

УДК 664.696

Использование брусники в экструдированных продуктах, готовых к употреблению

ВНИИПБТ — филиал ФГБУН
«ФИЦ питания и биотехнологии»

А Ю. Шариков, Е. Н. Соколова, М. В. Амелякина,
Д. В. Поливановская, Е. М. Серб

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Амелякина Мария Валентиновна
Адрес: 111033, г. Москва,
ул. Самокатная, 4Б
E-mail: masha.am@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования
доступны по запросу
у корреспондирующего автора.

для ЦИТИРОВАНИЯ:

Шариков, А. Ю., Соколова, Е. Н., Амелякина, М. В., Поливановская, Д. В., & Серб, Е. М. (2022). Использование брусники в экструдированных продуктах, готовых к употреблению. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 191–200. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.379>

ПОСТУПИЛА: 01.10.2022

ПРИНЯТА: 10.10.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 14.10.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено
за счет гранта Российского научного
фонда № 22-16-00100.
<https://rscf.ru/project/22-16-00100/>



АННОТАЦИЯ

Введение. Использование ягод и продуктов их переработки в рецептурах готовых к употреблению продуктов, получаемых методом экструзии, является перспективным направлением повышения пищевой ценности за счет увеличения содержания пищевых волокон, фенольных соединений и других биологически активных веществ. Брусника является традиционной для потребления в России ягодой, проявляющей противовоспалительное, антиоксидантное, противомикробное и антипролиферативное свойства.

Цель исследования. Для расширения ассортимента продукции, готовой к употреблению, и повышения ее пищевой ценности разработаны экструдированные продукты с добавлением ягод брусники без предварительной их подсушки, изучено влияние дозировки ягод брусники в экструдированную смесь на основе рисовой крупы на процесс экструзии, потребительские свойства получаемой продукции и содержание фенольных соединений.

Материалы и методы. Ягоды брусники вносились в экструдированную смесь на основе рисовой крупы в количестве до 15 %. Смеси перерабатывали на двухшнековом экструдере в диапазоне температур 150–165 °С и оценивали влияние содержания брусники в рецептуре на режимные параметры экструзии, показатели пищевой ценности, структурно-механические, цветовые и органолептические характеристики экструдатов.

Результаты. Установлено, что с ростом доли ягод в рецептуре перерабатываемой смеси снижаются основные технологические показатели процесса: температура, момент сдвиговых деформаций и давление в камере установки, что связывается с повышением общего влагосодержания в камере экструдера. Инструментальная оценка структурно-механических свойств показала, что внесение до 10 % ягод брусники незначительно влияет на твердость гранул продукта и количество микроразломов, косвенном показателе пористости продукта. Более высокое содержание повышает твердость экструдата практически вдвое с 6,2 до 11,7 Н. С повышением доли ягод в рецептуре значительно изменяются хроматические составляющие цвета: хроматическая составляющая «а» в сторону красного цвета с 0,32 до 8, хроматическая составляющая «b» менее интенсивно в сторону синего. Установлено кратное увеличение содержания фенольных соединений в продуктах, содержащих ягоду брусники. Отмечено, что при этом потери фенольных веществ в результате экструдирования увеличиваются с повышением доли ягод в рецептуре с 9 до 55 %. Максимальной дегустационной оценке соответствует образец с 5 % ягоды брусники.

Выводы. С учетом потерь фенольных соединений и изменения структурно-механических свойств получаемых экструдатов внесение более 5 % ягод брусники в экструдированные смеси нецелесообразно.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

экструзия, режимы, структурно-механические свойства, брусника, *Vaccinium vitis-idaea*, фенольные соединения, пищевые волокна, готовые к употреблению продукты, пище-концентраты

The Use of Cranberries in Extruded Products Ready for Consumption

VNIIPBT – branch of Federal State
Budgetary Scientific Institution
«Federal Research Centre of Nutrition,
Biotechnology and Food Safety

Anton Yu. Sharikov, Elena N. Sokolova, Maria V. Amelyakina,
Daria V. Polivanovskaya, Elena M. Serba

CORRESPONDENCE:

Maria V. Amelyakina

4B, Samokatnaya Str., Moscow,
111033, Russian Federation
E-mail: masha.am@mail.ru

FOR CITATIONS:

Sharikov, A. Yu., Sokolova, E. N.,
Amelyakina, M. V., Polivanovskaya, D. V.,
& Serba E. M. (2022). The use of
cranberries in extruded products ready
for consumption. *Storage and processing
of Farm Products*, (4), 191–200.
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.379>

RECEIVED: 01.10.2022

ACCEPTED: 10.10.2022

PUBLISHED: 14.10.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction. The use of berries and products of their processing in the formulations of ready-to-eat products obtained by extrusion is a promising direction for increasing the nutritional value by increasing the content of dietary fiber, phenolic compounds and other biologically active substances. Lingonberry is a traditional berry for consumption in Russia, which exhibits anti-inflammatory, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative properties.

Purpose. To expand the range of ready-to-eat products and increase their nutritional value, extruded products with the addition of lingonberries without prior drying have been developed, the effect of the dosage of lingonberries in an extrudable mixture based on rice groats on the extrusion process, consumer properties of the resulting products and the content of phenolic compounds has been studied.

Materials and methods. Mountain cranberries (lingonberries) were introduced into the extruded mixture based on rice groats in an amount of up to 15 %. The mixtures were processed on a twin-screw extruder in the temperature range of 150–165 °C and the influence of the lingonberry content in the recipe on the regime parameters of extrusion, nutritional value indicators, structural-mechanical, color and organoleptic characteristics of the extrudates was evaluated.

Results. It has been established that with an increase in the proportion of lingonberries in the recipe of the processed mixture, the main technological parameters of the process decrease: temperature, shear deformation moment and pressure in the installation chamber, which is associated with an increase in the total moisture content in the extruder chamber. An instrumental assessment of the structural and mechanical properties showed that the introduction of up to 10% lingonberries does not significantly affect the hardness of the product granules and the number of microfractures, an indirect indicator of the product's porosity. A higher content almost doubles the hardness of the extrudate from 6.2 to 11.7 N. With an increase in the proportion of berries in the recipe, the chromatic components of the color change significantly: the chromatic component "a" towards red from 0.32 to 8, the chromatic component "b" is less intense towards blue. A multiple increase in the content of phenolic compounds in products containing lingonberries has been established. It is noted that in this case, the loss of phenolic substances as a result of extrusion increases with an increase in the proportion of berries in the recipe from 9 to 55 %. The maximum tasting score corresponds to a sample with 5 % lingonberries.

Conclusions. Taking into account the loss of phenolic compounds and changes in the structural and mechanical properties of the obtained extrudates, the introduction of more than 5% of lingonberries into extruded mixtures is not advisable.

KEYWORDS

extrusion, modes, structural and mechanical properties, lingonberries, mountain cranberries, *Vaccinium vitisidaea*, phenolic substances, dietary fiber, ready-to-eat products

ВВЕДЕНИЕ

Основным сырьем для производства востребованных потребителями продуктов, готовых к употреблению, таких как сухие завтраки, снеки, является крахмалсодержащее сырье. Основным способом производства такой продукции вследствие ряда технологических преимуществ является варочная экструзия (Adekola, 2016; Navale et al., 2015). Важным негативным аспектом пищевой ценности экструдированных продуктов, произведенных из ингредиентов с высокой степенью переработки, является их высокий гликемический индекс, низкое содержание фенольных соединений, витаминов и микронутриентов (Al-Rabadi et al., 2011; Brennan et al., 2013). Поэтому разработка новых экструдированных продуктов, готовых к употреблению и обогащенных различными нутриентами, является актуальной задачей (Brennan et al., 2012; Brennan et al., 2013). Для повышения пищевой ценности экструдированных продуктов может использоваться различное плодово-ягодное сырье или продукты его переработки в виде экстрактов, жмыхов и т.д. (Hirth et al., 2014; Pranabendu et al., 2022; Schmid et al., 2021; Lohani & Muthukumarappan, 2017). Такие ингредиенты могут оказывать различное влияние на пищевую ценность и органолептические показатели экструдатов. Например, снижение содержания крахмала — основного структурообразователя в данной продукции может негативно повлиять на текстурные свойства (Moraru & Kokini, 2003). Добавление плодово-ягодного сырья и увеличение его концентрации в рецептурах повышает содержание пищевых волокон, фенольных соединений, антоцианы сырья могут выступать в качестве натуральных красителей (Brennan et al., 2011; Schmid et al., 2021).

В аспекте содержания некрахмалистых углеводов известно (Brennan et al., 2011; Шариков & Амелякина, 2021), что в экструдатах относительно исходных смесей наблюдается увеличение доли растворимых пищевых волокон. Степень модификации и изменение содержания фенольных соединений в экструдатах зависят от химического состава перерабатываемых смесей и режимов экструзии.

В различных работах отмечается как отсутствие влияния на класс фенольных соединений в перерабатываемом сырье, так и их значимое уменьшение под влиянием комплексного гидротермомеханического экструзионного воздействия (Hirth et al., 2014; Pranabendu et al., 2022; Schmid et al., 2021).

Брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) является одной из наиболее богатых фенольными соединениями ягодой, источником биологически активных веществ, обладающих противовоспалительным, антиоксидантным, противораковым, нейропротекторным, антицитокинным и антиапоптотическим действием (Drózd et al., 2017; Shamilov et al., 2020; Kowalska, 2021). Ее использование в продуктах, готовых к употреблению, позволит повысить их пищевую ценность и расширить ассортимент в товарной категории данной продукции.

Целью настоящего исследования являлись разработка экструдированных продуктов с добавлением ягод брусники, как источника фенольных соединений и пищевых волокон, и изучение влияния содержания брусники в экструдированных смесях на режимы экструзии, потребительские свойства экструдатов и их пищевую ценность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Объектами исследования являлись смеси ингредиентов с варьированием дозировки брусники, экструдаты, полученные из данных смесей.

Материалы

При производстве экструдированных продуктов использовали крупу рисовую (ГОСТ 6292–93¹), бруснику замороженную (ГОСТ 33823–2016²), соль (ГОСТ Р 51574–2018³), стабилизатор карбонат кальция (ТР ТС 029/2012⁴).

¹ ГОСТ 6292–93. (2010). *Крупа рисовая. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ 33823–2016. (2016). *Фрукты быстрозамороженные. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

³ ГОСТ Р 51574–2018. (2018). *Соль пищевая. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

⁴ ТР ТС 029/2012. (2012). *Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств*. <https://docs.cntd.ru/document/902359401>

Оборудование

Анализатор влажности ML-50 (A&D, Япония), анализатор текстуры CT3 (Brookfield, USA), анализатор цвета CS-10 (Hangzhou CHNSpec Technology, Китай), спектрофотометр Specord 50 Analytic Yena (Германия), экструдер Werner&Phleiderer Continua 37 (Германия).

Методы и процедура исследования

Базовая сухая смесь включала 98,5 % рисовой крупы, 0,5 % соли и 1,5 % карбоната кальция. Бруснику вносили в количестве 5, 10 и 15 %. Экструдированные продукты получали с использованием двухшнекового экструдера Werner&Phleiderer Continua 37 с диаметром шнека 37 мм и соотношением диаметра к длине шнека 1:27 и установленной фильерой с двумя отверстиями прямоугольного сечения со сторонами 12 и 1,5 мм. Коэффициент взрыва экструдатов рассчитывали по соотношению площадей сечения экструдата и отверстия фильеры.

Термогравиметрическим методом с использованием анализатора ML-50 (A&D, Япония) определяли влажность исходных смесей и полученных продуктов. Изменение структурно-механических свойств оценивали с помощью анализатора текстуры Brookfield CT3 Texture Analyser, оснащенного металлическим цилиндрическим зондом диаметром 3 мм, работающего на глубину прокола 3 мм со скоростью 0,5 мм/с. В качестве инструментальных показателей структурно-механических свойств рассматривали твердость, характеризующую максимальную нагрузку, имитирующую сжатие образца между зубами, и количество микро-разломов, косвенно характеризующее пористость экструдатов (Van Hecke et al., 1998; Шариков&Степанов, 2015). Цветовые характеристики экструдата определяли колориметрическим методом с использованием анализатора CS-10 (Hangzhou CHNSpec Technology, Китай) в системе CIE LAB, где L^* — является характеристикой светлоты от 0 до 100, a^* — хроматическая составляющая в диапазоне от зеленого до красного, b^* — хроматическая составляющая в диапазоне от синего до желтого (Yu et al., 2021). Хроматические составляющие огра-

ничены диапазоном значений $-100 / + 100$. Инструментальные измерения проводили в 10-и повторностях.

Определение суммарного содержания фенольных соединений в экструдатах осуществляли спектрофотометрическим методом с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу (Денисенко и соавт., 2015) на спектрофотометре Specord 50 Analytic Yena при длине волны 720 нм.

Пищевые волокна определяли по ферментативно-гравиметрическим методом согласно ГОСТ Р 54014–2010⁵. Органолептический анализ проводился 9 дегустаторами, для которых были разработаны дескрипторы, описывающие следующие характеристики продукции: общая привлекательность, текстура, вкус, запах, горечь, цвет. Каждый дескриптор оценивался по 5-и бальной гедонистической шкале, где максимальному значению соответствовали наиболее привлекательные для дегустатора признаки.

Анализ данных

Достоверность различий средних проводили методом дисперсионного анализа с применением апостериорного анализа по критерию Тьюки при $p < 0,05$ с использованием пакета программ Statistica 6.0

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках экспериментальной работы ягоды брусники вносили в смеси на основе рисовой крупы в количестве до 15 %, далее проводили экструдирование, в процессе которого фиксировали изменение режимных параметров переработки. Полученные экструдаты подсушивали и затем определяли их структурно-механические, цветовые характеристики, содержание фенольных соединений и пищевых волокон, органолептические показатели.

В Таблице 1 представлены данные по изменению режимных параметров экструзии в зависимости от содержания ягодного сырья в экструдруемой

⁵ ГОСТ Р 54014–2010. (2019). *Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом*. М.: Стандартинформ.

Таблица 1

Режимные параметры экструзии

Образец	Производительность	Влагосодержание	Температура	Момент сдвига	Давление
	кг/час	%	°C	%	МПа
Контроль	15,5	15,1 ± 0,4a	165 ± 2a	74 ± 3a	2,8 ± 0,2a
5% брусники	15,5	15,1 ± 0,3a	164 ± 2a	74 ± 3a	2,5 ± 0,2a
10% брусники	15,5	18,4 ± 0,5	150 ± 2b	52 ± 2	1,0 ± 0,1
15% брусники	15,5	24,1 ± 0,5	154 ± 3b	32 ± 2	0,6 ± 0,1

* Различие значений, отмеченных одинаковыми буквенными символами для каждой диаграммы, статистически незначимо при $p < 0,05$.

Таблица 2

Влияние дозировки брусники на структурно-механические и цветовые характеристики экструдатов

Образец	Коэф. взрыва	Твердость, Н	Кол-во микроразломов	Цветовые характеристики		
				L	a	b
Контроль	13,7 ± 1,1a	6,2 ± 1,2a	9,2 ± 1,7a	52,8 ± 1,7a	0,32 ± 0,2	2,0 ± 0,8a
Брусника 5%	12,3 ± 1,3ab	6,2 ± 1,6a	9,3 ± 1,2a	52,8 ± 1,7a	2,9 ± 0,4	1,8 ± 1,1a
Брусника 10%	11,3 ± 0,8b	7,3 ± 1,4a	7,4 ± 2,2a	52,6 ± 0,9a	6,2 ± 0,5	0,4 ± 0,1b
Брусника 15%	4,2 ± 0,5	11,7 ± 2,5	2,9 ± 1,2	53,5 ± 0,8a	8,01 ± 0,6	0,5 ± 0,3b

* Различие значений, отмеченных одинаковыми буквенными символами для каждой диаграммы, статистически незначимо при $p < 0,05$.

смеси. Отмечаемое значимое влияние дозировки брусники на показатели экструзии: снижение давления, крутящего момента, температуры, связано прежде всего с увеличением влагосодержания, которое определяет характер сдвиговых деформаций в камере экструдера при переработке смесей.

Установлено, что внесение 5 % ягод брусники не оказывает значимого влияния на режимы экструзии, дальнейшее же повышение вызывает снижение температуры со 165 °C до 150–154 °C, крутящий момент с 74 % до 52 %, и далее до 32 %. При этом самое сильное относительное изменение наблюдается для давления. Увеличение содержания ягодного

сырья в смеси с 5 до 15 % вызвало снижение давления с 2,5 до 0,6 МПа. На Рисунке 1 представлены фотографии полученных экструдатов, на которых даже визуально можно определить характер влияния дозировки брусники на органолептические свойства экструдатов.

В Таблице 2 представлены результаты инструментальных исследований структурно-механических свойств и цветовых характеристик полученных образцов продукта.

Внесение и повышение содержания брусники до 15 % в рецептурной смеси значимо, практически

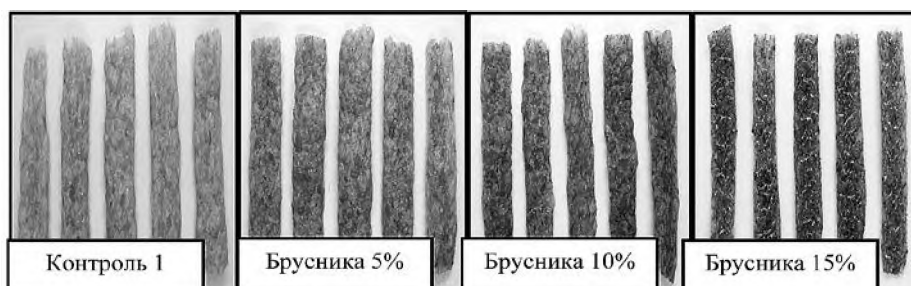


Рисунок 1

Экструдированные продукты с добавлением ягод брусники

в 3 раза, снижает коэффициент взрыва, характеризующий расширение стренга экструдата, выходящего из отверстий фильеры экструдера. На таком же уровне, с 9,2 до 2,9, установлено снижение количеств микроразломов, характеризующее пористость продукта. При этом увеличивается твердость продукта с 6,2 до 11,7 Н. Отмечено, что внесение 5 и 10% ягод брусники не значительно изменяет показатели текстуры относительно контрольного образца. Анализ изменения цветовых характеристик показывает, что показатель светлоты продукта не зависит от внесения ягод в рецептуру, увеличение их дозировки повышает значение хроматической составляющей «а» в сторону красного цвета с 0,32 до 8. Хроматическая составляющая «b» значительно снижается относительно контроля, но незначимо внутри группы образцов, содержащих бруснику.

На рисунке 2 представлено изменение содержания фенольных соединений и пищевых волокон в экструдате.

Из диаграммы видно, что статистически значимое увеличение содержания пищевых волокон с 3,2 до 3,6 г в 100 г экструдата отмечено при внесении в рецептуру 15% ягод брусники. Внесение 5 и 10% ягод изменяет содержание пищевых волокон незначимо. Для контрольной смеси и соответствующего ей экструдата значение содержания фенольных соединений незначимо и в среднем составляет 0,01 мг/г сухих веществ (СВ). Внесение брусники заметно увеличивает содержание фенольных соединений в исходных смесях и экструдатах относительно контроля до значений 0,24–0,68 мг/г СВ, которое повышается с ростом дозировки ягод. Но отмечено негативное влияние гидротермомеха-

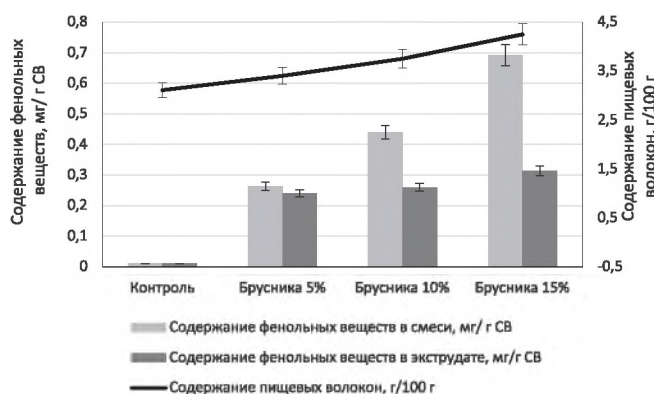


Рисунок 2

Содержание фенольных веществ и пищевых волокон

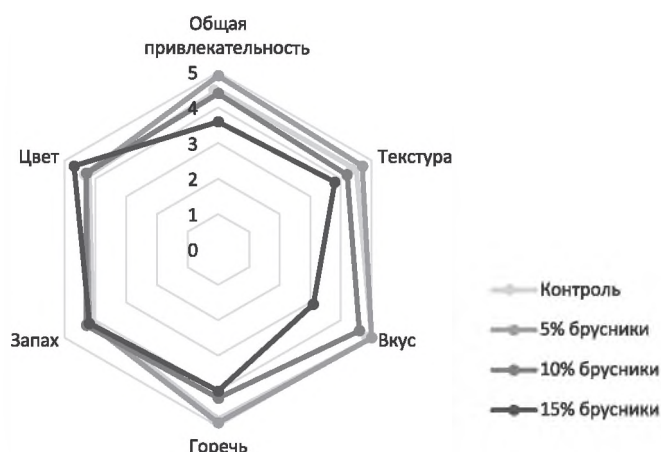


Рисунок 3

Дегустационная оценка экструдированных продуктов

нического воздействия на содержание фенольных соединений в образцах с брусникой. При этом потери увеличиваются с ростом начального количества фенолов. Так, для продукта с 5% содержанием брусники концентрация фенольных соединений в результате экструзии снижается на 9%, а для 15% — уже на 55%.

На Рисунке 3 представлена профилограмма результатов органолептического анализа экструдатов, по результатам которого суммарную максимальную оценку получил продукт с внесением 5% брусники, которая составила 28 баллов. Минимальная суммарная оценка соответствовала 15% внесению ягод в смесь. Единственный параметр, по которому данный образец имел преимущество, — это цвет, интенсивный, характерный для брусники.

Обсуждение полученных результатов

Брусника является перспективным источником биологически активных веществ, имеющим потенциал практического применения в пищевой промышленности и фармацевтике (Лютикова & Ботиров, 2015; Shamilov et al., 2020). Отмечается как высокое содержание органических кислот и фенольных соединений, так и колебание их концентраций в широких пределах. Содержание полифенольных соединений в бруснике зависит от времени сбора (Bujor et al., 2018) и может достигать 1900 мг/100 г свежих ягод, количество антоцианов и лейкоантоцианов колебаться в диапазоне 180–530 и 150–1060 мг/100 г, соответственно,

катехинов — 20–1090 мг/100 г (Лютикова & Ботиров, 2015).

Сохранение фенольных соединений в составе экструдированных продуктов в результате достаточно жестких условий гидротермомеханической обработки в процессе экструзии является важным аспектом использования ягодного сырья в рецептурах сухих завтраков, снеков и других пищевых концентратах. Из литературы известно, что нет четко установленных тенденций изменения фенольного состава в экструдированных продуктах, как в результате экструзии, так и в зависимости от ее режимов, варьирования температуры, влагосодержания (Brennan et al., 2011). Например, при экструдировании смесей красной фасоли с крахмалом наблюдалось 70 % снижение содержания фенольных соединений, а при экструдировании аналогичных смесей с фасолью жемчужной — только 10 % (Anton et al., 2009). Экструзия овса вызвала снижение общего содержания фенольных соединений на 24–46 % (Viscidi et al., 2004).

Оценка сохранности фенольных соединений при различных режимах экструзии смесей крахмала и жмыха клюквы показала увеличение содержания флавонолов на 30–34 % (White et al., 2010), а максимальная сохранность антоцианов наблюдалась при 150 °C и 30 % жмыха — наименьшей в опыте концентрации вносимого в экструдированную смесь ягодного сырья.

Исследование влияния режимов экструзии на изменение содержания антоцианов, процианидинов и гидроксикоричных кислот смесей крахмала и жмыхов рябины показало, что варьирование скорости вращения шнеков в диапазоне 300 и 500 об/мин, температуры 100–140 °C и влагосодержания 15–22 % не оказывало значимого влияния на сохранение процианидинов и гидроксикоричных кислот (Hirth et al., 2015). Более высокая скорость шнека увеличивала удельную механическую энергию и температуру процесса, что привело к потере антоцианов, сохранность которых находилась в обратной корреляционной зависимости от температуры экструзии. Максимальная сохранность цианидиновых гликозидов, составившая 60 %, была отмечена при самом высоком содержании воды 22 %. Высокую сохранность фенольных соединений 91–99 % в процессе экструзии показала переработка кукурузного крахмала с 2 % экстракта черники в широ-

ких пределах варьирования режимами — скорости вращения шнеков 180–270 об/мин, влажности 18–28 %, температуры 100–160 °C (Hirth et al., 2015). Сохранность антоцианов при этом колебалась в более широких пределах 49–90 %.

В условиях нашего эксперимента сохранность фенольных соединений при 5 % внесении ягод брусники составила 91 %, а при 15 % — только 45 %. Таким образом, показано, что добавление в рецептуру более 5 % ягод не является целесообразным в аспекте повышения пищевой ценности за счет фенольных соединений. Чтобы добиться значимого увеличения содержания пищевых волокон необходимо внесение 15 % ягод.

С ростом дозировки ягод отмечаются негативные тенденции для потребительских характеристик продукта, повышение твердости, снижение пористости, ухудшение общей органолептической оценки. Такие результаты коррелируют с аналогичными исследованиями, например, при экструдировании смесей рисовой муки и жмыха клюквы, добавляемого к рисовой муке в количестве до 25 %, отмечалось увеличение твердости экструдатов с 23 до 157 Н (Pranabendu et al., 2022). Это обусловлено увеличением влажности экструдированной смеси за счет повышения доли ягод в рецептуре и соответствующим влиянием данного параметра на режимы экструзии и на структурно-механические свойства экструдатов.

ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования подтверждена возможность использования ягод брусники в технологии экструзионных продуктов, готовых к употреблению. Повышение содержания ягод в перерабатываемой смеси снижает температуру экструзии, момент сдвига и давление в камере установки. По результатам инструментального анализа структурно-механических свойств показано, что внесение до 10 % ягод брусники незначимо влияет на твердость гранул продукта и количество микроразломов в тестах, имитирующих раскусывание образца. Хроматические составляющие цвета продукта значительно изменяются с повышением дозировки ягод, хроматическая составляющая «а» в сторону красного цвета с 0,32 до 8, хроматическая составляющая «b» менее интенсивно в сторону синего. Установ-

лено снижение содержания фенольных соединений в результате экструзии, при этом потери увеличиваются с повышением содержания ягод в рецептуре, следовательно, рационально добавлять не более 5 % ягод в экструдруемую смесь. Данной рекомендации, соответствует и максимальная суммарная дегустационная оценка образцу с 5 % ягоды брусники.

Полученные результаты исследования показывают, что влагосодержание смеси, обусловленное увеличением содержания ягод брусники в рецептуре, негативно влияет на структурно-механические показатели продукции. В связи с этим перспективным направлением исследований является разработка экструзионных технологий с использованием продуктов переработки ягод брусники, например, жмыхов после отжима сока. Это позволит снизить количество воды, вносимой с ингредиентом в экструдруемую смесь, что положительно скажется на структурно-механических свойствах, и, что яв-

ляется важным фактором повышения экологизации и ресурсосбережения переработки ягод, утилизировать влажные отходы производства.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Шариков А. Ю.: концептуализация; проведение исследования; формальный анализ; создание рукописи и ее редактирование.

Соколова Е. Н.: проведение исследования

Амелякина М. В.: проведение исследования; создание рукописи и ее редактирование.

Поливановская Д. В.: проведение исследования; визуализация данных.

Серба Е. М.: руководство исследованием.

ЛИТЕРАТУРА

- Денисенко, Т. А., Вишникин, А. Б., & Цыганок, Л. П. (2015). Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу. *Аналитика и контроль*, 19(4), 373–380. <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.4.012>
- Лютикова, М. Н., & Ботиров, Э. Х. (2015). Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы. *Химия растительного сырья*, (2), 5–27. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201502429>
- Шариков, А. Ю., & Степанов, В. И. (2015). Инструментальные методы исследования текстуры экструдированных продуктов. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, (5), 3–9.
- Шариков, А. Ю., & Амелякина, М. В. (2021). Модификация углеводов сельскохозяйственного сырья в процессе термопластической экструзии (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, 22(6), 795–803. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.795-803>
- Adekola, K. A. (2016). Engineering review food extrusion technology and its applications. *Journal of Food Science and Engineering*, 6, 149–168. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.03.005>
- Al-Rabadi, G. J., Torley, P. J., Williams, B. A., Bryden, W. L., & Gidley, M. J. (2011). Effect of extrusion temperature and pre-extrusion particle size on starch digestion kinetics in barley and sorghum grain extrudates. *Animal Feed Science and Technology*, 168(3–4), 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2011.04.097>
- Anton, A. A., Fulcher, R. G., & Arntfield, S. D. (2009). Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, 113(4), 989–996. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.050>
- Brennan, C. S., Brennan, M. A., Derbyshire, E. J., & Tiwari, B. K. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 22(10), 570–575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.007>
- Brennan, M. A., Derbyshire, E., Brennan, C. S., & Tiwari, B. K. (2012). Impact of dietary fibre-enriched ready to eat extruded snacks on the postprandial glycaemic response of non-diabetic patients. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56(5), 834–837. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100760>
- Brennan, M. A., Derbyshire, E. J., Tiwari, B. K., & Brennan, C. S. (2013). Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(5), 893–902. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
- Bujor, O. C., Ginies, C., Popa, V. I., & Dufour, C. (2018). Phenolic compounds and antioxidant activity of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) leaf, stem and fruit at different harvest periods. *Food chemistry*, 252, 356–365. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.052>
- Drózd, P., Šežienė, V., & Pyrzynska, K. (2017). Phytochemical properties and antioxidant activities of extracts from wild blueberries and lingonberries. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(4), 360–364. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0640-3>
- Hirth, M., Leiter, A., Beck, S. M., & Schuchmann, H. P. (2014). Effect of extrusion cooking process parameters on the

- retention of bilberry anthocyanins in starch based food. *Journal of Food Engineering*, 125(1), 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.034>
- Hirth, M., Preiß, R., Mayer-Miebach, E., & Schuchmann, H. P. (2015). Influence of HTST extrusion cooking process parameters on the stability of anthocyanins, procyanidins and hydroxycinnamic acids as the main bioactive chokeberry polyphenols. *LWT — Food Science and Technology*, 62(1), 511–516. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.032>
- Kowalska, K. (2021). Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) Fruit as a source of bioactive compounds with health-promoting effects—a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(10), Article 5126. <https://doi.org/10.3390/ijms22105126>
- Lohani, U. C., & Muthukumarappan, K. (2017). Effect of extrusion processing parameters on antioxidant, textural and functional properties of hydrodynamic cavitated corn flour, sorghum flour and apple pomace-based extrudates. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), Article e12424. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12424>
- Moraru, C. I., & Kokini, J. L. (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 147–165. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00020.x>
- Lovegrove, A., Edwards, C. H., de Noni, I., Patel, H., El, S. N., Grassby, T., Zielke, C., Ulmius, M., Nilsson, L., Butterworth, P. J., Ellis, P. R., & Shewry, P. R. (2017). Role of polysaccharides in food, digestion, and health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 237–253. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.939263>
- Navale, S. A., Swami, S. B. & Thakor, N. J. (2015). Extrusion cooking technology for foods: A review. *Journal of Ready to Eat Food*, 2(3), 66–80.
- Pranabendu, M., Sagar, K., Sai, S., & Kaushal, S. (2022). Conversion of industrial food wastes cranberry pomace into foods blending with rice flour using single-screw extrusion process. *Journal of Food Industry*, 5(1), 44–61. <https://doi.org/10.5296/jfi.v5i1.19427>
- Shamilov, A. A., Bubenchikova, V. N., Chernikov, M. V., Pozdnyakov, D. I., & Garsiya, E. R. (2020). *Vaccinium Vitis-idaea* L.: Chemical contents, pharmacological activities. *Pharmaceutical Sciences*, 26(4), 344–362. <https://doi.org/10.34172/PS.2020.54>
- Shmid, V., Steck, J., Mayer-Miebach, E., Behnslian, D., Bunzel, M., Karbstein, H. P., & Emin, M. A. (2021). Extrusion processing of pure chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace: Impact on dietary fiber profile and bioactive compounds. *Foods*, 10(3), Article 518. <https://doi.org/10.3390/foods10030518>
- Van Hecke, E., Allaf, K., & Bouvier, J. M. (1998). Texture and structure of crispy-puffed food products. Mechanical properties in puncture. *Journal of Texture Studies*, 29(6), 617–632. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1998.tb00189.x>
- Viscidi, K. A., Dougherty, M. P., Briggs, J., & Camire, M. E. (2004). Complex phenolic compounds reduce lipid oxidation in extruded oat cereals. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie-Food Science and Technology*, 37(7), 789–796. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.005>
- White, B. L., Howard, L. R., & Prior, R. L. (2010). Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4037–4042. <https://doi.org/10.1021/jf902838b>
- Yu, H., Liu, H., Erasmus, S. W., Zhao, S., Wang, Q., & Van Ruth, S. M. (2021). An explorative study on the relationships between the quality traits of peanut varieties and their peanut butters. *LWT — Food Science and Technology*, 151, Article 112068. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112068>

REFERENCES

- Denisenko, T. A., Vishnikin, A. B., & Tsyganok, L. P. (2015). Spektrofotometricheskoe opredelenie summy fenol'nykh soedinenii v rastitel'nykh ob'ektakh s ispol'zovaniem khlorida alyuminiya, 18-molibdodifosfata i reaktiva Folina-Chokal'teu [Spectrophotometric determination of the amount of phenolic compounds in plant objects using aluminum chloride, 18-molybdenum diphosphate and Folin-Chocalteu reagent]. *Analitika i kontrol' [Analytics and Control]*, 19(4), 373–380. <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.4.012>
- Lyutikova, M. N., & Botirov, E. Kh. (2015). Khimicheskii sostav i prakticheskoe primenenie yagod brusniki i klyukvy [Chemical composition and practical application of cranberries and cranberries]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of Plant Raw Materials]*, (2), 5–27. <https://doi.org/10.14258/jcpm.201502429>
- Sharikov, A. Yu., & Amelyakina, M. V. (2021). Modifikatsiya uglevodov sel'skokhozyaistvennogo syr'ya v protsesse termoplasticheskoi ekstruzii (obzor) [Modification of carbohydrates of agricultural raw materials in the process of thermoplastic extrusion (review)]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka [Agricultural Science of the Euro-North-East]*, 22(6), 795–803. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.795-803>
- Sharikov, A. Yu., & Stepanov, V. I. (2015). *Instrumental'nye metody issledovaniya tekstury ekstrudirovannykh produktov* [Instrumental methods for studying the texture of extruded products]. Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov [Technology and Commodity Science of Innovative Food Products], (5), 3–9.
- Adekola, K. A. (2016). Engineering review food extrusion technology and its applications. *Journal of Food Science and Engineering*, 6, 149–168. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.03.005>
- Al-Rabadi, G. J., Torley, P. J., Williams, B. A., Bryden, W. L., & Gidley, M. J. (2011). Effect of extrusion temperature and pre-extrusion particle size on starch digestion kinetics in barley and sorghum grain extrudates. *Animal Feed Science and Technology*, 168(3–4), 267–279. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2011.04.097>
- Anton, A. A., Fulcher, R. G., & Arntfield, S. D. (2009). Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus*

- vulgaris L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, 113(4), 989–996. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.050>
- Brennan, C. S., Brennan, M. A., Derbyshire, E. J., & Tiwari, B. K. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 22(10), 570–575. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.007>
- Brennan, M. A., Derbyshire, E., Brennan, C. S., & Tiwari, B. K. (2012). Impact of dietary fibre-enriched ready to eat extruded snacks on the postprandial glycaemic response of non-diabetic patients. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56(5), 834–837. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100760>
- Brennan, M. A., Derbyshire, E. J., Tiwari, B. K., & Brennan, C. S. (2013). Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(5), 893–902. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
- Bujor, O. C., Ginies, C., Popa, V. I., & Dufour, C. (2018). Phenolic compounds and antioxidant activity of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) leaf, stem and fruit at different harvest periods. *Food chemistry*, 252, 356–365. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.052>
- Drózdź, P., Šežienė, V., & Pyrzynska, K. (2017). Phytochemical properties and antioxidant activities of extracts from wild blueberries and lingonberries. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(4), 360–364. <https://doi.org/10.1007/s11130-017-0640-3>
- Hirth, M., Leiter, A., Beck, S. M., & Schuchmann, H. P. (2014). Effect of extrusion cooking process parameters on the retention of bilberry anthocyanins in starch based food. *Journal of Food Engineering*, 125(1), 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.034>
- Hirth, M., Preiß, R., Mayer-Miebach, E., & Schuchmann, H. P. (2015). Influence of HTST extrusion cooking process parameters on the stability of anthocyanins, procyanidins and hydroxycinnamic acids as the main bioactive chokeberry polyphenols. *LWT — Food Science and Technology*, 62(1), 511–516. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.032>
- Kowalska, K. (2021). Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) Fruit as a source of bioactive compounds with health-promoting effects—a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(10), Article 5126. <https://doi.org/10.3390/ijms22105126>
- Lohani, U. C., & Muthukumarappan, K. (2017). Effect of extrusion processing parameters on antioxidant, textural and functional properties of hydrodynamic cavitated corn flour, sorghum flour and apple pomace-based extrudates. *Journal of Food Process Engineering*, 40(3), Article e12424. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12424>
- Moraru, C. I., & Kokini, J. L. (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 147–165. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00020.x>
- Lovegrove, A., Edwards, C. H., de Noni, I., Patel, H., El, S. N., Grassby, T., Zielke, C., Ulmius, M., Nilsson, L., Butterworth, P. J., Ellis, P. R., & Shewry, P. R. (2017). Role of polysaccharides in food, digestion, and health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 237–253. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.939263>
- Navale, S. A., Swami, S. B. & Thakor, N. J. (2015). Extrusion cooking technology for foods: A review. *Journal of Ready to Eat Food*, 2(3), 66–80.
- Pranabendu, M., Sagar, K., Sai, S., & Kaushal, S. (2022). Conversion of industrial food wastes cranberry pomace into foods blending with rice flour using single-screw extrusion process. *Journal of Food Industry*, 5(1), 44–61. <https://doi.org/10.5296/jfi.v5i1.19427>
- Shamilov, A. A., Bubenchikova, V. N., Chernikov, M. V., Pozdnyakov, D. I., & Garsiya, E. R. (2020). *Vaccinium Vitis-idaea* L.: Chemical contents, pharmacological activities. *Pharmaceutical Sciences*, 26(4), 344–362. <https://doi.org/10.34172/PS.2020.54>
- Shmid, V., Steck, J., Mayer-Miebach, E., Behnlian, D., Bunzel, M., Karbstein, H. P., & Emin, M. A. (2021). Extrusion processing of pure chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace: Impact on dietary fiber profile and bioactive compounds. *Foods*, 10(3), Article 518. <https://doi.org/10.3390/foods10030518>
- Van Hecke, E., Allaf, K., & Bouvier, J. M. (1998). Texture and structure of crispy-puffed food products. Mechanical properties in puncture. *Journal of Texture Studies*, 29(6), 617–632. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1998.tb00189.x>
- Viscidi, K. A., Dougherty, M. P., Briggs, J., & Camire, M. E. (2004). Complex phenolic compounds reduce lipid oxidation in extruded oat cereals. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie-Food Science and Technology*, 37(7), 789–796. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.005>
- White, B. L., Howard, L. R., & Prior, R. L. (2010). Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4037–4042. <https://doi.org/10.1021/jf902838b>
- Yu, H., Liu, H., Erasmus, S. W., Zhao, S., Wang, Q., & Van Ruth, S. M. (2021). An explorative study on the relationships between the quality traits of peanut varieties and their peanut butters. *LWT — Food Science and Technology*, 151, Article 112068. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112068>