

Моделирование технологии получения экструдированной композитной смеси зерна пшеницы и косточек винограда

Курочкин А.А., Кручинина Н.Э.

Аннотация. Современный подход к производству обогащенных и функциональных пищевых продуктов предполагает применение в рецептурах изделий ингредиентов, оказывающих положительное влияние на организм человека. Обычно к ним относят пищевые волокна, витамины, минеральные вещества, полиненасыщенные жирные кислоты, пробиотики, пребиотики и синбиотики. Виноградные косточки являются типичным примером чрезвычайно полезного вторичного сырья, содержащего многие из перечисленных ингредиентов. В статье представлен материал, позволяющий устранить недостатки, ранее выявленные в процессе применения семечек винограда в качестве пищевой функциональной добавки. Для этого на основе экспериментальных данных была получена и проанализирована модель, характеризующая технологический процесс получения экструдированной композитной смеси зерна пшеницы и косточек винограда. Представлены рациональные технологические параметры экструдера, позволяющие получить необходимую пористость готовой экструдированной композитной смеси.

Ключевые слова: экструдированная композитная смесь, зерно пшеницы, семечки винограда, экструдер, модель.

Для цитирования: Курочкин А.А., Кручинина Н.Э. Моделирование технологии получения экструдированной композитной смеси зерна пшеницы и косточек винограда // Инновационная техника и технология. 2021. Т. 8. № 4. С. 10–15.

Modeling of technology for producing an extruded composite mixture of wheat grain and grape seeds

Kurochkin A.A., Kruchinina N.E.

Abstract. The modern approach to the production of enriched and functional foods involves the use of ingredients in the formulations of products that have a positive effect on the human body. These usually include dietary fiber, vitamins, minerals, polyunsaturated fatty acids, probiotics, prebiotics and synbiotics. Grape seeds are a typical example of an extremely useful secondary raw material containing many of the listed ingredients. The article presents a material that allows to eliminate the shortcomings previously identified in the process of using grape seeds as a functional food additive. For this purpose, based on experimental data, a model was obtained and analyzed that characterizes the technological process of obtaining an extruded composite mixture of wheat grain and grape seeds. The rational technological parameters of the extruder are presented, which allow obtaining the necessary porosity of the finished extruded composite mixture.

Keywords: extruded composite mixture, wheat grain, grape seeds, extruder, model.

For citation: Kurochkin A.A., Kruchinina N.E. Modeling of technology for producing an extruded composite mixture of wheat grain and grape seeds. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2021. Vol. 8. No. 4. pp. 10–15. (In Russ.).

Введение

В настоящее время в производстве обогащенных и функциональных пищевых продуктов отмечается весьма устойчивая тенденция применения в рецептурах изделий нетрадиционных видов рас-

тительного сырья, являющегося источником ингредиентов, положительно влияющих на организм человека. Обычно к ним относят пищевые волокна, витамины, минеральные вещества, полиненасыщенные жирные кислоты, пробиотики, пребиотики и синбиотики. Следует отметить, что широкому

вовлечению в хозяйственный оборот указанных ингредиентов зачастую препятствует высокая стоимость сырья, из которого их получают, или ограничения, связанные с недостаточно эффективными методами его переработки.

Виноградные косточки являются типичным примером чрезвычайно полезного вторичного сырья, требующего разработки технологических решений, позволяющих задействовать весь спектр содержащихся в нем полезных веществ [1, 2].

Известно, что семена винограда (виноградные косточки) содержат в своем составе белки, липиды, углеводы, вещества, обладающие Р-витаминной активностью (эпикатехин, рутин, органические кислоты), а также витамины, провитамины, макро- и микроэлементы. В сочетании с этим углеводы семян содержат практически все группы пищевых волокон – пектин, протопектин, целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин. По содержанию витамина Е, ненасыщенных жирных кислот (НЖК), фитостероидов и пищевых волокон продукты переработки виноградных косточек могут быть отнесены к группе функциональных пищевых добавок [4-6].

Накопленный к настоящему времени опыт применения виноградных семечек в технологиях продуктов питания позволяет рекомендовать их в качестве пищевой добавки в виде измельченной массы без выделения из нее липидов.

Вместе с тем практическая реализация такого подхода к применению данного сырья имеет существенные недостатки, связанные со строением виноградной косточки (семечки) и высоким содержанием в них дубильных веществ.

Первый недостаток вытекает из особенности углеводов, входящих в состав виноградных косточек: они содержат относительно много лигнина – до 40 % [1]. Измельчение лигнина до приемлемого размера частиц – технически сложная задача, связанная с повышенными затратами энергии на реализацию технологического процесса (при невысоком качестве готового продукта) или наличием дорогостоящего оборудования. Снизить затраты энергии на измельчение виноградных косточек можно за счет их увлажнения и набухания, однако полученный таким образом порошок плохо хранится.

Таким образом, для хорошей сохранности виноградных семечек они должны быть сухими, а измельчать их в таком виде – нецелесообразно, так как использование полученного в этих условиях порошка в пищевых технологиях приводит к характерному недостатку готового продукта – хруст и ощущение твердых, неизмельченных частиц семечек [3].

Второй недостаток, характерный для применения измельченных нативных виноградных семечек связан с их плохой сохранностью: при отсутствии специальных условий хранения в части температурного режима сырье темнеет (окисляются дубильные вещества) и срок его годности ограничен 20-24 часами.

Цель работы – экспериментальное обоснование технологии получения экструдированной комбинированной смеси зерна пшеницы и косточек винограда на основе моделирования процесса.

Объекты и методы исследования

Экспериментальные исследования были выполнены с помощью модернизированного одношнекового пресс-экструдера ЭК-40 производства ВЦПО «Фавор» (г. Волгоград).

Объект исследования – смесь неизмельченных зерен пшеницы и семечек винограда, которую подвергали экструдированию в течение 10-15 секунд при температуре 120-140 °С.

В эксперименте использовалась матрица экструдера с диаметром отверстия, равного 4 мм. Остальные пять отверстий матрицы (штатная комплектация экструдера) были заглушены.

В качестве исследуемых были выбраны следующие факторы: содержание семечек винограда в экструдированной смеси – М (%), массовая доля влаги в зерне пшеницы – В1 (%) и массовая доля влаги в семечках винограда – В2 (%). Критерий качества полученного экструдата – пористость POR (%).

В связи с тем, что планируемый эксперимент предполагает поиск оптимальных условий протекания процесса экструдирования и получение экстремума критерия качества в почти стационарной области, где поверхность отклика имеет существенную кривизну, было принято решение получить модель в виде полинома второй степени. Для этого эксперимент был реализован на основе центрального композиционного равномер-ротатабельного планирования, состоящего из трех уровней: факторного плана типа 2³, составляющего «ядро» центрального композиционного плана; звездных точек на осях факторного пространства, а также дополняющих опытов в центре плана. Эксперимент выполнялся в трехкратной повторности. В таблице 1 представлены уровни и интервалы варьирования факторов.

Матрица планирования и результаты эксперимента для смеси зерна пшеницы и семечек винограда представлены в таблице 2.

Пористость получаемых экструдатов определялась по следующей методике. Экспериментальные образцы экструдата длиной 10 мм покрывали водостойким лаком и после высыхания помещали в цилиндр с водой. Объем образца экструдата с порами принимался равным объему воды, вытесненной из цилиндра. Затем образец экструдата деформировался с помощью ручных тисков и вновь помещался в мерный цилиндр.

Объем экструдата после сжатия образца оценивался аналогичным образом. Пористость экструдата (%) определялась по формуле

$$POR = \left(1 - \frac{V_0}{V_n} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение фактора	Уровни варьирования фактора			Интервалы варьирования фактора
		нижний	нулевой	верхний	
Содержание семечек винограда в экструдированной смеси %	M	15	25	35	10
Массовая доля влаги в зерне пшеницы, %	B1	12	14	16	2
Массовая доля влаги в семечках винограда, %	B2	25	35	45	10

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты эксперимента

Система опытов	№ опыта	Кодированные факторы			Натуральные факторы			Пористость (POR)
		X1	X2	X3	M	B1	B2	
Полный факторный эксперимент типа 2 ³	1	-1	-1	-1	15	12	25	68,1
	2	-1	-1	1	15	12	45	79,8
	3	-1	1	-1	15	16	25	74,1
	4	-1	1	1	15	16	45	76,8
	5	1	-1	-1	35	12	25	62,2
	6	1	-1	1	35	12	45	72,5
	7	1	1	-1	35	16	25	70,1
	8	1	1	1	35	16	45	69,6
Опыты в «звездных» точках	9	-1,68	0	0	8,18	14	35	78,5
	10	1,68	0	0	41,82	14	35	67,3
	11	0	-1,68	0	25	10,64	35	62
	12	0	1,68	0	25	17,36	35	65,5
	13	0	0	-1,68	25	14	18,18	67
	14	0	0	1,68	25	14	51,82	79,8
Опыты в центре плана	15	0	0	0	25	14	35	73,1
	16	0	0	0	25	14	35	72,5
	17	0	0	0	25	14	35	71,5
	18	0	0	0	25	14	35	72,7
	19	0	0	0	25	14	35	72,5
	20	0	0	0	25	14	35	72,6

где V_n – объем экструдата с порами, мм³;

V_6 – объем экструдата после сжатия образца, мм³.

Результаты и их обсуждение

Реализация эксперимента и обработка полученных результатов позволили получить математическую модель второго порядка (2), описывающую зависимость пористости получаемого экструдата (POR) от содержания семечек винограда в экструдированной смеси (M), а также массовой доли влаги в перерабатываемом зерне пшеницы (B1) и семечках винограда (B2):

$$\begin{aligned}
 POR = & -120,800 - 0,552120 \cdot M + \\
 & 0,0052356 \cdot M^2 + 23,50731 \cdot B1 - \\
 & -0,677863 \cdot B1^2 + 1,720841 \cdot B2 + \\
 & 0,0070034 \cdot B2^2 + 0,0125000 \cdot M \cdot B1 - \\
 & -0,005750 \cdot M \cdot B2 - 0,123750 \cdot B1 \cdot B2
 \end{aligned} \quad (2)$$

Полученная модель характеризуется следующими показателями качества (табл. 3).

Анализ приведенных данных позволяет оценить качество полученной модели следующим образом:

- множественный коэффициент корреляции $R=0,986$, свидетельствует о высокой силе связи между переменными (по шкале Чеддока);
- коэффициент детерминации $R^2=0,971$, позволяет утверждать, что в полученной модели 97,1

Таблица 3 – Показатели качества полученной модели

Множест. - R	Множест. - R2	SS - Модель	сс - Модель	MS - Модель
0,986	0,971	483,189	9	53,688
SS - Остаток	сс - Остаток	MS - Остаток	F	p
14,249	10	1,425	37,677	0,000

% изменчивости объясняется исследуемыми факторами (доля дисперсии зависимых переменных) и лишь 2,9 % – ошибками модели (доля необъясненной дисперсии);

– статистическая значимость составляет $p < 0,000002$, что соответствует высокому уровню доверия к полученной модели.

Первичный анализ модели может быть проведен по следующему алгоритму:

1. Выявление факторов, наиболее существенно влияющих на параметр оптимизации, а также оценка меры воздействия каждого из них на процесс формирования пористой структуры экструдата.

2. Проверка гипотезы о механизме взаимодействия факторов и возможном синергизме влияния исследуемых факторов на параметр оптимизации.

Абсолютная величина коэффициентов при изучаемых факторах позволяет сделать вывод о том, что наибольшее влияние на пористость получаемого экструдата оказывает массовая доля влаги в зерне пшеницы, а наименьшее – содержание семечек винограда в экструдированной смеси.

Для изучения свойств поверхности отклика в

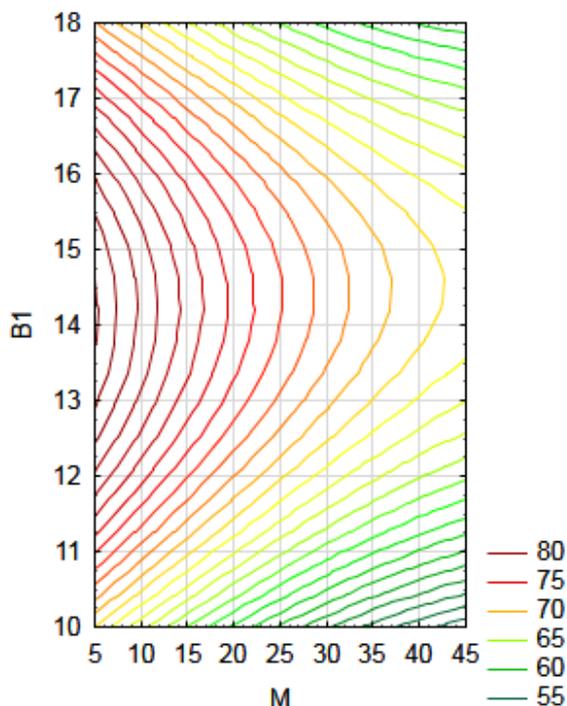


Рис. 1. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость пористости экструдата (POR) от содержания в экструдированной смеси семечек винограда (M) и массовой доли влаги в зерне пшеницы (B1)

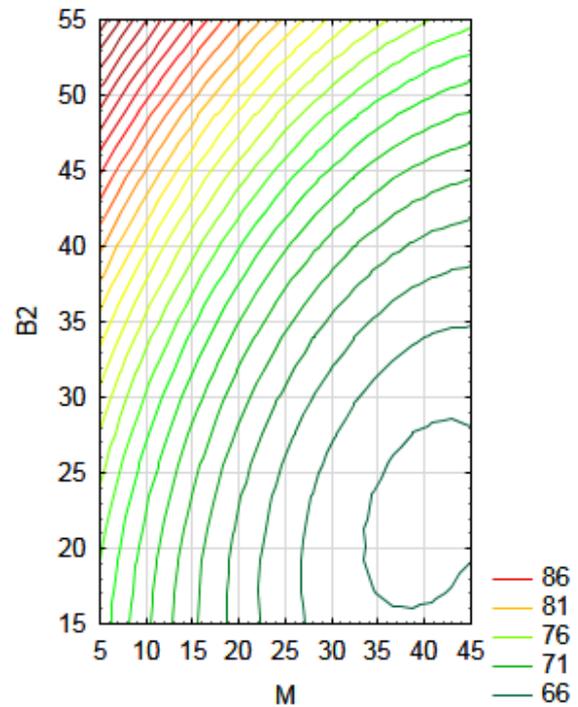


Рис. 2. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость пористости экструдата (POR) от содержания в экструдированной смеси семечек винограда (M) и массовой доли влаги в них (B2)

окрестностях оптимума выполнено каноническое преобразование полученной математической модели. Анализ поверхности отклика проводили с помощью двумерных сечений.

Уравнение (3), описывающее поверхность отклика и характеризующее зависимость пористости экструдата (POR) от содержания в экструдированной смеси семечек винограда (M) и массовой доли влаги в зерне пшеницы (B1), имеет вид

$$\begin{aligned}
 \text{POR} = & -55,2599 - 0,7186 \cdot x + \\
 & 19,6628 \cdot y + 0,0045 \cdot x \cdot x + \\
 & 0,0125 \cdot x \cdot y - 0,6952 \cdot y \cdot y
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Графическая интерпретация данного уравнения представлена на рис. 1 (цифры показывают численные значения пористости экструдата в рассматриваемых областях поверхности отклика). Как видно из рисунка, область с высокими значениями пористости получаемого экструдата находится для первого фактора в интервале 5-25%, для массовой доли влаги в зерне пшеницы – 12,0-16,0%.

Уравнение (4), описывающее поверхность отклика и характеризующее зависимость пористости экструдата (POR) от содержания в экструдированной смеси семечек винограда (M) и массовой доли влаги в них (B2), имеет вид

$$\begin{aligned}
 \text{POR} = & 78,2033 - 0,5117 \cdot x - \\
 & 0,2001 \cdot y + 0,0079 \cdot x \cdot x - \\
 & 0,0058 \cdot x \cdot y + 0,0097 \cdot y \cdot y
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

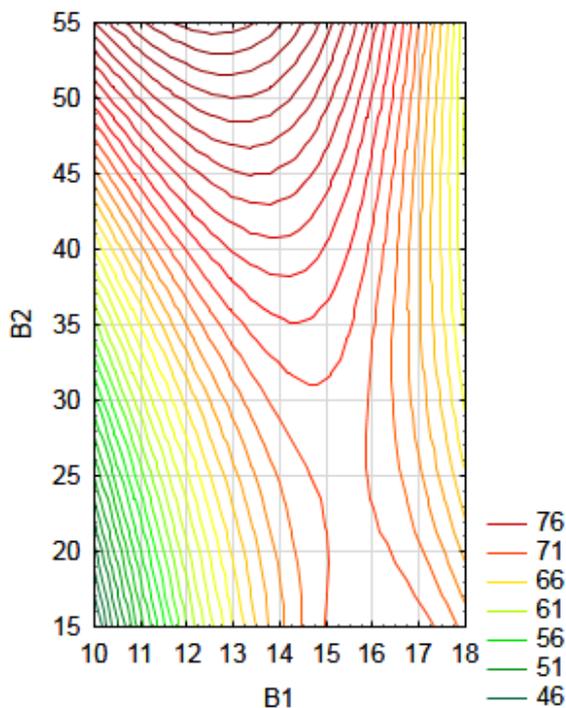


Рис. 3. Двумерное сечение поверхности отклика, характеризующее зависимость пористости экструдата (POR) от содержания массовой доли влаги в зерне пшеницы (B1) и семечках винограда (B2)

Графический вид данного уравнения приведен на рис. 2.

Анализ уравнения (4) и поверхности отклика показывает, что пористость экструдата (POR) находится на достаточно высоком уровне при содержании в смеси семечек винограда в интервале 5,0-25,0% и их влажности, равной 36,0-50,0%.

Уравнение (5), описывающее поверхность отклика и характеризующее зависимость пористости экструдата (POR) от содержания массовой доли влаги в зерне пшеницы (B1) и семечках винограда (B2), имеет вид

$$\begin{aligned} \text{POR} = & -134,086 + 24,1837 \cdot x + \\ & 1,6135 \cdot y - 0,6909 \cdot x \cdot x - \\ & 0,1238 \cdot x \cdot y + 0,0065 \cdot y \cdot y \end{aligned} \quad (5)$$

Литература

- [1] Корнен, Н.Н. Исследование состава и свойств БАД из семян винограда. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2013. – № 1 (18). – С. 48-51.
- [2] Куручкин, А.А. Теоретическое обоснование применения экструдированного сырья в технологиях пищевых продуктов /А.А. Куручкин, П.К. Воронина, Г.В. Шабурова //Монография. – Пенза, 2015. – 182 с.
- [3] Куручкин, А.А. Обоснование технологии композитной экструдированной смеси зерна пшеницы и виноградных косточек /А.А. Куручкин, Н.Э. Кручинина // Инновационная техника и технология. – 2020. – № 4(25). – С. 19–23.

В графическом виде уравнение представлено на рис. 3.

Анализ уравнения (5) показывает, что пористость экструдата (POR) заметно возрастает при повышении влажности обрабатываемого сырья и имеет значение, близкое к максимальному, полученному в эксперименте (79,8%) при содержании массовой влаги в зернах пшеницы 11,5-14,5% и семечках винограда 38,0-50,0%.

По результатам выполненных исследований можно отметить достаточно очевидную закономерность: с уменьшением массовой доли влаги в семечках винограда (примерно с 32,0%), процесс экструдирования смеси ухудшается, и соответственно пористость получаемого экструдата снижается.

Координаты центральной точки зон с пористостью свыше 75% для трех построенных двумерных сечений (рис. 1, рис. 2 и рис. 3) соответственно равны (M = 25,0%; B1 = 14,0%); (M = 25,0%; B2 = 42,0%); (B1 = 14,0%; B2 = 38,0%).

В связи с тем, что зона с оптимальными значениями пористости экструдата позволяет использовать зерно пшеницы с массовой долей влаги 14%, соответствующей по ГОСТ Р 52554-2006 базисным кондициям для этой культуры, можно сделать вывод о том, что для получения высокопористого поликомпонентного экструдата на основе семечек винограда массовая доля воды в этом ингредиенте должна находиться в пределах 38,0-42,0%.

Выводы

Для получения поликомпонентного экструдата на основе семечек винограда в качестве наполнителя следует использовать зерно пшеницы с массовой долей влаги 14%, соответствующей по ГОСТ Р 52554-2006 базисным кондициям для этой культуры. При этом условии наиболее высокую пористость экструдата можно получить при содержании в нем 25% семечек винограда с массовой долей влаги 38,0-42,0%. При этих условиях влажность экструдированной смеси будет составлять 20,2-21,0%.

References

- [1] Kornen, N.N. Study of the composition and properties of dietary SUPPLEMENTS from grape seeds. Technology and commodity science of innovative food products. – 2013. – No. 1 (18). – Pp. 48-51.
- [2] Kurochkin, A.A. The theoretical rationale for the use of extruded materials in food technology. /A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, G.V. Shaburova. Penza, Kopi-Riso, 2015. – 182 p.
- [3] Kurochkin, A.A. Substantiation of technology of composite extruded mixture of wheat grain and grape seeds /A.A. Kurochkin, N.E. Kruchinina // Innovative technique and technology. – 2020. – No. 4(25). – Pp. 19-23.

- [4] Лукин, А.А. Перспективы применения муки из виноградной косточки в технологии производства продуктов питания. /А.А. Лукин, А.В. Зинин, И.Ю. Мигуля. //Вестник современных исследований. – 2017. – № 10-1 (13). – С. 84-86.
- [5] Макарова, Н.В. Сравнительные исследования методов извлечения биологически активных веществ с антиоксидантными свойствами из косточек винограда (*Vitis vinifera* L.). /Н.В. Макарова, Д.Ф. Валиулина, Н.Б. Еремеева //Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – № 10(1). С. – 140-148.
- [6] Свиридов, М.Р. Разработка технологии использования вторичных ресурсов виноградарско-винодельческой отрасли с целью повышения физиологической ценности пищевых продуктов: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 /Свиридов Дмитрий Александрович. – Краснодар, 2017. – 179 с.
- [4] Lukin, A.A. Prospects for the use of grape seed flour in food production technology. / A. A. Lukin, A.V. Zinin, I. Yu. Migulya. // Bulletin of modern research. – 2017. – No. 10-1 (13). – Pp. 84-86.
- [5] Makarova, N.V. Comparative studies of methods for extracting biologically active substances with antioxidant properties from grape seeds (*Vitis vinifera* L.). /N. V. Makarova, D. F. Valiulina, N. B. Eremeeva // Izvestiya vuzov. Applied chemistry and biotechnology. – 2020. – No. 10(1). Pp. – 140-148.
- [6] Sviridov, M.R. Development of technology for using secondary resources of the viticultural and wine industry in order to increase the physiological value of food products: dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.18.01 / Sviridov Dmitry Aleksandrovich. - Krasnodar, 2017. – 179 p.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Курочкин Анатолий Алексеевич доктор технических наук профессор кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(927) 382-85-03 E-mail: anatolii_kuro@mail.ru</p>	<p>Kurochkin Anatoly Alekseevich D.Sc. in Technical Sciences professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(927) 382-85-03 E-mail: anatolii_kuro@mail.ru</p>
<p>Кручинина Наталья Эдуардовна аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(962) 473-86-96 E-mail: kruchininane@gmail.com</p>	<p>Kruchinina Natalia Eduardovna postgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(962) 473-86-96 E-mail: kruchininane@gmail.com</p>