Применение СВЧ-, ИК-нагрева в технологии получения морковного порошка из выжимок

Ольга В. Перфилова¹ Perfolgav@mail.ru

¹ Мичуринский государственный аграрный университет, ул. Интернациональная, 101, г. Мичуринск, 393760, Россия

Аннотация. В современной пищевой промышленности при разработке инновационных технологий все чаще применяются физические методы обработки исходного сырья и пищевой продукции. Однако анализ литературы показал, что в полной мере не изучены механизмы влияния СВЧ- и ИК-энергии на пищевую ценность сырья и продуктов питания. При этом переработка растительного сырья должна проводиться по технологиям, предусматривающим максимально возможное извлечение из него ценных пищевых веществ, которые содержатся в нем в оптимальных соотношениях и легкоусвояемой форме. Особенностью разработанной технологии морковного порошка является применение СВЧ-нагрева для предварительной обработки выжимок с целью повышения антиоксидантной ценности из-за увеличения содержания водорастворимых антиоксидантов в свободной форме, в результате увеличения клеточной проницаемости и эффекта плазмолиза. Для морковных выжимок определен рациональный режим СВЧ-обработки, при котором наблюдается максимальное увеличение суммарного содержания антиоксидантов (38,0 мг/100 г или 191,0 мг/100 г с.в.): мощность – 800 Вт, время – 180 с, удельная работа – 720 Вт/г, температура нагрева выжимок 95 °С. Для интенсификации процесса сушки морковных выжимок используется ИК-сушка при температуре 60–65 °С в течение 220 мин до влажности 7,5–8%. В результате ИК-сушки выжимок увеличивается сохранность антиоксидантов в среднем на 12,5% по сравнению с конвективным способом сушки, что может быть обусловлено сокращением времени сушки в среднем в 1,7 раза. Морковный порошок, полученный по новой технологии с использованием СВЧ-, ИК-нагрева, соответствует требованиям ТР ТС 021/2011, что свидетельствует об его безопасности при использовании в производстве продуктов питания различного назначения. Таким образом, разработанная технология позволяет получить дополнительную продукцию из вторичного сырья сокового производства в виде порошка с повышенной антиоксидантной ценностью.

Ключевые слова: морковные выжимки, СВЧ-нагрев, ИК-сушка, порошок, антиоксиданты, безопасность

The using of microwave, infrared heating in technology of carrot powder from refuse

Olga V. Perfilova¹ Perfolgav@mail.ru

¹ Michurinsk State Agrarian University, Internationalnaya st., 101, Michurinsk, 393760, Russia

Abstract. In modern food industry in the innovative technologies development are frequently used physical methods for processing raw materials and food products. However, an analysis of the literature has shown that the mechanisms of the microwave and infrared (IR) energy influence on the nutritional value of raw materials and food products are not understood in full. At the same time, the processing of vegetable raw materials should be carried out using technologies are provided the maximum possible extraction from it of valuable nutrients, which are contained in it in optimal ratios and easily digestible form. A feature of the developed technology of carrot powder is the using of microwave heating for pretreatment of refuse to increase the antioxidant value on account of increasing in the content of free water-soluble antioxidants as a result of an increasing of cellular permeability and the effect of plasmolysis. For carrots refuse was determined a rational microwave treatment regime, which provides a maximum increasing of total content of antioxidants (38.0 mg/100 g or 191.0 mg/100 g solid): power – 800 W, time – 180 s, specific work – 720 W/g, the heating temperature of refuse is 95 °C. Infrared drying used for intensification of refuse drying at a temperature of 60–65 °C for 220 minutes to a moisture content of 7.5–8%. As a result of infrared drying, the preservation of antioxidants are increases by an average of 12.5% compared with the convective drying method, which may be due to a decrease of drying time by an average of 1.7 times. Carrot powder made by the new technology with using of microwave accorded to the safety requirements, which indicates the possibility of its using in the production of food for various purposes. Thus, the developed technology allows to obtain additional products from the secondary raw materials of juice production such as powder with high antioxidant value.

Keywords: carrots refuse, microwave heating, infrared drying, powder, antioxidants, safety

Введение

В современной пищевой промышленности при разработке инновационных технологий все чаще применяются физические методы обработки исходного сырья и пищевой продукции. Данные методы используются, чтобы интенсифицировать процессы теплообмена, улучшить показатели пищевой ценности и безопасности обрабатываемых продуктов. ИК-облучение и нагревание в электромагнитном поле в настоящее время считаются одними из эффективных и перспективных физических методов.

Нагрев сырья и пищевых продуктов традиционно происходит конвекцией за счет своей теплопроводности. В случае нагрева в электромагнитном поле в отличие от первого способа нет участия среды между объектом нагрева и СВЧ- и ИК-генераторами в процессе переноса теплоты. Перенос теплоты в системе «генератор-среда-объект нагрева» осуществляется электромагнитными колебаниями, при этом тепловая энергия генерируется непосредственно в объектах нагрева.

В инновационных пищевых технологиях СВЧ-нагрев получил широкое применение

Для цитирования

Перфилова О.В. Применение СВЧ-, ИК-нагрева в технологии получения морковного порошка из выжимок // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 144–148. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-144-148

For citation

Perfilova O.V. The using of microwave, infrared heating in technology of carrot powder from refuse. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 144–148. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-1-144-148

на различных стадиях технологического процесса: разогрев, сушка, размораживание, варка, выпечка, обеззараживание, экстрагирование и др. СВЧ-обработка демонстрирует перспективные преимущества по отношению к традиционным технологиям нагрева, а именно, улучшается качество изделий, сокращается временной интервал управления технологическим процессом, экономится энергия и затраты на энергию по причине более высокого коэффициента полезного действия, снижается уровень загрязненности окружающей среды, расходы на содержание оборудования незначительны, гибкость установки более высокая [1–4].

Широкое распространение получило такое технологическое решение, как сочетание СВЧ-нагрева с паром, горячим воздухом, вакуумом, инфракрасным нагревом, ультразвуком, которые также выступают в роли энергоносителей [5–8].

Однако анализ литературы показал, что в полной мере не изучены механизмы влияния СВЧ- и ИК-энергии на пищевую ценность сырья и продуктов питания. При этом переработка растительного сырья должна проводиться по технологиям, предусматривающим максимально

возможное извлечение из него ценных пищевых веществ, которые содержатся в нем в оптимальных соотношениях и легкоусвояемой форме.

Морковные выжимки являются сопутствующим основному производству сока сырьем, сохранившим высокую пищевую ценность и антиоксидантные свойства. В силу этого целесообразно расширить и дополнить технологическую линию получения сока прямого отжима линией по переработке образующихся выжимок на порошок. Таким образом, из выжимок можно произвести дополнительное количество продукции, вырабатываемой в условиях одного производства [9–10].

Результаты и обсуждение

Проведенные на базе учебно-исследовательской лаборатории продуктов функционального назначения Мичуринский ГАУ исследования позволили определить технологические параметры процесса переработки морковных выжимок от производства соков прямого отжима на порошки.

Технологический процесс получения морковного порошка из выжимок осуществляется согласно разработанной структурной схеме (рисунок 1).

Рисунок 1. Структурная схема получения морковного порошка из выжимок при производстве соков прямого отжима

Figure 1. Structural scheme of carrot powder making from refuse juice of production by direct extraction

Первоначально выжимки подаются на сортировочный конвейер для инспекции по качеству, затем равномерным потоком выжимки поступают в СВЧ-камеру, где подвергаются предварительной термообработке под действием СВЧ-энергии при определенном рациональном режиме, при котором наблюдается максимальное увеличение суммарного содержания антиоксидантов (38,0 мг/100 г или 191,0 мг/100 г.с.в.): мощность – 800 Вт, время – 180 с, удельная работа – 720 Вт/г °с, температура нагрева выжимок 95 °С. При таком режиме СВЧ-нагрева значение ССА в морковных выжимках по сравнению с контролем увеличивается в 1,65 раза, что может быть обусловлено увеличением концентрации водорастворимых антиоксидантов в свободной форме в результате повышения клеточной проницаемости и эффекта плазмолиза.

После СВЧ-обработки выжимки измельчаются на частицы размером 4–6 мм и далее измельченная масса направляется на сушку при 60–65 °С в ленточной ИК-сушилке, где масса выжимок распределяется слоем толщиной 3 мм и сушится в течение 220 мин.

По окончании процесса сушки высушенные до конечного влагосодержания 7,5–8,0%, выжимки с целью их остывания ($t = 20\text{ °C}$) выгружаются

из сушильной установки на лотки, которые устанавливаются на тележку. Операция охлаждения необходима для проведения процесса выравнивания влажности в высушенных выжимках.

Остывшие выжимки фасуются с помощью дозатора, оснащенного магнитоуловителем, либо в вакуумные пакеты, либо в крафт-пакеты с влаго непроницаемыми вкладышами и направляются на хранение при следующих условиях: относительная влажность воздуха – не более 75% и температура воздуха – не ниже 0 °С.

Затем, в случае потребности в порошках, проводят растаривание, инспекцию и измельчение сухих выжимок в молотковой дробилке. Морковный порошок просеивают с помощью синтетического сита № 35. Фракцию порошка с частицами не более 200 мкм направляют на фасование с помощью дозатора, оснащенного магнитоуловителем, в вакуумные пакеты либо в крафт-пакеты с влаго непроницаемыми вкладышами, которые поступают на хранение при тех же условиях, что и сухие неизмельченные выжимки.

Установлено преимущество применения ИК-сушки выжимок перед традиционным способом конвективной сушки по содержанию антиоксидантов (рисунок 2).

Рисунок 2. Диаграмма изменения содержания антиоксидантов морковных выжимок от способа сушки: 1 – выжимки после СВЧ-нагрева; 2 – выжимки после ИК-сушки; 3 – выжимки после конвективной сушки

Figure 2. Diagram of changes in the antioxidants content of carrots refuse from the drying method: 1 – refuse after microwave-heating; 2 – refuse after IR-drying; 3 – refuse after convective drying

Содержание антиоксидантов определяли амперометрическим методом на приборе Цвет Яуза 01-АА; бета-каротин – методом колоночной хроматографии И.К. Мурри по ГОСТ 8756.22–80; флавонолы и катехины – колориметрическим методом в модификации Л.И. Вигорова на фотометре марки КФК-3; антоцианы – по методу Никитского ботанического сада; витамин С – титриметрическим методом по ГОСТ 24556–89.

Отличительной особенностью способа ИК-сушки является высокая сохранность аскорбиновой кислоты. Содержание аскорбиновой кислоты в морковных выжимках снижается по отношению к исходному содержанию в свежих выжимках в результате ИК-сушки и конвективной сушки соответственно на 27,6 и 51,9%. Таким образом, применение ИК-сушки позволяет сократить потери аскорбиновой кислоты в среднем на 24% по сравнению с конвективным способом.

Содержание катехинов и антоцианов в выжимках после ИК-сушки по сравнению с их исходным содержанием в свежих выжимках уменьшается соответственно в 1,4 и 1,5 раза.

Содержание флавонолов в морковных выжимках после ИК-сушки уменьшается в 1,3 раза по сравнению со свежим сырьем. Существенной зависимости количественного содержания флавоноидов в выжимках от способа сушки (ИК-сушка и конвективная сушка) не выявлено.

Снижение содержания полифенолов в результате сушки морковных выжимок может быть обусловлено ферментативными и неферментативными процессами. В результате исследований установлено, что из флавоноидов к наиболее чувствительным к действию повышенных температур относятся антоцианы,

а к наиболее устойчивым флавонолы, которые медленнее разрушаются.

В результате ИК-сушки выжимок увеличивается сохранность антиоксидантов в среднем на 12,5% по сравнению с конвективным способом сушки, что может быть обусловлено сокращением времени сушки в среднем в 1,7 раза.

Таким образом, разработанная технология позволяет получить дополнительную продукцию из вторичного сырья сокового производства в виде порошка с повышенной антиоксидантной ценностью.

Безопасность морковного порошка из выжимок производства соков прямого отжима определяли по содержанию токсичных элементов, пестицидов, нитратов, радионуклидов и по микробиологическим показателям (таблица 1).

Таблица 1.

Показатели безопасности морковного порошка из выжимок

Table 1.

Safety indicators of carrot powder from refuse

Показатели Indicators	Методы исследования Methods of testing	Допустимые значения ТР ТС 021/2011, не более Valid Values TR CU 021/201, no more than	Фактическое значение Actual value
Токсичные элементы, мг/кг Toxic elements mg/kg			
Ртуть Mercury	ГОСТ 26929 GOST R 51766	0,02	<0,01
Кадмий Cadmium	МУК 4.1.986 Workbook 4.1.986	0,03	0,014
Свинец Lead	МУК 4.1.986 Workbook 4.1.986	0,50	0,150
Мышьяк Arsenic	ГОСТ Р 51766 GOST R 51766	0,20	<0,010
Пестициды, мг/кг Pesticides, mg/kg			
Альфа-ГХЦГ Alpha-HCH	ГОСТ 30349 GOST 30349	0,5	<0,001
Бета-ГХЦГ Beta-HCH		0,5	<0,001
Гамма-ГХЦГ Gamma – HCH		0,5	<0,001
ДДД DDD		0,1	<0,007
ДДТ DDT		0,1	<0,007
ДДЭ DDE		0,1	<0,007
Нитраты, мг/кг Nitrates, mg/kg	МУ 5048 Workbook 5048	400	235
Радионуклиды, Бк/кг Radionuclides, Bq/kg			
Цезий-137 Cesium-137	ГОСТ 32161 GOST 32161	80,0	<3,0
Стронций-90 Strontium-90	ГОСТ 32163 GOST 32163	40,0	<1,2
КМАФАнМ, КОЕ/г (см ³) QMAFAnM, CFU / g (cm ³)	ГОСТ 10444.15 GOST10444.15	<50000	200
БГКП, в 0,1 г (см ³) E. coli bacteria, in 0.1 g (cm ³)	ГОСТ 31747 GOST31747	0,1	Не обнаружены в 0,1 г (см ³) not detected in 0.1 g (cm ³)
Патогенные, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г.(см ³) Pathogens, incl. Salmonella, in 25 g (cm ³)	ГОСТ 31659 GOST 31659	25	Не обнаружены в 25 г.(см ³) not detected in 25 г.(cm ³)
Плесени, КОЕ/г (см ³) Mold, CFU / g (cm ³)	ГОСТ 10444.12 GOST10444.12	<100	<1
Дрожжи, КОЕ/г (см ³) Yeast, CFU/g (cm ³)		<500	<1

Результаты испытаний показали, что морковный порошок, полученный по новой технологии с использованием СВЧ-, ИК-нагрева, соответствует требованиям ТР ТС 021/2011, что свидетельствует об его безопасности при использовании в производстве продуктов питания различного назначения.

Заключение

По данным исследований можно сделать вывод о том, что использование предварительной термической обработки морковных выжимок

СВЧ-энергией позволяет повысить антиоксидантную ценность выжимок за счет увеличения клеточной проницаемости для водорастворимых антиоксидантов. СВЧ-энергия наряду с ИК-излучением пагубно влияет на клетки патогенных микроорганизмов, что обеспечивает микробиологическую безопасность готового порошка. Испарение части влаги в процессе СВЧ-обработки и интенсификация процесса сушки за счет ИК-излучения сокращает время сушки, что позволяет снизить расходы на электроэнергию и существенно увеличить сохранность антиоксидантов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ушакова Н.Ф., Копысова Т.С., Касаткин В.В., Кудряшова А.Г. Опыт применения СВЧ-энергии при производстве пищевых продуктов // Пищевая промышленность. 2013. № 10. С. 30–32.
- 2 Государственная политика Российской Федерации в области здорового питания: Доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2015. 89 с.
- 3 Imenokhoyev I., Matthes A., Walter G. Numerical 3D-FEM-simulation made by COMSOL Multiphysics of a microwave assisted cleaning system for a diesel sooty particle filter and its experimental validation // In Proceeding Book, International COMSOL Multiphysics Conference. Ludwigsburg, 2011. P. 26–28.
- 4 DKG-Fachtagung «Moderne Verfahren in der Trocknungstechnik». Eschenfelden, 2012.
- 5 Пат. 2555592, RU, A23B 7/015, A23L 1/212, A23B 7/02, A23L 3/54. Способ получения порошков из сушеных выжимок ягод брусники и клюквы / Кольман О.Я., Иванова Г.В., Никулина Е.О. № 2014110848/13; Заявл. 2014110848; Опубл. 10.07.2015, Бюлл. № 19.
- 6 Пат. 2558443, RU, A23B 7/015, A23L 1/025, A23L 3/54. Способ сушки грибов / Хантургаев А.Г., Котова Т.И., Хантургаева В.А. № 2014121411/13; Заявл. 2014121411; Опубл. 10.08.2015, Бюлл. № 22.
- 7 Пат. 2524069, RU, A23B 7/00, A23B 7/01, A23L 1/2165. Способ получения пищевых порошков из томатов и свеклы / Шорникова Л.П. и др. № 2012153456/13; Заявл. 2012153456; Опубл. 27.07.2014, Бюлл. № 21.
- 8 Пат. 2369284, RU, A23L 3/01, A23B 7/01. Способ непрерывной сушки пищевых продуктов с использованием конвективного и СВЧ-энергоподвода / Антипов С.Т., Селин А.А., Барбашин А.М., Казарцев Д.А. № 2008120287/13; Заявл. 2008120287; Опубл. 10.10.2009, Бюлл. № 28.
- 9 Babushkin V.A., Perfilova O.V., Vinnitskaya V.F., Danilin S.I. Expansion of food products range for functional and prophylactic nutrition with usage of fruits and vegetables of Tambov region // Ecology, Environment and Conservation Paper. 2015. V. 21. P. 29–36.
- 10 Perfilova, O.V., Magomedov G.O., Magomedov M.G., Babushkin V.A. Quality of jelly marmalade from fruit and vegetable semi-finished products // International Journal of Pharmaceutical Research. 2018. V. 10. № 4. P. 721–724.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ольга В. Перфилова к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов питания и товароведения, Мичуринский государственный аграрный университет, ул. Интернациональная, 101, г.Мичуринск, 393760, Россия, Perfolgav@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Ольга В. Перфилова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 10.01.2019

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 18.02.2019

REFERENCES

- 1 Ushakova N.F., Kopysova T.S., Kasatkin V.V., Kudryashova A.G. Experience of using microwave energy in food production. *Pishcheyaya promyshlennost'* [Food Industry]. 2013. no. 10. pp. 30–32. (in Russian).
- 2 Public policy of the Russian Federation in the area of healthy nutrition: Report. Moscow, Federal Service for Protection of Consumers and Human Welfare, 2015. 89 p. (in Russian).
- 3 Imenokhoyev I., Matthes A., Walter G. Numerical 3D-FEM-simulation made by COMSOL Multiphysics of a microwave assisted cleaning system for a diesel sooty particle filter and its experimental validation. In Proceeding Book, International COMSOL Multiphysics Conference. Ludwigsburg, 2011. pp. 26–28.
- 4 DKG-Fachtagung «Moderne Verfahren in der Trocknungstechnik». Eschenfelden, 2012.
- 5 Kolman O.Ya., Ivanova G.V., Nikulina E.O. Sposob polucheniya poroshkov iz sushenykh vyzhimok yagod brusniki i klyukvy [The method of powders production from dried refuse of lingonberries and cranberries]. Patent RF, no. 2555592, 2015.
- 6 Khanturgaev A.G., Kotova T.I., Khanturgaeva V.A. Sposob sushki gribov [The method of mushrooms drying]. Patent RF, no. 2558443, 2015.
- 7 Shornikova L.P. et al. Sposob polucheniya pishchevykh poroshkov iz tomatov i svekly [The method of food powders production from tomatoes and beets]. Patent RF, no. 2524069, 2014.
- 8 Antipov S.T., Selin A.A., Barbashin A.M., Kazartsev D.A. Sposob nepreryvnoy sushki pishchevykh produktov s ispol'zovaniyem konvektivnogo i SVCH-energopodvoda [A method of continuous drying of food using convective and microwave energy supply]. Patent RF, no. 2369284, 2009.
- 9 Babushkin V.A., Perfilova O.V., Vinnitskaya V.F., Danilin S.I. Expansion of food products range for functional and prophylactic nutrition with usage of fruits and vegetables of Tambov region. Ecology, Environment and Conservation Paper. 2015. vol. 21. pp. 29–36.
- 10 Perfilova, O.V., Magomedov G.O., Magomedov M.G., Babushkin V.A. Quality of jelly marmalade from fruit and vegetable semi-finished products. International Journal of Pharmaceutical Research. 2018. vol. 10. no. 4. pp. 721–724.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Olga V. Perfilova Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, food technology and commodity department, Michurinsk State Agrarian University, Internationalnaya st., 101, Michurinsk, 393760, Russia, Perfolgav@mail.ru

CONTRIBUTION

Olga V. Perfilova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The author declares no conflict of interest.

RECEIVED 1.10.2019

ACCEPTED 2.18.2019