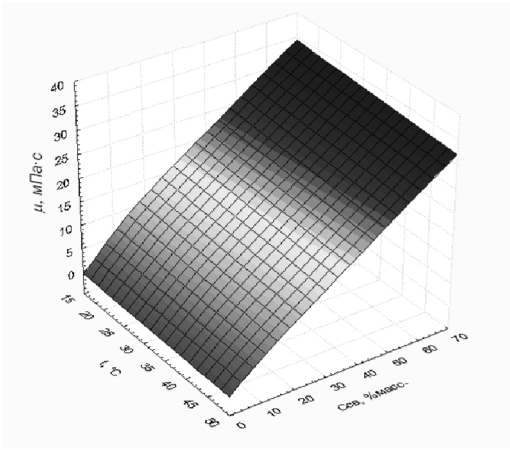

Рис. 2. Зависимость коэффициента динамической вязкости экстрактов листьев березы повислой от температуры и концентрации сухих веществ

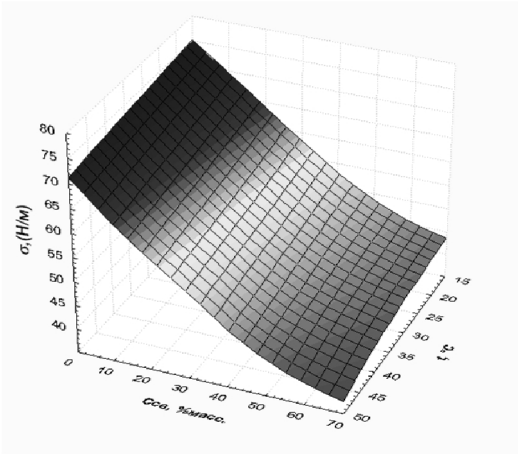

Рис. 3. Зависимость поверхностного натяжения экстрактов листьев березы повислой от температуры и концентрации сухих веществ

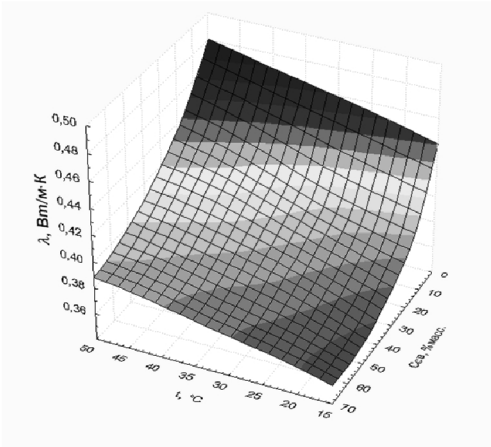

Рис. 4. Зависимость коэффициента теплопроводности экстрактов листьев березы повислой от температуры и концентрации сухих веществ

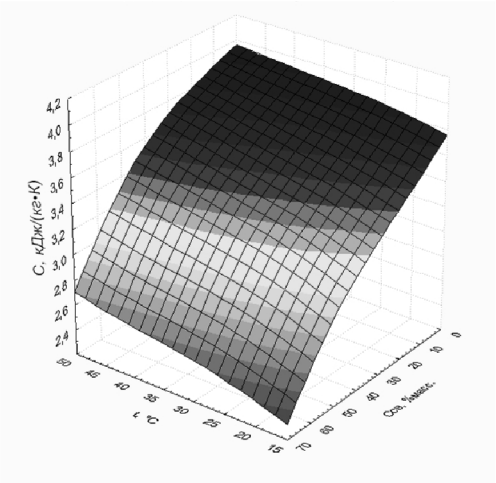

Рис. 5. Зависимость коэффициента теплоемкости экстрактов листьев березы повислой от температуры и концентрации сухих веществ

Коэффициент теплоемкости экстракта (рис. 5) возрастает с увеличением температуры, объяснить это можно тем, что под действием температуры межмолекулярные связи ослабевают, что обусловливает увеличение энергозатрат на достижение более высоких температур.

На основе экспериментальных исследований можно сделать вывод, что температура и концентрация сухих веществ оказывает влияние на ФХС и ТФХ экстрактов листьев березы. Данные о ФХС и ТФХ являются необходимыми при расчете теплообмена при концентрировании экстракта в выпарной установке.

Список литературы

1. Epstein H. Nature's nourishing botanical (growth of herbs and other plant based medicines and cosmetics) (Industry Overview) // Soap and Cosmet. 2000. Vol. 76, N12. Pp. 51–54.
2. Горбачева С.В. и др. Практикум по физической и коллоидной химии. М., 1979. 256 с.
3. ГОСТ 28562-90. Продукты переработки плодов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. М., 2010. 12 с.
4. ГОСТ 29030-91. Продукты переработки плодов и овощей. Пикнометрический метод определения относительной плотности и содержания растворимых сухих веществ. М., 2010. 6 с.
5. Гриценко В.В. Интенсификация теплообмена в роторном распылительном испарителе : дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2009. 121 с.
6. Демина Л.Н., Паршикова В.Н., Сепень Р.А. Минеральный состав водных экстрактов *Betula Pendula* Roth, *Ribes Nigrum* L. // Химия растительного сырья. 2003. №4. С. 57–60.
7. Ленцова Л.В., Каленик Т.К. Пищевые жиры: значение и проблемы. Владивосток, 2001. 150 с.
8. Методы определения теплопроводности температуропроводности / под ред. А.В. Лыкова. М., 1973. 336 с.
9. Парфенова Т.В., Ленцова Л.В., Зверева А.М. Экстракты березовых почек и березовых листьев в качестве антиоксидантов для маргариновой продукции // Масложировая промышленность. 2004. №3. С. 46.
10. Сорокопуд А.Ф. Разработка и совершенствование роторных распылительных аппаратов с целью интенсификации процессов в гетерогенных газожидкостных системах : дис. ... д-ра техн. наук. Кемерово, 1998. 529 с.
11. Шалаева А.В., Федорова О.Б. Модифицированная полиэтиленовая пленка для хранения творожного продукта // Пищевая промышленность. 2011. №6. С. 30–31.

Поступило в редакцию 28 мая 2015 г.

После переработки 10 ноября 2015 г.

Savenko A.V.[1*], *Sorokopud A.F.*[2] PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF BIRCH (BETULA PENDULA) EXTRACT

[1]*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) I.I. Polzunov Altai State Technical University, Traktornaia st., 2/6, Rubtsovsk, 658207 (Russia), e-mail: rii@rubinst.ru*

[2]*Kemerovo Technological Institute of Food Industry, bul'var Stroitelei, 47, Kemerovo, 650056 (Russia), e-mail: mapp@kemtipp.ru*

The use of additives of natural origin in food production, can improve their nutritional value, give them the necessary properties and increase their competitiveness in the market. The interest in food products containing natural substances is widespread. Birch has been known for its healing properties for a long time and modern studies of itsextracts'properties open new boundaries for its use in the food industry. The use of birch biomass is not appropriate in terms of customer demand. The method of extraction has justified the removing nutrients from plant material. However, the extracts have low concentrations of nutrients affecting their useful properties. Among other methods of concentration there can be distinguished evaporation under a vacuum, as a way to maintain more useful properties of extractives. The receipt of concentrated extract on an industrial scale is difficult due to the lack of data on the physicochemical and thermal properties of birchleaves extract which is necessary for a design and manufacturing equipment, including evaporators. The work contains the research results of the effects of temperature and the concentration of dry matter on the physicochemical properties (density, viscosity, surface tension) and thermal characteristics (thermal conductivity, specific heat) of birch leaves' extract produced using the most widespread research methods in experimental practice. The received data areanalyzed and presented in the form of diagrams which help to trace discovered dependences. As a result of statistical processing of the experimental data we have got multiple regression equations describing the change of physicochemical properties and thermal characteristics of the extracts in a wide range of temperatures and dry matter content.

Keywords: Birch leaf extract, density, viscosity, surface tension, thermal conductivity, specific heat.

References

1. Epstein H. *Soap and Cosmet,* 2000, vol. 76, no. 12, pp. 51–54.
2. Gorbacheva S.V. et al. *Praktikum po fizicheskoi i kolloidnoi khimii.* [Workshop on physical and colloid chemistry]. Moscow, 1979, 256 p. (in Russ.).
3. *GOST 28562-90. Produkty pererabotki plodov i ovoshchei. Refraktometricheskii metod opredeleniia rastvorimykh sukhikh veshchestv.* [State Standard 28562-90. Products of fruits and vegetables. Refractometric method for determination of sol-soluble solids]. Moscow, 2010, 12 p. (in Russ.).
4. *GOST 29030-91. Produkty pererabotki plodov i ovoshchei. Piknometricheskii metod opredeleniia otnositel'noi plotnosti i soderzhaniia rastvorimykh sukhikh veshchestv.* [State Standard 29030-91. Products of fruits and vegetables. Pycnometric method for determining the relative-tive density and content of soluble solids]. Moscow, 2010, 6 p. (in Russ.).
5. Gritsenko V.V. *Intensifikatsiia teploobmena v rotornom raspylitel'nom isparitele : dis. ... kand. tekhn. nauk.* [Enhancement of heat transfer in a rotary evaporator, spray Dissertation of the candidate of technical sciences]. Kemerovo, 2009, 121 p. (in Russ.).
6. Demina L.N., Parshikova V.N., Stepen' R.A. *Khimiia rastitel'nogo syr'ia,* 2003, no. 4, pp. 57–60. (in Russ.).
7. Lentsova L.V., Kalenik T.K. *Pishchevye zhiry: znachenie i problemy.* [Dietary fat: the importance and challenges]. Vladivostok, 2001, 150 p. (in Russ.).
8. *Metody opredeleniia teploprovodnosti temperaturoprovodnosti.* [Methods for determination of the thermal conductivity of the thermal]. Ed. A.V. Lykov. Moscow, 1973, 336 p. (in Russ.).
9. Parfenova T.V., Lentsova L.V., Zvereva A.M. *Maslozhirovaia promyshlennost',* 2004, no. 3, pp. 46. (in Russ.).
10. Sorokopud A.F. *Razrabotka i sovershenstvovanie rotornykh raspylitel'nykh apparatov s tsel'iu intensifikatsii protsessov v geterogennykh gazozhidkostnykh sistemakh : dis. ... d-ra tekhn. nauk.* [Development and improvement of rotary spray devices for the purpose of intensification of processes in gas-liquid heterogeneous systems: the Dissertation of the doctor of technical sciences]. Kemerovo, 1998. 529 p. (in Russ.).
11. Shalaeva A.V., Fedorova O.B. *Pishchevaia promyshlennost',* 2011, no. 6, pp. 30–31. (in Russ.).

Received May 28, 2015

Revised November 10, 2015

[*] Corresponding author.