УДК 664.681

Оценка воздействия обезжиренного зародыша пшеницы на физические характеристики теста для печенья

Фролов Д.И., Шканов Д.М.

Аннотация. В статье исследовано влияние внесения обезжиренной муки из зародышей пшеницы на физические характеристики теста для печенья в зависимости от степени замены пшеничной муки (5, 10 и 15 %), дисперсности частиц зародышевой фракции (менее 150 мкм, 150–1000 мкм, 800–2000 мкм) и влажности тестовых заготовок (20, 22 и 24 %). В качестве объектов исследования использовали сортовую пшеничную муку (Т-500), обезжиренные зародыши пшеницы указанного гранулометрического состава. Экспериментальные исследования проводили с применением текстурного анализа и статистической оптимизации с дисперсионным анализом данных. Установлено, что доминирующее влияние на реологические и текстурные параметры теста оказывает уровень гидратации, снижение которого закономерно приводит к падению твердости полуфабриката. Дисперсность вносимой добавки определяет показатели сопротивления растяжению и растяжимости, тогда как варьирование доли зародышей пшеницы в диапазоне до 15 % не вызывает статистически значимых изменений текстурного профиля. Научная новизна работы заключается в комплексном многофакторном анализе взаимосвязи гранулометрического состава биомодификатора, уровня рецептурной замены и влажности теста, что обеспечивает научное обоснование параметров формования и оптимизации рецептур мучных кондитерских изделий повышенной пищевой ценности.

Ключевые слова: зародыш пшеницы, печенье, текстура, тесто, влажность.

Для цитирования: Фролов Д.И., Шканов Д.М. Оценка воздействия обезжиренного зародыша пшеницы на физические характеристики теста для печенья // Инновационная техника и технология. 2026. Т. 13. № 4. С. 77–82.

Assessment of the impact of defatted wheat germ on the physical characteristics of cookie dough

Frolov D.I., Shkanov D.M.

Abstract. The article examines the effect of adding defatted wheat germ flour on the physical properties of cookie dough depending on the degree of wheat flour replacement (5, 10, and 15%), the particle size distribution of the germ fraction (less than 150 μm, 150–1000 μm, 800–2000 μm), and the moisture content of the dough pieces (20, 22, and 24%). The objects of the study were varietal wheat flour (T-500), defatted wheat germ of the specified particle size distribution. Experimental studies were carried out using texture analysis and statistical optimization with analysis of variance of the data. It was found that the level of hydration has a dominant effect on the rheological and textural parameters of the dough, a decrease in which naturally leads to a decrease in the hardness of the semi-finished product. The dispersion of the added additive determines the tensile strength and extensibility parameters, while varying the wheat germ content within a range of up to 15% does not produce statistically significant changes in the texture profile. The scientific novelty of this study lies in the comprehensive multivariate analysis of the relationship between the granulometric composition of the biomodifier, the level of recipe substitution, and the dough moisture content, which provides a scientific basis for the formation parameters and optimization of flour confectionery recipes with enhanced nutritional value.

Keywords: wheat germ, cookies, texture, dough, moisture content.

For citation: Frolov D.I., Shkanov D.M. Assessment of the impact of defatted wheat germ on the physical characteristics of cookie dough. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2026. Vol. 13. No. 4. pp. 77–82. (In Russ.).

Введение

Зародыши пшеницы представляют собой перспективное сырьё для повышения пищевой ценности мучных изделий. Они содержат белки, минеральные вещества, пищевые волокна и витамины, а возможность их применения в хлебопечении и производстве печенья рассматривается в ряде исследований [1–3]. Белки зародышей пшеницы характеризуются ценным аминокислотным составом, в частности высоким содержанием лизина по сравнению с белками сортовой пшеничной муки.

Зародыш пшеницы является одним из основных побочных продуктов мукомольного производства, но при этом он представляет собой наиболее ценную в питательном отношении часть зерна пшеницы с высоким содержанием белка, минеральных веществ, витаминов, пищевых волокон и некоторых относительно функциональных фитохимических соединений [4]. Белки зародыша пшеницы обладают высокой питательной ценностью, сравнимой с таковой у животных белков [5].

Существует несколько исследований о влиянии обезжиренного зародыша пшеницы на питательные и физические характеристики бисквитов [6] и кексов [7], но не так много исследований о влиянии зародыша пшеницы на физические характеристики теста для печенья. Печенье широко потребляется как готовый к употреблению продукт с длительным сроком хранения [8]. Поэтому важно обогатить его питательными веществами. Печенье с высоким содержанием белка и клетчатки может быть произведено путем замены части муки зародышем в количестве до 40% [6]. Поскольку любое изменение ингредиентов может изменить текстурные свойства теста, в данной работе исследуется влияние добавления обезжиренной муки из зародышей пшеницы на физические характеристики теста для печенья. Характеристики теста будут исследованы в зависимости от количества заменяемой муки зародышем пшеницы (5, 10 и 15%), различного размера частиц зародыша пшеницы (менее 150 мкм, 150–1000 мкм, 800–2000 мкм) и варьирования влажности теста (20, 22 и 24%). В отечественных исследованиях рассматриваются влияние основных ингредиентов на текстурные свойства печенья и применение растительных обогащающих компонентов, в том числе облепихового порошка и льняной муки, в технологии затяжного печенья [13, 14].

Целью настоящей работы являлось изучение влияния добавления обезжиренной муки из зародышей пшеницы на физические характеристики теста для печенья. В статье последовательно рассматриваются методы исследования, полученные результаты, их обсуждение в контексте существующих знаний, а также выводы и перспективы дальнейших исследований.

Объекты и методы исследования

Пшеничная мука для печенья и бисквитов использовалась для приготовления теста для печенья. Обезжиренные зародыши пшеницы трех фракций: фракция 1 – микротонкая, грануляция менее 150 мкм; фракция 2 – крупная, грануляция 150–1000 мкм; фракция 3 – мелкие гранулы, грануляция 800–2000 мкм. Растительный жир, соль, бикарбонат натрия и бикарбонат аммония, а также сахарная пудра были приобретены у местных поставщиков.

Тесто для печенья готовили по следующей рецептуре: мука (или смесь муки) 200,00 г, растительный жир 42,00 г, сахар 70,00 г, $NaHCO_3$ 0,6 г, NH_4HCO_3 0,4 г и NaCl 1,1 г. Отмеренное количество муки смешивали в миксере в течение 0,5 мин, а после добавления всего количества жира и сахарной пудры перемешивание продолжали в течение 5,5 мин на низкой скорости (60 мин$^{-1}$). Все остальные компоненты, растворенные в дистиллированной воде, добавляли в миксер, миксер закрывали и тесто перемешивали в течение 15 мин [9].

В образцах 5, 10 и 15% пшеничной муки заменяли зародышем пшеницы различного размера частиц. Количество воды рассчитывали по отношению к содержанию воды в мучных смесях для получения образцов теста с влажностью 20, 22 и 24%. Для оценки влияния этих трех переменных (3

Таблица 1 – Переменные и уровни в плане Бокса–Бенкена

Параметр	Обозначение	Уровни варьирования		
Входные факторы		Низкий (–1)	Средний (0)	Высокий (+1)
Размер фракции частиц	A	Фракция 1 (< 150 мкм)	Фракция 2 (150–1000 мкм)	Фракция 3 (800–2000 мкм)
Степень замены муки, %	B	5	10	15
Содержание воды (влажность), %	C	20	22	24
Выходные параметры (отклики)		Единицы измерения	Метод определения	
Твердость теста	R1	г	Пенетрация	
Сопротивление растяжению	R2	г	Микрометод Киффера	
Растяжимость	R3	мм	Микрометод Киффера	

Таблица 2 – План эксперимента Бокса–Бенкена и полученные отклики

№ п/п	Фактор A	Фактор B	Фактор C	Отклик R1	Отклик R2	Отклик R3
	Дисперсность (фракция)	Степень замены, %	Содержание воды, %	Сопротивление растяжению, г	Растяжимость, мм	Твердость, г
1	1	5	22	25,666	12,372	99,664
2	1	10	20	16,586	7,83	144,701
3	1	10	24	20,33	17,292	64,616
4	1	15	22	38,992	15,668	115,152
5	2	5	24	19,559	16,923	59,819
6	2	10	22	18,79	11,939	90,999
7	2	10	22	18,757	11,049	101,438
8	2	10	22	18,457	11,023	117,927
9	2	15	20	11,289	5,912	183,598
10	2	15	24	19,165	14,431	74,581
11	3	5	20	13,84	5,868	124,184
12	3	5	22	20,217	10,147	118,119
13	3	10	20	14,374	6,033	151,161
14	3	10	24	13,242	10,329	83,017
15	3	15	22	17,932	10,758	119,214

Таблица 3 – Описательная статистика и результаты дисперсионного анализа для откликов

Исследуемый отклик	Мин.	Макс.	Среднее	SD	Отношение макс./мин.	p-value	CV, %	R2
R1: Сопротивление растяжению, г	11,29	38,99	19,15	6,3	3,45	0,002	18	0,859
R2: Растяжимость, мм	5,87	17,29	11,17	3,64	2,95	0,119	12	0,923
R3: Твердость, г	59,82	183,6	109,88	32,5	3,07	0,798	10	0,929

входных фактора), расположенных на трех уровнях, использовался план эксперимента Бокса–Бенкена [10] (таблица 1).

Квадратичная модель, полученная с помощью плана, имеет вид:

$$R=\beta0+\beta1A+\beta2B+\beta3C+\beta12AB+\beta13AC+\beta23BC+\beta11A2+\beta22B2+\beta33C2 \quad (1)$$

где R – измеренный отклик; β_0 – свободный член; β_1–β_{33} – коэффициенты регрессии; A, B и C – кодированные уровни входных факторов.

Члены AB, AC и BC представляют взаимодействия входных факторов, а A^2, B^2 и C^2 – квадратичные члены. Члены более высокого порядка или члены с более чем одним фактором представляют нелинейную связь между откликами и факторами. Анализ проводился с использованием программ Statistica 12 и Design-Expert 7 (пробная версия) [11].

Текстурный анализ теста. Текстурные свойства теста определяли на анализаторе текстуры. Твердость теста определяли с помощью пенетрационного теста с применением измерительной оснастки P/6 (цилиндр диаметром 2 мм), которая проникает на глубину 2 мм в тесто, помещенное на твердую металлическую платформу. Максимальная сила, зарегистрированная на глубине 2 мм, представляет собой твердость. Измерения проводились в пяти повторностях при 25 °C с использованием датчиков нагрузки 5 кг и следующих рабочих параметров: скорость предварительного испытания 1 мм/с; скорость испытания 2 мм/с; скорость после испытания 10 мм/с; расстояние 2 мм. Для определения растяжимости и сопротивления растяжению теста использовали микрометод Киффера [12]. Измерения проводились в пяти повторностях при 25 °C с использованием датчиков нагрузки 5 кг и следующих рабочих параметров: скорость предварительного испытания 2,0 мм/с; скорость испытания 3,3 мм/с; скорость после испытания 10 мм/с; расстояние 75 мм; пусковая сила авто-5 г.

Результаты и их обсуждение

Всего было проведено 15 экспериментов, рекомендованных планом Бокса–Бенкена, и полученные результаты показаны в таблице 2.

Средние значения, стандартное отклонение и размах результатов для анализируемых откликов, а также отношение между максимальным и минимальным значениями показаны в таблице 3.

С использованием подобранной полной квадратичной модели, приведенной в уравнении (1), был проведен регрессионный анализ поверхности отклика для каждого из откликов. Значимость входных факторов и взаимодействий в наблюдаемой модели определяли статистическим методом

дисперсионного анализа (ANOVA). При 5% уровне значимости фактор считается влияющим на отклик, если p-значение меньше 0,05. Суммы квадратов, полученные с помощью ANOVA, используются для расчета соответствующих вкладов. Квадратичные модели для R1, R2 и R3 в кодированных терминах выражаются уравнениями регрессии:

$$R1=18,67-4,48A+1,01B+2,03C-3,9AC+3,6A2+3,43B2+6,14C2 \quad (2)$$

$$R2=11,85+1,99A+0,18B+4,17C+1,29AC-1,1A2+1,92B2+1,29C2 \quad (3)$$

$$R3=109,88+5,92A-11,34B-40,2C+11,16BC \quad (4)$$

Результаты ANOVA (неадекватность модели, CV, R^2), приведенные в таблице 3, подтверждают адекватность моделей. Положительный (отрицательный) знак коэффициента в уравнениях (2, 3 и 4) означает, что отклик увеличивается (уменьшается) с фактором.

Вклады всех трех факторов на текстурные характеристики теста показаны на рисунке 1, где линейные и квадратичные вклады объединены.

На рисунке 1 и в уравнении (1) видно, что наибольшее (отрицательное) влияние на сопротивление растяжению теста оказывает фракция зародыша (размер частиц). Белки и волокна зародыша поглощают воду, поэтому они влияют на количество доступной воды для гидратации ингредиентов муки и для формирования прочной структуры теста (содержание влаги также оказывает значительное влияние на сопротивление растяжению).

Меньшие частицы гидратируются быстрее и тем самым способствуют быстрому формированию прочной структуры теста. Также воздушные пузырьки, которые включаются в структуру теста при замесе, тем больше, чем крупнее частицы муки [7]. Это может влиять на образование химических связей между различными компонентами теста.

Содержание влаги оказывает весьма значительное влияние на растяжимость теста. Вода обеспечивает гидратацию частиц муки и образование белковых цепей в тесте. Если воды достаточно, белковые цепи быстро реагируют друг с другом, образуя поперечные связи между частицами муки и формируя качественную клейковинную структуру.

Увеличение содержания воды в образцах теста, как и ожидалось, способствует снижению твердости теста. Гранулам крахмала необходимо достаточное количество воды для гидратации, чего не наблюдается в образцах теста с содержанием воды 20%, поэтому твердость этих образцов возрастает.

Полученные результаты согласуются с данными литературы о влиянии зародыша пшеницы на физические характеристики теста и готовых изделий. Авторы [6] показали, что замена части муки зародышем в количестве до 40% позволяет получить печенье с высоким содержанием белка и клетчатки, однако при этом могут изменяться текстурные свойства теста. Было установлено, что процентное содержание и размер частиц зародыша пшеницы влияют на свойства теста и кексов, что согласуется с нашими данными о влиянии размера частиц на сопротивление растяжению и растяжимость теста.

Наибольшее влияние на текстурные характеристики теста для печенья с зародышами пшеницы оказывает содержание воды. Это объясняется тем, что вода обеспечивает гидратацию частиц муки и образование белковых цепей, а также необходима для гидратации гранул крахмала. При недостатке воды (20%) твердость теста возрастает, что согласуется с данными о влиянии размера частиц муки на текстурные свойства изделий.

Размер частиц зародышей пшеницы влияет на сопротивление растяжению и растяжимость теста. Меньшие частицы гидратируются быстрее и способствуют быстрому формированию прочной структуры теста. Также воздушные пузырьки, которые включаются в структуру теста при замесе, тем больше, чем крупнее частицы муки [7], что может

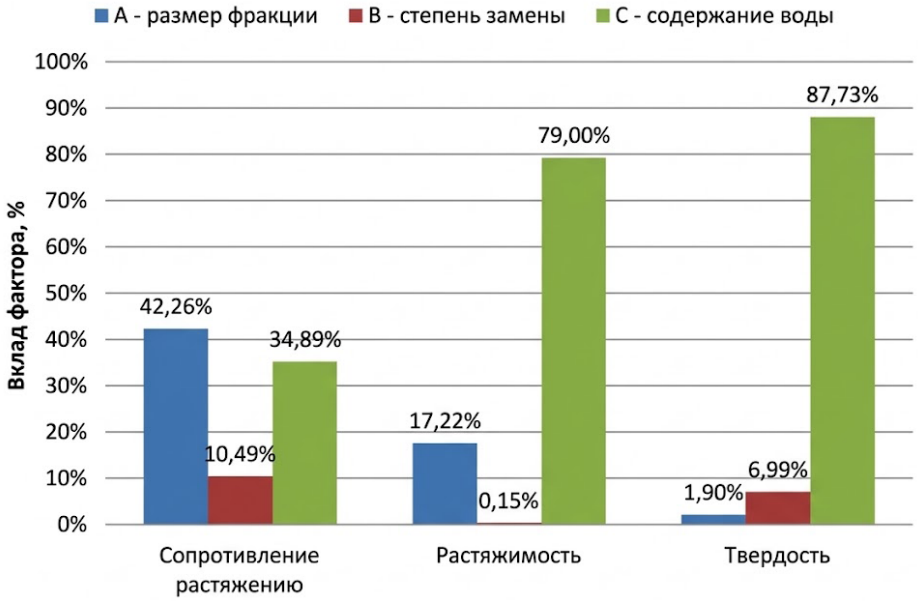


Рис. 1. Вклады основных эффектов на текстурные характеристики теста для печенья

влиять на образование химических связей между различными компонентами теста.

Содержание зародышей пшеницы до 15% не оказывает влияния на текстурные характеристики теста для печенья. Замена до 40% муки зародышем позволяет получить приемлемое по качеству печенье, хотя при более высоких уровнях замены могут наблюдаться изменения текстурных свойств. Полученные результаты свидетельствуют о том, что зародыш пшеницы может быть использован для обогащения печенья без существенного ухудшения физических характеристик теста.

Выводы

Можно заключить, что на текстурные характеристики теста для печенья с зародышем пшеницы наибольшее влияние оказывает содержание воды. Размер частиц зародыша пшеницы влияет на сопротивление растяжению и растяжимость теста. Содержание зародыша пшеницы до 15% не оказывает влияния на текстурные характеристики теста для печенья. Практическая значимость исследования заключается в обосновании возможности использования обезжиренного зародыша пшеницы для обогащения печенья без существенного ухудшения физических характеристик теста, что позволяет оптимизировать рецептуру обогащенных мучных кондитерских изделий. Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением влияния зародыша пшеницы на реологические характеристики теста и характеристики готового продукта, а также с проверкой того, окажет ли большее количество зародыша пшеницы влияние на свойства теста.

Литература

[1] Пономарева О. И. Применение зародышей пшеницы для повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий : дис. … канд. техн. наук : 05.18.07. — М., 2001.

[2] Джураева Н. Р., Исабаев И. Б. Использование муки зародышевого продукта пшеницы в составе жиромучной композиции для производства мучных кондитерских изделий типа печенья //Universum: технические науки. – 2017. – №. 2 (35). – С. 49-53.

[3] Лесникова, Н. А. Мука зародышей пшеницы в технологии мучных кондитерских изделий / Н. А. Лесникова // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2022. – № 2(24). – С. 30-38. – DOI 10.24888/2541-7835-2022-24-31-39. – EDN MRIDKL.

[4] Алексеева Т. В. и др. Исследование процесса набухания жмыха зародышей пшеницы // Фундаментальные исследования. – 2013. – №. 6-6. – С. 1324-1328.

[5] Николаева Ю. В., Тарасова В. В., Пережогина Н. Н. Нетрадиционное растительное сырье в технологии производства мучных кондитерских изделий // Молодой ученый. – 2021. – №. 49. – С. 391.

[6] Arshad M. U., Anjum F. M., Zahoor T. Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ //Food chemistry. – 2007. – Т. 102. – №. 1. – С. 123-128.

[7] Дорохович А., Дорохович В., Яременко О. Использование зародышей пшеницы как физиологически функциональных сырьевых ингредиентов при производстве сдобного печенья для больных сахарным диабетом //Научни трудове на русенския университет. – 2012. – Т. 51. – №. 9.2. – С. 40-43.

[8] Рензяева Т. В., Тубольцева А. С., Рензяев А. О. Мучные кондитерские изделия функциональной направленности на основе многокомпонентных

References

[1] Пономарева О. И. Применение зародышей пшеницы для повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий : дис. … канд. техн. наук : 05.18.07. — М., 2001.

[2] Джураева Н. Р., Исабаев И. Б. Использование муки зародышевого продукта пшеницы в составе жиромучной композиции для производства мучных кондитерских изделий типа печенья //Universum: технические науки. – 2017. – №. 2 (35). – С. 49-53.

[3] Лесникова, Н. А. Мука зародышей пшеницы в технологии мучных кондитерских изделий / Н. А. Лесникова // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2022. – № 2(24). – С. 30-38. – DOI 10.24888/2541-7835-2022-24-31-39. – EDN MRIDKL.

[4] Алексеева Т. В. и др. Исследование процесса набухания жмыха зародышей пшеницы // Фундаментальные исследования. – 2013. – №. 6-6. – С. 1324-1328.

[5] Николаева Ю. В., Тарасова В. В., Пережогина Н. Н. Нетрадиционное растительное сырье в технологии производства мучных кондитерских изделий // Молодой ученый. – 2021. – №. 49. – С. 391.

[6] Arshad M. U., Anjum F. M., Zahoor T. Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ //Food chemistry. – 2007. – Т. 102. – №. 1. – С. 123-128.

[7] Дорохович А., Дорохович В., Яременко О. Использование зародышей пшеницы как физиологически функциональных сырьевых ингредиентов при производстве сдобного печенья для больных сахарным диабетом //Научни трудове на русенския университет. – 2012. – Т. 51. – №. 9.2. – С. 40-43.

[8] Рензяева Т. В., Тубольцева А. С., Рензяев А. О. Мучные кондитерские изделия функциональной направленности на основе многокомпонентных

смесей //Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 47. – №. 4. – С. 77-83.

[9] Petrović J. et al. Effect of defatted wheat germ content and its particle size on the rheological and textural properties of the cookie dough //Journal of texture studies. – 2015. – Т. 46. – №. 5. – С. 374-384.

[10] Box G. E. P., Behnken D. W. Some new three level designs for the study of quantitative variables // Technometrics. – 1960. – Т. 2. – №. 4. – С. 455-475.

[11] Боровиков В. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов // СПб.: Питер. – 2003. – Т. 688. – С. 2.

[12] Kieffer R. et al. Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale //Journal of Cereal Science. – 1998. – Т. 27. – №. 1. – С. 53-60.

[13] Юрна Д. А., Фролов Д. И. Влияние основных ингредиентов на текстурные свойства печенья // Инновационная техника и технология. – 2023. – Т. 10. – №. 1. – С. 44-47.

[14] Пчелинцева, О. Н. Использование облепихового порошка и льняной муки в технологии производства затяжного печенья / О. Н. Пчелинцева, Д. И. Фролов // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2024. – № 2(32). – С. 67-75. – DOI 10.24888/2541-7835-2024-32-67-75. – EDN LFNUEC.

смесей //Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 47. – №. 4. – С. 77-83.

[9] Petrović J. et al. Effect of defatted wheat germ content and its particle size on the rheological and textural properties of the cookie dough //Journal of texture studies. – 2015. – Т. 46. – №. 5. – С. 374-384.

[10] Box G. E. P., Behnken D. W. Some new three level designs for the study of quantitative variables // Technometrics. – 1960. – Т. 2. – №. 4. – С. 455-475.

[11] Боровиков В. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов // СПб.: Питер. – 2003. – Т. 688. – С. 2.

[12] Kieffer R. et al. Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale //Journal of Cereal Science. – 1998. – Т. 27. – №. 1. – С. 53-60.

[13] Юрна Д. А., Фролов Д. И. Влияние основных ингредиентов на текстурные свойства печенья // Инновационная техника и технология. – 2023. – Т. 10. – №. 1. – С. 44-47.

[14] Пчелинцева, О. Н. Использование облепихового порошка и льняной муки в технологии производства затяжного печенья / О. Н. Пчелинцева, Д. И. Фролов // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2024. – № 2(32). – С. 67-75. – DOI 10.24888/2541-7835-2024-32-67-75. – EDN LFNUEC.

Сведения об авторах

Фролов Дмитрий Иванович
кандидат технических наук
доцент кафедры «Пищевые производства»
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»
440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11
Тел.: +7(937) 408-35-28
E-mail: surr@bk.ru

Шканов Данил Матвеевич
аспирант кафедры «Пищевые производства»
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»
440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11
Тел.: +7(937) 914-73-00
E-mail: Danila.shkanov@mail.ru

Information about the authors

Frolov Dmitriy Ivanovich
PhD in Technical Sciences
associate professor at the department of «Food productions»
Penza State Technological University
Phone: +7(937) 408-35-28
E-mail: surr@bk.ru

Shkanov Danil Matveevich
upostgraduate student of the department «Food productions»
Penza State Technological University
Phone: +7(937) 914-73-00
E-mail: Danila.shkanov@mail.ru