

ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

УДК 664.769

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПОЗИТ НА ОСНОВЕ ЭКСТРУДИРОВАННОЙ СМЕСИ ПШЕНИЦЫ И СЕМЯН ТЫКВЫ

А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина

Представлены результаты исследований, свидетельствующие о существенном влиянии соотношения влажности экструдированных зерен пшеницы и семян тыквы, а также влажности экструдированной смеси в целом на индекс расширения экструдатов.

Ключевые слова: экструдат, крахмалсодержащее сырье, липиды, влажность, коэффициент расширения, модель.

Введение

Известно, что во многих регионах России рацион питания жителей в той или иной мере дефицитен в отношении белка, полиненасыщенных жирных кислот (омега-3, омега-6), растворимых и нерастворимых пищевых волокон (пектин, камеди, слизи, целлюлоза и др.), витаминов (группы В, Е и др.), а также целого ряда минеральных веществ.

Одним из эффективных и экономически обоснованных способов решения данной проблемы может быть разработка натуральных функциональных композитов, с помощью которых регулярно потребляемые в пищу продукты обогащались бы недостающими для нормального питания людей ингредиентами.

В этом отношении заслуживает внимания опыт применения в качестве функциональной добавки к мучным кондитерским и хлебобулочным изделиям композитов, полученным путем экструдирования смеси растительного сырья с высоким содержанием крахмала, липидов и белка. В качестве примеров таких композитов можно назвать экструдаты смеси зерна пшеницы с семенами тыквы, расторопши, льна, кунжута и др.

Например, в тыквенных семенах с оболочкой относительно много белка, жира и клетчатки, при этом в них белок и незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты очень хорошо сбалансированы.

В состав масла семян тыквы входит токоферол (витамин Е), играющий важную роль в тканевом дыхании клеток и обладающий выраженной антиоксидантной способностью [1, 2, 3].

Оболочка семян тыквы является источником повышенного содержания микроэлементов и пищевых волокон. В измельченном виде она считается хорошим энтеросорбентом и наряду с адсорбционной способностью позволяет дополнительно ввести значимое для организма человека количество железа, калия, магния и меди [4].

В семенах тыквы (в том числе и в их оболочке) в большом количестве содержится весьма важный для иммунной системы человека микроэлемент – цинк. В серовато-зеленом слое, который в очищенных семенах тыквы, как правило, отсутствует, содержится достаточно редкая аминокислота – кукурбитин, благодаря которой семена тыквы обладают антигельминтными свойствами.

Небольшое содержание крахмала и относительно высокое содержание липидов и клетчатки не позволяют получать экструдаты высокого качества при обработке семян тыквы с помощью серийного оборудования. К тому же экструдирование растительного сырья с высоким содержанием липидов в части его оптимальной влажности существенно отличается от обработки крахмалсодержащего сырья [5].

К особенностям экструзионной обработки семян тыквы совместно с оболочкой можно отнести следующее:

1. Экструдаты семян тыквы с оболочкой содержат в среднем 15...20% жира.

2. Низкий коэффициент трения обрабатываемого материала о шнек машины не позволяет экструдировать семена тыквы при той влажности, которую они имеют сразу после извлечения из плода (тыквины). Поэтому после выделения семян из тыквы влажностью 34...36%, их следует высушить до содержания влаги 18...20%. При более высокой влажности семян их пластичные свойства не позволяют получить на выходе из фильеры матрицы необходимые для эффективной экструзии давление и температуру.

В случае обработки пересушенных семян, на выходе из фильеры выделяются излишки масла, не связанные с экструдатом, продукт расслаивается и плохо хранится.

3. При температуре экструзии больше 105...110 °С липиды экструдата приобретают склонность к окислению, что повышает требования

Таблица 1 – Матрица планирования и результаты эксперимента

Система опытов	№ опыта	Кодированные факторы			Натуральные факторы			Индекс расширения
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
Полный факторный эксперимент типа 2 ³	1	-1	-1	-1	20,0	15,0	14,0	3,2
	2	-1	-1	1	20,0	15,0	22,0	2,8
	3	-1	1	-1	20,0	35,0	14,0	3,6
	4	-1	1	1	20,0	35,0	22,0	2,6
	5	1	-1	-1	40,0	15,0	14,0	2,7
	6	1	-1	1	40,0	15,0	22,0	1,9
	7	1	1	-1	40,0	35,0	14,0	2,2
	8	1	1	1	40,0	35,0	22,0	1,0
Опыты в «звездных» точках	9	-1,68	0	0	13,2	25,0	18,0	3,8
	10	+1,68	0	0	46,8	25,0	18,0	1,0
	11	0	-1,68	0	30,0	8,2	18,0	1,8
	12	0	+1,68	0	30,0	41,8	18,0	1,7
	13	0	0	-1,68	30,0	15,0	11,3	2,4
	14	0	0	+1,68	30,0	15,0	24,7	1,1
Опыты в центре плана	15	0	0	0	30,0	15,0	18,0	1,3
	16	0	0	0	30,0	15,0	18,0	1,2
	17	0	0	0	30,0	15,0	18,0	1,2
	18	0	0	0	30,0	15,0	18,0	1,3
	19	0	0	0	30,0	15,0	18,0	1,3
	20	0	0	0	30,0	15,0	18,0	1,2

к условиям хранения продукта и затратам на этот процесс.

4. Экструдат имеет относительно низкую пористость при коэффициенте взрыва в пределах 1,3...1,5.

Устранить большинство перечисленных недостатков и получить функциональный композит высокого качества можно путем совместного экструдирования сырья с относительно высоким содержанием жирных кислот с крахмалсодержащим сырьем, например, зерном пшеницы. Такие экструдаты при содержании в них воды не больше 10...12% сохраняет практически все полезные свойства сырья, из которого они выработаны и хорошо хранятся в обычных условиях [5, 6, 7, 8].

Цель исследования – обосновать основные технологические параметры и оценить степень их влияния на процесс получения функционального композита на основе смеси зерна пшеницы и семян тыквы.

Задача исследования – определить рациональное значение факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество экструдата смеси зерна пшеницы и семян тыквы.

При этом общие подходы к получению и оценке экструдатов в данной работе согласовывались с ранее проведенными исследованиями [9–14].

Объекты и методы исследований

Экспериментальные исследования выполнялись с помощью одношнекового пресс-экструдера, дополнительно оснащенного оборудованием, позволяющим реализовать термовакуумное воздействие на выходящий из фильеры машины экструдат [15–21].

Объектом исследования являлась смесь измельченных зерен пшеницы и семян тыквы, которую экструдировали в течение 15...20 с при температуре 100...105 °С с последующим воздействием на выходящее из фильеры матрицы экструдера сырье пониженным давлением, равным 0,05 МПа. Частота вращения шнека пресс-экструдера составляла 7,5 с⁻¹, диаметр фильеры матрицы экструдера – 4 мм.

В качестве исследуемых были выбраны следующие факторы: содержание семян тыквы в экструдированной смеси – X₁ (%), влажность семян тыквы – X₂ (%) и влажность зерна пшеницы – X₃ (%). За критерий качества полученного функционального композита был принят индекс расширения экструдатов (коэффициент взрыва) – В (безразмерная величина).

При поиске оптимальных условий протекания процесса экструдирования и получения экстремума критерия качества в почти стационарной области,

где поверхность отклика имеет значительную кривизну целесообразно использовать модель в виде полинома второй степени.

Программа эксперимента была реализована с помощью центрального композиционного униформ-ротатабельного планирования, состоящего из трех уровней: факторного плана типа 2^3 , составляющего «ядро» центрального композиционного плана; звездных точек, на осях факторного пространства и дополняющих опытов в центре плана. Матрица планирования и результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Результаты и их обсуждение

Модель второго порядка, описывающая зависимость коэффициента взрыва (В) от содержания семян тыквы в экструдированной смеси, влажности экструдированных семян тыквы и пшеницы имеет вид:

$$B = 13,421 - 0,289X_1 + 0,005X_1^2 - 0,034X_2 + 0,003X_2^2 - 0,598X_3 + 0,018X_3^2 - 0,002X_1X_2 - 0,002X_1X_3 - 0,003X_2X_3 \quad (1)$$

Оценим статистическую надежность уравнения регрессии с помощью критерия Фишера, который проверяет нулевую гипотезу о статистической незначимости параметров построенного регрессионного уравнения и показателя тесноты связи. Фактическое значение F-критерия Фишера для полученного уравнения регрессии $F_p=14,238$. Сравним его с табличным значением F-критерия (F_t), по заданному уровню значимости ($\alpha=0,05$) и числу степеней свободы (в пакете Statistica: ss модели=9,

ss остаток=10) $F_t=3,02$. Поскольку $F_p > F_t$, то нулевая гипотеза отвергается. Таким образом, признается статистическая значимость регрессионного уравнения и его параметров.

Анализ полученного уравнения показывает, что на индекс расширения экструдата наибольшее влияние оказывают влажность зерна пшеницы (коэффициент регрессии 0,598), содержание семян тыквы в экструдированной смеси (коэффициент регрессии 0,289) и влажность семян тыквы (коэффициент регрессии 0,034). Эффекты межфакторных взаимодействий имеют малое влияние на критерий качества. Наличие в модели квадратичных эффектов факторов показывает, что характер влияния этих факторов на отклик криволинейный (параболический).

Из диаграммы Парето для коэффициента взрыва экструдата (рис. 1) видно, что из основных компонент статистически значимыми оказались эффекты: X_1 – содержание семян тыквы в экструдированной смеси и X_3 – влажность зерна пшеницы, остальные оказались слабо значимыми.

Множественный коэффициент корреляции для модели $R=0,96$; коэффициент детерминации $R^2=0,92$; статистическая значимость составляет $p<0,0001$. Полученная математическая модель адекватна опытным данным при доверительной вероятности 95 %.

Для поиска экстремума функции регрессии и факторов, наиболее сильно влияющих на критерий оптимизации, воспользуемся геометрической интерпретацией оптимизируемой функции и изучим поверхность отклика в частных зависимостях. Для получения зависимостей поочередно подставляем в уравнение (1) каждый фактор на нулевом уровне. Зависимость коэффициента взрыва (В) от содер-

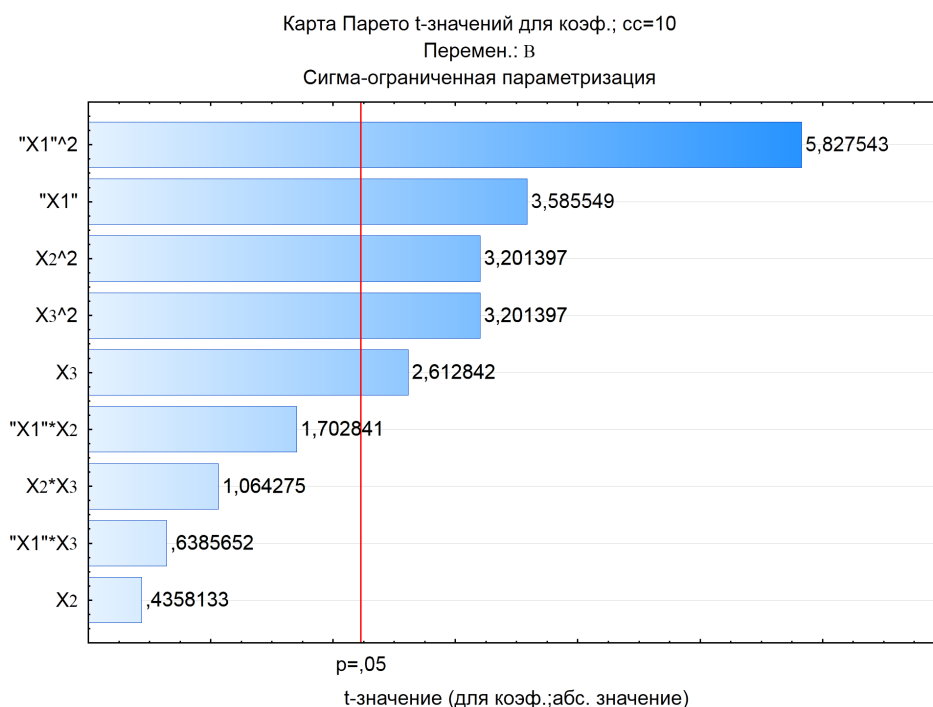


Рис. 1. Диаграмма Парето для коэффициента взрыва экструдата (В)

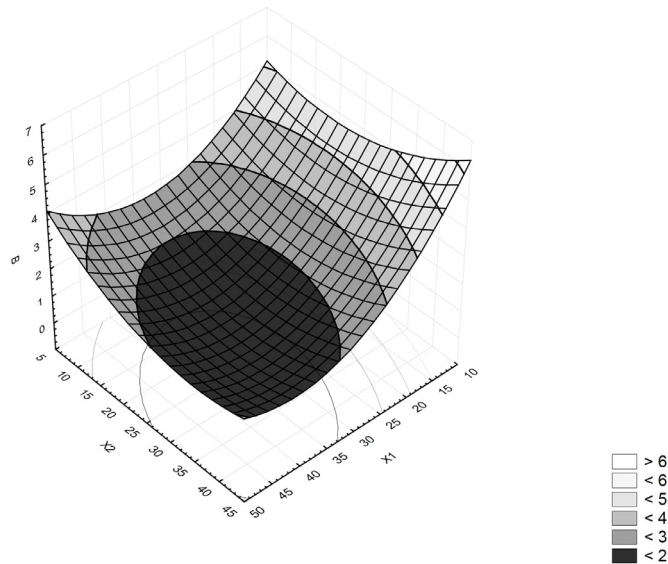


Рис. 2. Поверхность отклика, характеризующая зависимость коэффициента взрыва (В) от содержания семян тыквы в экструдированной смеси – X1 и влажности экструдированных семян тыквы – X2

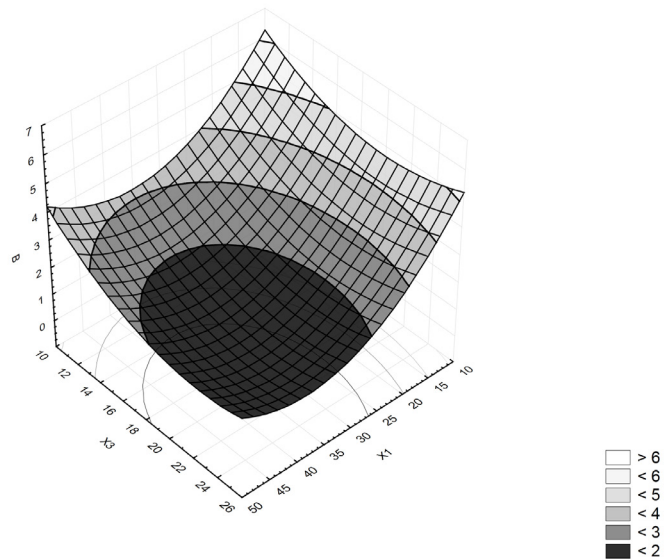


Рис. 3. Поверхность отклика, характеризующая зависимость коэффициента взрыва (В) от содержания семян тыквы в экструдированной смеси – X1 и влажности пшеницы – X3

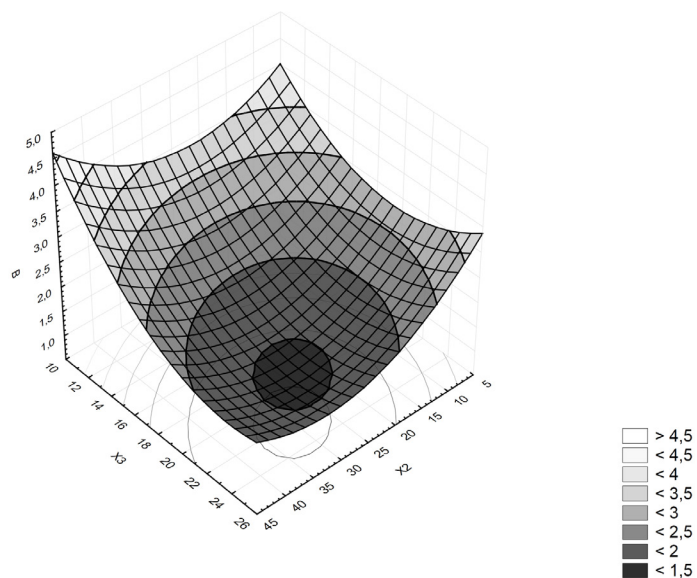


Рис. 4. Поверхность отклика, характеризующая зависимость коэффициента взрыва (В) от влажности экструдированных семян тыквы X2 и влажности пшеницы – X3

жания семян тыквы в экструдированной смеси (X_1) и влажности экструдированных семян тыквы (X_2) представляет собой следующее уравнение:

$$B = 8,489 - 0,325X_1 - 0,088X_2 + 0,005X_1^2 + 0,003X_2^2 - 0,002X_1X_2 \quad (2)$$

Полученная зависимость (2) явилась основой для построения поверхности отклика, характеризующей зависимость коэффициента взрыва от содержания семян тыквы в экструдированной смеси и влажности экструдированных семян тыквы (рис. 2).

Графический анализ поверхности отклика показывает, что заметное влияние на коэффициент взрыва оказывает содержание семян тыквы в экструдированной смеси – X_1 , причем рациональные значения этого параметра находятся в диапазоне от 10 до 15%. Процент содержания влаги в экструдированных семенах тыквы – X_2 с возрастанием плавно увеличивает коэффициент взрыва ($B=4,5\dots 5,0$), при оптимальном диапазоне 32–35%.

Уравнение, описывающее поверхность отклика и характер изменения коэффициента взрыва (B) от содержания семян тыквы в экструдированной смеси (X_1) и влажности пшеницы (X_3) можно представить в следующем виде:

$$B = 14,446 - 0,339X_1 - 0,673X_3 + 0,005X_1^2 + 0,018X_3^2 - 0,002X_1X_3 \quad (3)$$

По полученной зависимости (3) была построена поверхность отклика (рис. 3), анализ которой показывает высокую степень сходимости с предыдущими данными (см. рис. 2). Так, содержание семян тыквы в экструдированной смеси – X_1 совместно с X_3 – влажностью зерна пшеницы оказывает сильное влияние на коэффициент взрыва ($B=4,0\dots 4,5$) в районе тех же 10-15%. При этом влажность пшеницы – X_3 имеет рациональное значение в диапазоне 13-15%.

Зависимость коэффициента взрыва (B) от влажности экструдированных семян тыквы (X_2) и влажности пшеницы (X_3) имеет следующий вид:

$$B = 9,251 - 0,094X_2 - 0,658X_3 + 0,003X_2^2 + 0,018X_3^2 - 0,003X_2X_3 \quad (4)$$

Список литературы

1. Милованова, Е. С. Разработка технологических решений по использованию продуктов переработки семян тыквы при производстве хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01 / Милованова Екатерина Станиславовна. – Краснодар, 2010. – 20 с.
2. Шешнищан, И. Н. Жирнокислотный состав масла семян тыквы тыквенных семян в производстве продуктов функционального назначения / И. Н. Шешнищан, Г. В. Шабурова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 103–106.
3. Шешнищан, И. Н. Применение экструдата тыквенных семян в производстве продуктов функционального

По полученной зависимости (4) была построена поверхность отклика (рис. 4).

Экстремум коэффициента оптимизации находится в диапазоне 3,5–4,0 при рассмотрении факторов влажности экструдированных семян тыквы – X_2 и влажности пшеницы – X_3 , причем из рисунка 4 видно, что оптимальной влажностью семян тыквы будет 32–35%, а оптимальной влажностью пшеницы 13–15%.

Результаты экспериментальных исследований показывают весьма важную в практическом плане закономерность: при одинаковой влажности семян тыквы и пшеницы и, тем более при влажности пшеницы большей, чем влажность семян тыквы, процесс экструдирования смеси ухудшается. При этом в экструдате встречаются частицы необработанной пшеницы. Поэтому в дальнейшем было принято решение для получения экструдатов с повышенным содержанием липидов в качестве наполнителя использовать пшеницу с влажностью 13...15%, при влажности семян тыквы 32–35%. Такие параметры экструдированного сырья позволяют получить приемлемое качество экструдата с высоким содержанием липидов (6,0–7,5%) при содержании в обрабатываемой смеси 20–25% семян тыквы. Коэффициент взрыва получаемого экструдата находится в пределах 3,4–3,6.

Выводы

Результаты исследований показывают, что с уменьшением доли семян тыквы в смеси до 20–25% индекс расширения экструдата возрастает до 3,4–3,6. При этом данный критерий качества полученного функционального композита существенно зависит от соотношения влажности экструдированных зерен пшеницы и семян тыквы, а также влажности экструдированной смеси в целом.

Для получения функционального композита из смеси зерна пшеницы и семян тыквы с приемлемым коэффициентом взрыва (3,0–3,2) в качестве наполнителя можно использовать пшеницу с влажностью 13–15% в количестве 75–80% к экструдированной массе. При этом влажность обрабатываемых семян тыквы необходимо поддерживать в пределах 32–35% с тем, чтобы обеспечить влажность экструдированной смеси в пределах 18–20%.

- назначения / И. Н. Шешнищан, Г. В. Шабурова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 06 (22) . – С. 96–100.
4. Патент 2162646 Российская Федерация, МПК7 А23L1/30, А61К35/78. Биологически активная пищевая добавка / В. Г. Дорофейчук, Н. Б. Плетнева, А. Е. Груздева, № 98113868/13; заявл. 14.07.1998; опубл. 10.02.2001, Бюл. № 6. – 3 с.
 5. Курочкин, А. А. Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 4. – С. 70–74.
 6. Курочкин, А. А. Повышение технологического потенциала несоложенных зернопродуктов / Г. В. Шабурова, А. А. Курочкин, П. К. Воронина // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 1 (32) . – С. 90–96.
 7. Курочкин, А. А. Регулирование функционально-технологических свойств экструдатов растительного сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 86–91.
 8. Курочкин, А. А. Регулирование структуры экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 4. – С. 94–99.
 9. Шабурова, Г. В. Белковый комплекс экструдированного ячменя / Г. В. Шабурова, А. А. Курочкин, В. В. Новиков, В. П. Чистяков // Пиво и напитки. – 2007. – № 3. – С. 12–13.
 10. Курочкин, А. А. Аминокислотный состав экструдированного ячменя / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // Пиво и напитки. – 2008. – № 4. – С. 12.
 11. Курочкин, А. А. Теоретические и практические аспекты экструзионной технологии в пивоварении / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, В. В. Новиков // Нива Поволжья. – 2007. – № 1. – С. 20–24.
 12. Шабурова, Г. В. Экструдированный ячмень как компонент функциональных пищевых продуктов / Г. В. Шабурова, Е. В. Петросова, Т. В. Шленская, А. А. Курочкин // Пищевая промышленность. – 2012. – № 10. – С. 44–45.
 13. Курочкин, А. А. Обоснование рациональных параметров шнека пресс-экструдера в зоне загрузки / А. А. Курочкин, В. В. Новиков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 06 (10) . – С. 123–127.
 14. Шабурова, Г. В. Перспективы использования экструдированной гречихи в пивоварении и хлебопечении / Г. В. Шабурова, П. К. Воронина, А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 4. – С. 79–83.
 15. Курочкин, А. А. Методологические аспекты теоретических исследований пресс-экструдеров для обработки растительного крахмалсодержащего сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, В. В. Новиков, С. В. Денисов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 06 (10) . – С. 46–55.
 16. Курочкин, А. А. Получение экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья с заданной пористостью / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 06 (22) . – С. 109–114.
 17. Курочкин, А. А. Моделирование процесса получения экструдатов на основе нового технологического решения / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Нива Поволжья. – 2014. – № 30. – С. 70–76.
 18. Курочкин, А. А. Теоретическое обоснование термовакuumного эффекта в рабочем процессе модернизированного экструдера / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов, П. К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С. 14–20.
 19. Курочкин, А. А. Системный подход к разработке экструдера для термовакuumной обработки экструдата / А. А. Курочкин // Инновационная техника и технология. – 2014. – № 4 (01). – С. 17–21.
 20. Курочкин, А. А. Технология производства кормов на основе термо-вакуумной обработки отходов с/х производства/ А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // Инновационная техника и технология. – 2014. – № 4 (01). С. 36–40.
 21. Фролов, Д. И. Теоретическое описание процесса взрывного испарения воды в экструдере с вакуумной камерой/ Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина // Инновационная техника и технология. – 2015. – № 1 (02). С. 29–34.

FUNCTIONAL COMPOSITE EXTRUDED MIXTURE OF WHEAT AND PUMPKIN SEEDS

A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina

The results of studies suggesting a significant effect of the ratio of the moisture content of the extruded wheat grains and pumpkin seeds, as well as the moisture content of the extruded mixture as a whole on the expansion index of extrudates.

Keywords: the extrudate, starchy raw materials, lipids, moisture, expansion coefficient, model.

References

1. Milovanova, E. S. Development of technological solutions for the use of products of processing of pumpkin seeds in the production of bakery products with increased nutritional value: author. dis. ... candidate. tech. Sciences: 05.18.01 / Milovanova Yekaterina Stanislavovna. – Krasnodar, 2010. – 20 С.
2. Sheshnitcan, I. N. Fatty acid composition of oil of pumpkin seeds pumpkin seeds in the production of products of a functional purpose / I. N. Sheshnitcan, G. V. Shaburova // proceedings of the Samara state agricultural Academy. – 2012. – No. 4. – Pp. 103–106.
3. Sheshnitcan, I. N. The application of the extrudate pumpkin seeds in the production of products of a functional purpose / I. N. Sheshnitcan, G. V. Shaburova // XXI century: the past and challenges of the present plus. – 2014. – № 06 (22) . – P. 96–100.
4. Patent 2162646 Russian Federation, IPC 7 A23L1/30, A61K35/78. Biologically active food Supplement / V. G. Dorofeyuk, N. B. Pletnev, No. 98113868/13; Appl. 14.07.1998; publ. 10.02.2001, bull. No. 6. – 3.
5. Kurochkin, A. A. extrudates from vegetable raw materials with a high content of lipids / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. C. Voronina // proceedings of the Samara state agricultural Academy. – 2014. – No. 4. – S. 70–74.
6. Kurochkin, A. A. Improving the technological capacity of products / G. V. Shaburova, A. A. Kurochkin, P. K. Voronina // Technique and technology of food production. – 2014. – № 1 (32) . – S. 90–96.
7. Kurochkin, A. A. Regulation of functional and technological properties of extrudates of vegetable raw materials / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, P. K. Voronina // proceedings of the Samara state agricultural Academy. – 2012. – No. 4. – P. 86–91.
8. Kurochkin, A. A. Regulation of the structure of extrudates starchy grain raw materials / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina // Samara state agricultural Academy. – 2013. – No. 4. – P. 94–99.
9. Shaburova, G. V. Protein complex extruded barley / G. V. Shaburova, A. A. Kurochkin, V. V. Novikov, V. P. Chistyakov // Beer and drinks. – 2007. – No. 3. – Pp. 12–13.
10. Kurochkin, A. A. Amino acid composition of extruded barley / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova // Beer and drinks. – 2008. – No. 4. – S. 12.
11. Kurochkin, A. A. Theoretical and practical aspects of extrusion technology in brewing / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, V. V. Novikov // Niva Povolzhya. – 2007. – No. 1. – S. 20–24.
12. Shaburova, G. V. Extruded barley as a component of functional foods / G. V. Shaburova, O. V. petrosova, T. V. Shlensky, A. A. Kurochkin // Food industry. – 2012. – No. 10. – Pp. 44–45.
13. Kurochkin, A. A. Substantiation of rational parameters of the screw press-extruder / A. A. Kurochkin, V. V. Novikov // XXI century: the past and challenges of the present plus. – 2013. – № 06 (10) . – P. 123–127.
14. Shaburova, G. V. prospects of using extruded buckwheat in brewing and bread baking / G. V. Shaburova, P. K. Voronina, A. A. Kurochkin, D. I. Frolov // Samara state agricultural Academy. – 2014. – №4. – P.79-83.
15. Kurochkin, A. A. Methodological aspects of theoretical research press extruders for processing starchy vegetable raw materials / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, V. V. Novikov, S. V. Denisov // XXI century: the past and challenges of the present plus. – 2013. – № 06 (10) . – P. 46–55.
16. Kurochkin, A. A. production of extrudates starchy grain material with a predetermined porosity / / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov // XXI century: the past and challenges of the present plus. – 2014. – № 06 (22) . – P. 109–114.
17. Kurochkin, A. A. Modeling of the process of extrudates based on new technological solutions / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina // Niva Povolzhya. – 2014. – No. 30. – S. 30–35.
18. Kurochkin, A. A. Theoretical justification for the thermal vacuum effect in the workflow of the upgraded extruder / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina // proceedings of the Samara state agricultural Academy. – 2015. – No. 3. – S. 14–20.
19. Kurochkin, A. A. a Systematic approach to the development of thermal vacuum extruder for processing of the extrudate / A. Kurochkin // Innovative machinery and technology. – 2014. – No. 4. – S. 17–21.
20. Kurochkin, A. A. the Technology of production of feed based on the thermo-vacuum treatment of waste/ agricultural production / A. A. Kurochkin, D. I. Frolov // Innovative mashinery and technology. -2014. – № 4 (01). P.36-40.
21. Frolov, D. I. Theoretical description of the process of explosive evaporation of water in the extruder with vacuum camera / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, P. C. Voronina // Innovative mashinery and technology. -2015. – № 1 (02). P. 29-34.