

Н. В. Наumenko¹ ✉
 А. А. Чаплина²
 П. В. Сыsoева³
 Р. И. Фаткуллин¹
 Е. Е. Наumenko¹
 И. В. Калинина¹

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

³ ООО «Штерн Ингредиентс», Санкт-Петербург, Россия

✉ Naumenkonv@susu.ru

Поступила в редакцию:
25.12.2023

Одобрена после рецензирования:
11.03.2024

Принята к публикации:
27.03.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-146-152

Natalya V. Naumenko¹ ✉
 Anastasiya A. Chaplina²
 Polina V. Sysoeva³
 Rinat I. Fatkullin¹
 Ekaterina E. Naumenko¹
 Irina V. Kalinina¹

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² ITMO University, St. Petersburg, Russia

³ "Stern Ingredients" LLC, St. Petersburg, Russia

✉ Naumenkonv@susu.ru

Received by the editorial office:
25.12.2023

Accepted in revised:
11.03.2024

Accepted for publication:
27.03.2024

Влияние нетрадиционного сырья на реологические показатели теста и качество хлебобулочных изделий

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Обязательным условием успешного нахождения продукта на рынке являются его высокие органолептические свойства при достаточно низкой ценовой политике. В качестве одного из таких подходов может быть предложено использование нетрадиционных растительных сырьевых ингредиентов (цельнозерновой муки из пророщенного зерна, β -глюкана, пектина и др.), которые позволят сформировать качественные пищевые продукты функциональной направленности.

Методы. Объектами исследования были определены модельные смеси пшеничной муки хлебопекарной высшего сорта и нетрадиционного сырья, а также образцы хлебобулочных изделий (батон нарезной), полученные по традиционной (контроль) и опытной рецептуре. Реологические характеристики теста определяли по показателям альвеографа и фаринографа. Осуществлялась оценка качества готовых хлебобулочных изделий по 40-балльной шкале, а также контроль удельного объема и влажности изделий.

Результаты. Проведенные исследования показали, что внесение β -глюкана оказывает минимальное влияние на упругость теста, наблюдается снижение значений показателя качества фаринографа в среднем на 17–22%. Растяжимость теста снижается при внесении пектина более чем в 2 раза, повышаются значения показателя качества фаринографа, причем наилучший результат характерен при внесении пектина в количестве 2%. Наблюдаются максимальная устойчивость теста к замесу и минимальные значения степени разжижения теста. Контрольные и опытные образцы хлебобулочных изделий имели достаточно высокие суммарные значения органолептической оценки. Удельный объем опытных изделий при внесении β -глюкана в количестве 0,1% увеличивался в среднем на 12%, а при внесении пектина в количестве 4% — на 8% относительно контрольных образцов. Полученные результаты подтвердили возможность и целесообразность использования нетрадиционного сырья в рецептуре хлебобулочных изделий. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ 23-26-00290.

Ключевые слова: клейковина, белок, мука пшеничная, технологические и хлебопекарные свойства, альвеограф, фаринограф, качество хлебобулочных изделий, жирозаменители

Для цитирования: Наumenko Н.В., Чаплина А.А., Сыsoева П.В., Фаткуллин Р.И., Наumenko Е.Е., Калинина И.В. Влияние нетрадиционного сырья на реологические показатели теста и качество хлебобулочных изделий. *Аграрная наука*. 2024; 381(4): 146–152.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-146-152>

© Наumenko Н.В., Чаплина А.А., Сыsoева П.В., Фаткуллин Р.И., Наumenko Е.Е., Калинина И.В.

Influence of non-traditional raw materials on rheological parameters of dough and quality of bakery products

ABSTRACT

Relevance. At the same time, a prerequisite for a successful product on the market is its high organoleptic properties at a fairly low-price policy. As one of such approaches can be proposed the use of non-traditional plant raw ingredients (whole-milled flour from sprouted grain, β -glucan, pectin, etc.), which will allow to form high-quality food products of functional orientation.

Methods. The objects of the study were defined as model mixtures of wheat flour baking flour of the highest grade and non-traditional raw materials, as well as samples of bakery products (sliced loaf) obtained according to the traditional (control) and experimental formulation. The rheological characteristics of the dough were determined by alveograph and farinograph. The quality of the finished bakery products was assessed on a 40-point scale, as well as the control of the specific volume and humidity of the products.

Results. The studies showed that the introduction of β -glucan has a minimal effect on the elasticity of the dough, there is a decrease in the values of the quality index of farinograph on average by 17 - 22%. The dough elasticity decreases with the introduction of pectin more than 2 times, the values of quality indicator of farinograph increase, and the best result is characterized by the introduction of pectin in the amount of 2%, the maximum dough stability to kneading and minimum values of dough liquefaction degree are observed. Control and experimental samples of bakery products had high enough total values of organoleptic evaluation. The specific volume of experimental products increased by an average of 12% when beta-glucan was added in an amount of 0.1%, and by 8% when pectin was added in an amount of 4% relative to control samples. The obtained results confirmed the possibility and expediency of using non-traditional raw materials in the formulation of bakery products. The study was financially supported by the RNF grant 23-26-00290.

Key words: gluten, protein, wheat flour, technological and baking properties, alveograph, farinograph, quality of bakery products, fat substitutes

For citation: Naumenko N.V., Chaplina A.A., Sysoeva P.V., Fatkullin R.I., Naumenko E.E., Kalinina I.V. Influence of non-traditional raw materials on rheological parameters of dough and quality of bakery products. *Agrarian science*. 2024; 381(4): 146–152 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-381-4-146-152>

© Naumenko N.V., Chaplina A.A., Sysoeva P.V., Fatkullin R.I., Naumenko E.E., Kalinina I.V.

Введение/Introduction

Хлеб остается одним из наиболее важных продуктов питания в рационе человека и основным определяющим критерием культурной самобытности сообществ во всем мире [1, 2]. В европейских странах среднее потребление хлеба составляет 57 кг на человека в год¹, тогда как в Российской Федерации данное значение приближено к 90,3 кг в год, при этом 29%² в структуре потребления приходится на традиционные изделия из пшеничной муки. В то же время, по данным сайта Роскачество³, более 41% потребителей в 2022 году отмечали низкое качество такой хлебобулочной продукции, как нарезные батоны, что обуславливает необходимость поиска сбалансированных решений по стабилизации потребительских свойств и повышению функциональных достоинств данной продукции [3].

Необходимо отметить, что изменение образа жизни и рациона питания делает традиционный пшеничный хлеб и хлебобулочные изделия всё менее популярным среди населения [4]. Сегодня формирование рациона питания активного населения направлено на потребление продуктов с новыми потребительскими свойствами, низким содержанием сахара и жиров при увеличении количества пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ [5, 6]. При этом потребители отдают предпочтение продуктам с высокими органолептическими свойствами при их достаточно низкой ценовой политике [7–9]. Поэтому поиск путей совершенствования рецептуры, повышения качества и пищевой ценности данного сегмента продукции является актуальным.

В качестве одного из таких подходов может быть предложено использование нетрадиционных растительных сырьевых ингредиентов (цельнозерновой муки из пророщенного зерна [4, 10, 11], β-глюкана, пектина и др.), которые позволят сформировать качественные пищевые продукты. Ряд исследователей [12–15] установили, что качество хлебобулочных изделий улучшается за счет добавления гидроколлоидов. Пектины и β-глюканы помогают повысить газодерживающую способность теста, улучшают реологические характеристики и взаимодействуют с белками и крахмалом, улучшая их перевариваемость.

В 2011 году Европейская комиссия приняла решение о включении дрожжевого β-глюкана в список пищевых ингредиентов, тем самым повысив важность проводимых исследований и потенциал как сырьевого ингредиента пищевых продуктов [16–18]. Дрожжевой β-глюкан обладает более высокой биологической активностью и выраженным иммунологическим эффектом. Доказано [19–21], что β-глюкан при добавлении в тесто способствует образованию клейковинных сеток, взаимодействует с белками клейковины посредством водородных связей с образованием более стабильной структуры сети клейковины. В результате вокруг крахмала образуется более стабильная физическая оболочка, которая препятствует желатинизации и ретроградации крахмала, что обуславливает перспективность проводимых исследований.

Цель исследования — оценка возможности использования нетрадиционного растительного сырья в технологии хлебобулочных изделий как способа сохранения их качества при уменьшении массовой доли жира в рецептуре.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Исследования проводились в 2023–2024 годах на базе кафедры пищевых и биотехнологий ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» с привлечением оборудования лаборатории КТ «ООО «Штерн Ингредиентс»» (Санкт-Петербург, Россия).

Для проведения исследований были определены следующие объекты:

мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта (далее — мука) (производитель «АО «Петербургский мельничный комбинат»»), приобретенная в розничной торговой сети (г. Санкт-Петербург, Россия);

дрожжевой высокоочищенный бета-1,3/1,6-D-глюкан (далее — β-глюкан) (производитель Angel Yeast Co, Yichang, China);

пектин (Genu Pectin Type YM-115-H) (производитель CP Kelco ApS, Lille Skensved, Дания);

модельные хлебопекарные смеси из муки (дрожжевого β-глюкана и муки, пектина) в указанных соотношениях: образец 1-й — мука: дрожжевой β-глюкан (1000:0,84), образец 2-й — мука: дрожжевой β-глюкан (1000:1,67), образец 3-й — мука: дрожжевой β-глюкан (1000:2,51), образец 4-й — мука: пектин (1000:33,4), образец 5-й — мука: пектин (1000:50,1), образец 6-й — мука: пектин (1000:66,8);

контрольные и опытные образцы хлебобулочных изделий (батонов нарезных).

Для получения контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий использовали, рецептуру представленную в таблице 1.

На этапе входного контроля муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта органолептические показатели оценивались согласно ГОСТ 26574-2017⁴, влажность муки определяли методом воздушно-тепловой сушки согласно ГОСТ 9404-88⁵, качество и количество сырой клейковины — согласно ГОСТ 27839-2013⁶, число падения — методом Хагберга — Пертена по ГОСТ ISO 3093-2016⁷.

Таблица 1. Рецептура контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий (батонов нарезных)

Table 1. Recipe for control and experimental samples of bakery products (sliced loaves)

Наименование сырья	Количество сырья, г						
	КОН-ТРОЛЬ	образец					
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
Мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта («АО «Петербургский мельничный комбинат»», г. Санкт-Петербург, Россия)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Дрожжи прессованные («Саф-Нева», г. Санкт-Петербург, Россия)	10	10	10	10	10	10	10
Соль пищевая (ООО «Соль Петербурга», г. Санкт-Петербург, Россия)	15	15	15	15	15	15	15
Сахар белый («Санкт-Петербургский сахарный завод», г. Санкт-Петербург, Россия)	60	60	60	60	60	60	60
Маргарин столовый с массовой долей жира 75% (ООО «Метро Кэш Энд Керри», г. Санкт-Петербург, Россия)	38	33	33	33	33	33	33
Дрожжевой β-глюкан (Angel Yeast Co, Yichang, China)	–	0,84	1,67	2,51	–	–	–
Пектин (CP Kelco ApS, Lille Skensved, Дания)	–	–	–	–	33,4	50,1	66,8
Вода							
		расчет					

¹ AHFES (Atlantic Area Healthy Food Eco-System) Bakery: European market, consumer trends, and innovation [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.ahfesproject.com/research/bakery-european-market-consumer-trends-and-innovation/> (дата обращения: 29.01.2024).

² В 2022 году потребление хлебных продуктов в РФ составило 90,3 кг в год [Электронный ресурс]. — URL: <https://agrarnayanauka.ru/v-2022-godu-potreblenie-hlebnyh-produktov-v-rf-sostavilo-903-kg-v-god/> (дата обращения: 01.02.2024).

³ Лучшие нарезные батоны в 2023 году [Электронный ресурс]. — URL: <https://rskrf.ru/tips/spetsproekty/luchshie-nareznye-batony-v-2023-godu/> (дата обращения: 26.12.2023).

⁴ ГОСТ 26574-2017 Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия.

⁵ ГОСТ 9404-88 Мука и отруби. Метод определения влажности.

⁶ ГОСТ 27839-2013 Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины.

⁷ ГОСТ ISO 3093-2016 Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга — Пертена действует.

При изучении реологических свойств полученных смесей определяли показатели альвеографа модели Alveolab (производитель компания Chopin, Франция) и программного обеспечения Alveolink NG согласно ГОСТ Р 51415-99⁸.

Реологические характеристики теста определяли показатели фаринографа согласно ГОСТ ISO 5530-1-2013⁹ с использованием фаринографа Brabender (производитель компания Brabender GmbH & Co, Германия) и программного обеспечения Farinograph-TS 2.2.0 (Brabender GmbH & Co, Германия).

Все образцы хлебобулочных изделий изготавливали безопарным способом, компоненты вносили в один прием согласно вышеуказанной рецептуре. Использовалась тестомесильная машина Diosna SP 200 (DIOSNA Dierks & Söhne GmbH, Германия). Выпечка проводилась в шкафу пекарском подовом MIWE CONDO CO 3.1208 с расстойным шкафом (MIWE, Германия). После выпечки контрольные и опытные образцы хлебобулочных изделий хранились в герметичной полимерной упаковке при температуре 22–24 °С и оценивались через 24, 48 и 72 часа хранения. Органолептические показатели качества хлебобулочных изделий оценивали с использованием 40-балльной шкалы, удельный объем хлебобулочных изделий определяли прибором для определения объема хлеба ОХЛ-2 (производитель ООО «Зернотехника», г. Москва, Россия), влажность мякиша — высушиванием в инфракрасном излучении с помощью прибора Sartorius M 150 (концерн Sartorius AG, Германия).

Все результаты исследований проводились в трехкратной повторности и обрабатывались на основе методов математической статистики с использованием Microsoft Excel (США) и MathCad¹⁰. Полученные данные представлены с доверительным коэффициентом 0,95.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Введение нетрадиционного сырья в систему теста из пшеничной хлебопекарной муки может сильно повлиять как на его реологические свойства, так и на качество готовых изделий. Для прослеживаемости эксперимента, возможности экстраполяции представленных исследований в условиях реального производства на начальном этапе были определены ключевые показатели качества муки пшеничной хлебопекарной, представленные в таблице 2.

Таблица 2. Результаты определения входных параметров муки пшеничной хлебопекарной, приобретенной в г. Санкт-Петербурге, используемой для изготовления контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Table 2. Results of determining the input parameters of wheat flour purchased in St. Petersburg, used for the manufacture of control and experimental samples of bakery products

Наименование показателей	Фактическое значение показателей
Вкус	Свойственный пшеничной муке, без посторонних привкусов
Запах	Свойственный пшеничной муке, без посторонних запахов
Наличие минеральной примеси	При разжевывании муки хруст не ощущается
Влажность, %	13,3 ± 0,5
Число падения, с.	302 ± 10
Количество клейковины, %	25,8 ± 0,6
Качество клейковины, ед. ИДК	67,0 ± 4,0

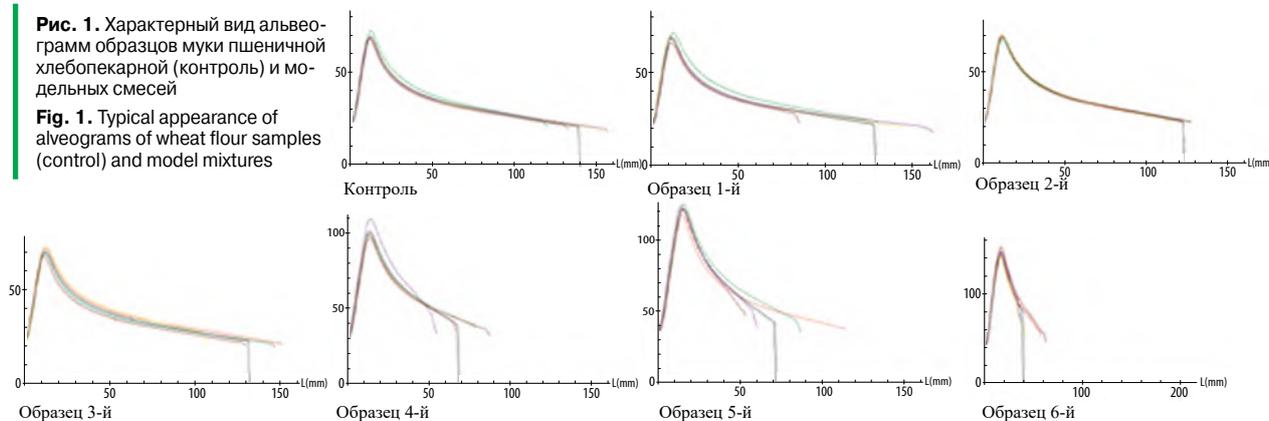
Органолептические показатели выбранного для исследования образца муки пшеничной хлебопекарной соответствуют ГОСТ 26574-2017¹¹. Значения показателя «число падения» имеют несколько завышенные характеристики (302 ± 10) ед. относительно рекомендуемого в открытых источниках литературы (200–250) ед.¹². Такая мука имеет низкую активность α-амилазы и может обладать недостаточной сахаробразующей способностью, что можно скорректировать внесением в рецептуру нетрадиционного растительного сырья. Количество клейковины имеет заниженные значения, что в дальнейшем может негативно сказаться на формировании каркаса теста и удельном объеме готовых изделий. Качество клейковины характеризуется, согласно ГОСТ 27839-2013¹³, как «средняя (хорошая)», что позволяет рекомендовать данное сырье для получения хлебобулочных изделий.

Использование нетрадиционного сырья в рецептуре хлебобулочных изделий может негативно сказаться на формировании белкового каркаса и изменении реологических свойств теста, поэтому на начальном этапе исследований были оценены реологические свойства контрольных и опытных образцов теста. Характерный вид альвеограмм образцов муки пшеничной хлебопекарной (контроль) и модельных смесей представлен на рисунке 1.

Реологические показатели контрольных и опытных образцов теста, полученные на альвеографе, представлены в таблице 3.

Рис. 1. Характерный вид альвеограмм образцов муки пшеничной хлебопекарной (контроль) и модельных смесей

Fig. 1. Typical appearance of alveograms of wheat flour samples (control) and model mixtures



⁸ ГОСТ Р 51415-99 Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Определение реологических свойств с применением альвеографа.

⁹ ГОСТ ISO 5530-1-2013 Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Часть 1. Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фаринографа.

¹⁰ <https://www.mathcad.com/en/>

¹¹ ГОСТ 26574-2017. Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия.

¹² Совершенствование технологий хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий функционального назначения: монография /

[С.Я. Корячкина, Г.А. Осипова, Е.В. Хмельова и др.] под ред. С.Я. Корячкиной. Орел: Госуниверситет — УНПК. 2012; 262. ISBN 978-5-93932-448-9

¹³ ГОСТ 27839-2013 Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины.

Таблица 3. Реологические показатели контрольных и опытных образцов теста, полученные на альвеографе

Table 3. Rheological parameters of control and experimental test samples obtained on an alveograph

Наименование образца	Энергия деформации теста W, Дж	Максимальное избыточное давление P, мм вод. ст.	Средняя абсцисса при разрыве L, мм	Показатель формы кривой P/L, мм вод. ст. / мм	Индекс раздувания G, см ³ /г
Контроль	314×10 ⁻⁴	76	138	0,55	26,1
Образец 1-й	299×10 ⁻⁴	76	127	0,60	25,1
Образец 2-й	290×10 ⁻⁴	76	121	0,63	24,5
Образец 3-й	314×10 ⁻⁴	78	130	0,60	25,4
Образец 4-й	276×10 ⁻⁴	112	67	1,67	18,2
Образец 5-й	339×10 ⁻⁴	134	71	1,89	18,8
Образец 6-й	262×10 ⁻⁴	162	38	4,26	13,7

Исследование реологических свойств теста при помощи альвеографа позволяет отследить деформационные характеристики, происходящие в процессе брожения. Внесение β-глюкана оказывает минимальное влияние на упругость теста, тогда как пектин повышает значения показателя «максимальное избыточное давление». Растяжимость системы (показатель L) снижается при внесении пектина более чем в 2 раза (для образцов 4-й и 5-й) и более чем в 3,5 раза (для образца 6-й) по сравнению с контролем. Рядом исследователей доказано¹⁴, что белок клейковины образует с пектином белково-полисахаридный комплекс и делает тесто более упругим и менее эластичным при формировании тестовых полуфабрикатов. Данный факт позволяет рекомендовать для повышения эластичности теста, увеличения удельного объема готовых изделий, а также для получения развитой тонкостенной пористости вносить путем частичной замены пшеничной муки высшего сорта в рецептуру цельнозерновую муку из пророщенного зерна пшеницы. Сила муки, характеризующая значениями показателя W, варьируется в пределах изменения 10%, при этом явно выраженной динамики изменения показателя от количества вносимого нетрадиционного сырья нет.

На следующем этапе исследований было оценено влияние нетрадиционного сырья на реологические показатели контрольных и опытных образцов теста, полученные на фаринографе (рис. 2).

Внесение дрожжевого β-глюкана приводит к снижению значений показателя качества фаринографа в среднем на 17–22%, причем данная характеристика в минимальной степени зависит от количества внесения данного нетрадиционного сырья. Другие реологические показатели (устойчивость теста к замесу, степень разжижения) находятся в диапазоне значений, приближенных к контролю, варьирование отмечается в пределах погрешности экспериментальных данных. Возможно предположить, что дрожжевой β-глюкан минимально взаимодействует с белками клейковины и не препятствует их набуханию и формированию трехмерной структуры.

Внесение в рецептуру пшеничного теста пектина позволило повысить значения показателя качества фаринографа, причем наилучший результат характерен при внесении пектина в количестве 2%. При этом наблюдаются максимальная устойчивость теста к замесу и минимальные значения степени разжижения теста. Однако

Рис. 2. Реологические показатели контрольных и опытных образцов теста, полученные на фаринографе

Fig. 2. Rheological indicators of control and experimental test samples obtained on a farinograph

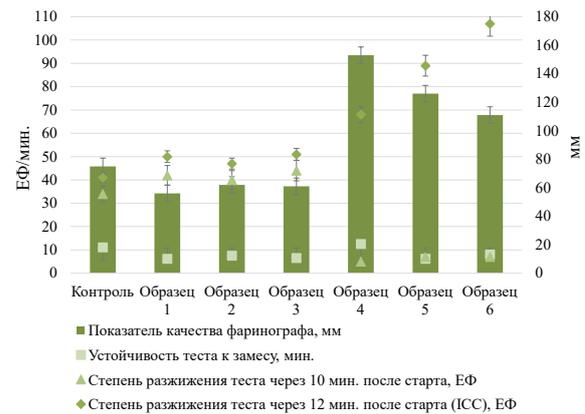


Таблица 4. Результаты определения показателей «водопоглощение» и «время образования теста» контрольного и опытных образцов

Table 4. Results of determining the indicators “water absorption” and “dough formation time” of control and test samples

Наименование образца	Водопоглощение, %	Время образования теста, мин.
Контроль	57,5 ± 0,7	2,16 ± 0,30
Образец 1-й	57,5 ± 0,4	1,45 ± 0,52
Образец 2-й	57,6 ± 0,6	1,46 ± 0,32
Образец 3-й	58,0 ± 0,4	1,54 ± 0,42
Образец 4-й	64,0 ± 0,6	8,40 ± 0,46
Образец 5-й	68,5 ± 0,3	8,32 ± 0,40
Образец 6-й	72,1 ± 0,5	8,03 ± 0,22

при внесении пектина в большем количестве (3%, 4%) показатель качества фаринографа снижается и наблюдается разжижение теста в процессе замеса, что, возможно, обусловлено изменениями белковой структуры и более быстрым набуханием пектина в процессе замеса теста. Данное предположение подтверждается временем образования теста опытных образцов с пектином (образцы 4-й, 5-й и 6-й), они имеют значения, превышающие в несколько раз контроль по данному показателю (табл. 4).

Внесение в рецептуру дрожжевого β-глюкана практически не оказало влияния на водопоглотительную способность теста, тогда как ряд исследований [18, 19, 22–24], представленных в открытой печати, отмечают увеличение данного показателя на 0,5–5%. Такие эффекты авторами объясняются структурой (соотношением связей 1,3:1,4) и высокой водопоглощающей способностью высокоочищенной фракцией некрахмальных полисахаридов овсяного и ячменного β-глюкана, что объясняет их способность первыми поглощать водную составляющую при замесе теста, тогда как используемый в исследовании дрожжевой β-глюкан представляет собой полисахарид с молекулярной массой 100–200 кДа, состоит из β1,3- и β1,6-глюкановых структур, к которым прикреплены хитин, различные маннопротеины, и не проявляет столь активных сорбционных свойств относительно водной фракции теста.

Необходимо учитывать, что в рецептуре опытных образцов (1-й, 2-й и 3-й) внесение дрожжевого β-глюкана производилось с учетом адекватного уровня потребления [20, 22] и не оказало значимых различий на

¹⁴ Донченко Л.В. Технология пектина и пектинопродуктов: учеб. пособие. М.: ДеЛи. 2000; 354.

Рис. 3. Внешний вид полученных контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Fig. 3. Appearance of the obtained control and experimental samples of bakery products

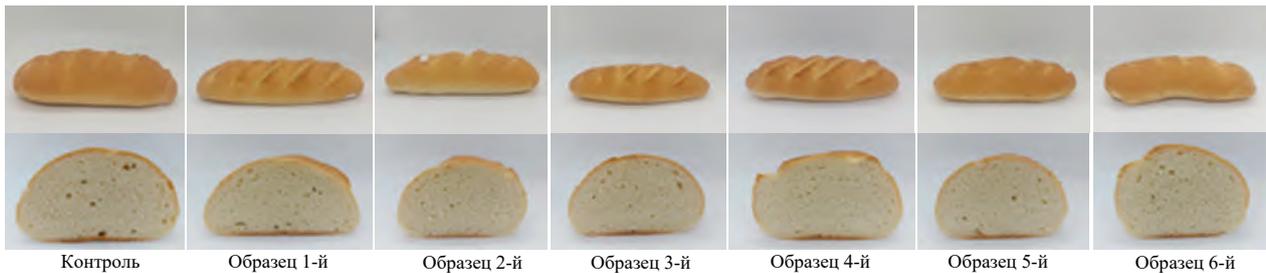
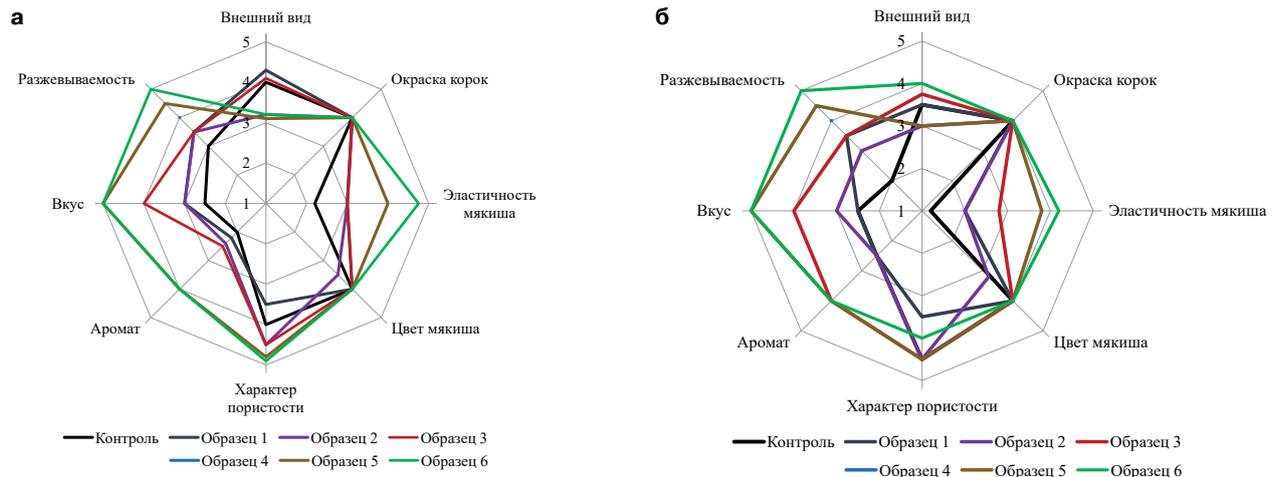


Рис. 4. Профилограммы органолептической оценки контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий: а — 24 часа хранения, б — 72 часа хранения

Fig. 4. Profilograms of organoleptic evaluation of control and experimental samples of bakery products: a — 24 hours of storage, b — 72 hours of storage



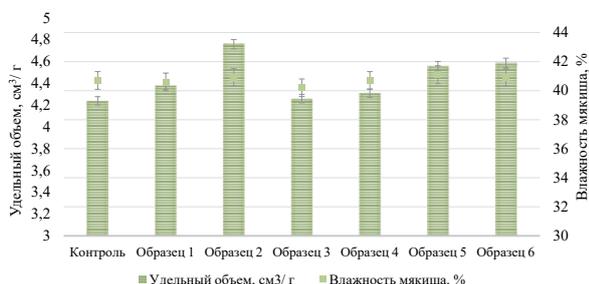
водопоглотительную способность теста, тогда как время образования теста данных образцов сократилось в среднем на 30%.

Изменения реологических характеристик, несомненно, оказали влияние на органолептические свойства хлебобулочных изделий (рис. 3, 4).

Полученные результаты органолептической оценки позволяют сказать, что контрольные и опытные образцы хлебобулочных изделий имели правильную форму, гладкую поверхность, равномерную пористость, достаточную эластичность мякиша. Эластичность мякиша контрольных образцов имела наименьшие значения, дегустаторы отмечали повышенную плотность и комкающийся мякиш, что наиболее ощущалось на конец хранения. При этом опытные образцы, полученные с внесением β -глюкана, характеризовались более равномерной тонкостенной развитой пористостью, мягким, достаточно эластичным мякишем с хорошей разжевываемостью.

Рис. 5. Результаты определения удельного объема и влажности мякиша контрольных и опытных образцов хлебобулочных изделий

Fig. 5. Results of determining the specific volume and moisture content of the crumb of control and experimental samples of bakery products



Опытные образцы, полученные с внесением пектина, имели наилучшие свойства мякиша: мягкий, эластичный, хорошо разжевываемый, создающий приятное ощущение (вкус и аромат) во рту.

Необходимо отметить, что в рецептуре опытных образцов теста был сокращен объем внесенного маргарина на 5%, что могло негативно сказаться на их органолептических свойствах, однако как на начало, так и на конец хранения (при суммарной балловой оценке) данные образцы имели большие значения по показателям «вкус», «аромат», «эластичность мякиша», «характер пористости» относительно контрольных образцов.

На показатели «окраска корок», «цвет мякиша», «влажность мякиша» внесение нетрадиционных сырьевых оказало минимальное значение, тогда как удельный объем готовых изделий имел значительный диапазон варьирования (рис. 5).

Удельный объем опытных образцов хлебобулочных изделий варьировался в зависимости от внесения нетрадиционного сырья. Так, внесение β -глюкана в количестве 0,1% (образец 2-й) позволило увеличить значение данного показателя в среднем на 12%, а внесение пектина в количестве 4% (образец 6-й) — на 8% соответственно.

Выводы/Conclusions

Полученные результаты позволяют сказать, что использование нетрадиционного сырья в технологии хлебобулочных изделий позволяет получить продукты с высокими потребительскими характеристиками, уменьшив при этом содержание жиров в рецептуре опытных образцов.

Внесение β -глюкана оказывает минимальное влияние на упругость теста, наблюдается снижение значений

показателя качества фаринографа в среднем на 17–22%, причем данная характеристика в наименьшей степени зависит от количества внесения данного сырья. Контрольные и опытные образцы хлебобулочных изделий имели достаточно высокие суммарные значения органолептической оценки. Удельный объем опытных изделий при внесении β -глюкана в количестве 0,1% увеличивался в среднем на 12%.

Использование в рецептуре пектина повышает значения показателя «максимальное избыточное давление». Растяжимость теста при внесении пектина снижается более чем в 2 раза, повышаются значения показателя качества фаринографа, причем наилучший

результат характерен при внесении пектина в количестве 2%, наблюдаются максимальная устойчивость теста к замесу и минимальные значения степени разжижения теста.

В ходе проведения исследований было установлено, что внесение пектина в больших количествах делает тесто упругим и менее эластичным, что может негативно сказаться на качестве готовых изделий. Данный факт позволяет рекомендовать вносить путем частичной замены пшеничной муки высшего сорта в рецептуру цельнозерновую муку из пророщенного зерна пшеницы, что требует дальнейших исследований в выбранном направлении.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФ 23-26-00290.

FUNDING

The research was carried out with financial support from the Russian Science Foundation grant 23-26-00290.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рустемова А.Ж., Ребезов М.Б. Зернобобовая смесь как перспективный сырьевой источник в технологии хлебопечения. *Аграрная наука*. 2023; (6): 121–125. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-121-125>
2. Рустемова А.Ж., Ребезов М.Б. Применение зернобобовой смеси для хлебобулочных изделий. *Аграрная наука*. 2023; (8): 137–142. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142>
3. Косован А.П., Шапошников И.И. Анализ и перспективы развития рынка хлебобулочных изделий в России и за рубежом. *Хлебопродукты*. 2015; (7): 8–10. <https://www.elibrary.ru/txqnxz>
4. Науменко Н.В., Потороко И.Ю., Велямов М.Т. Цельнозерновая мука из пророщенного зерна пшеницы как пищевой ингредиент в технологии продуктов питания. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2019; 7(3): 23–30. <https://doi.org/10.14529/food190303>
5. Зинина О.В., Павлова Я.С., Ребезов М.Б., Чанов И.М., Николкина А.Д., Нуримхан Г.Н. Разработка и исследование крекера, обогащенного пищевыми волокнами. *Аграрная наука*. 2022; (9): 173–179. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179>
6. Смольникова Ф.Х., Конганбаев Е.К., Коселева Е.А., Ребезов М.Б., Асенова Б.К. Технология вафельного рождка для мягкого мороженого с использованием нутовой муки и псиллиума. *Аграрная наука*. 2023; (7): 144–148. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-144-148>
7. Нилова Л.П. Влияние технологических факторов на качество и антиоксидантную активность обогащенных хлебобулочных изделий. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2016; 4(1): 55–63. <https://doi.org/10.14529/food160107>
8. Нилова Л.П., Пилипенко Т.В., Вытовтов А.А., Икрамов Р.А. Использование ИК-спектроскопии для изучения механизма меланоидинообразования в обогащенных хлебобулочных изделиях. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2015; (2): 26–30. <https://www.elibrary.ru/tmcciv>
9. Старовойтова Я.Ю., Чугунова О.В., Школьников М.Н., Струпан Е.А. Разработка национальных булочных изделий из овсяной муки и растительными добавками. *Вестник КрасГАУ*. 2018; (3): 181–188. <https://www.elibrary.ru/utfchd>
10. Ding J., Hou G.G., Nemzer B.V., Xiong S., Dubat A., Feng H. Effects of controlled germination on selected physicochemical and functional properties of whole-wheat flour and enhanced γ -aminobutyric acid accumulation by ultrasonication. *Food Chemistry*. 2018; 243: 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.128>
11. Naumenko N., Potoroko I., Kalinina I. Stimulation of antioxidant activity and γ -aminobutyric acid synthesis in germinated wheat grain *Triticum aestivum* L. by ultrasound: Increasing the nutritional value of the product. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 86: 106000. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106000>
12. Ямашев Т.А., Гематдинова В.М., Канарский А.В. Влияние изолята овсяного бета-глюкана на реологию теста из пшеничной муки высшего сорта и качество хлебобулочных изделий. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*. 2020; (2): 62–75. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-62-75>
13. Ding J. et al. Enhancing Contents of γ -Aminobutyric Acid (GABA) and Other Micronutrients in Dehulled Rice during Germination under Normoxic and Hypoxic Conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016; 64(5): 1094–1102. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04859>

REFERENCES

1. Rustemova A.Zh., Rebezov M.B. Leguminous mixture as a promising raw material source in bakery technology. *Agrarian science*. 2023; (6): 121–125 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-371-6-121-125>
2. Rustemova A.Zh., Rebezov M.B. The use of leguminous mixture for bakery products. *Agrarian science*. 2023; (8): 137–142 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-137-142>
3. Kosovan A.P., Shaposhnikov I.I. Analysis and prospects for the development of the bakery products market in Russia and abroad. *Khleboproducty*. 2015; (7): 8–10 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/txqnxz>
4. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Velyamov M.T. Sprouted Whole Wheat Grain as a Food Constituent in Food Technology. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2019; 7(3): 23–30 (in Russian). <https://doi.org/10.14529/food190303>
5. Zinina O.V., Pavlova Ya.S., Rebezov M.B., Chanov I.M., Nikolina A.D., Nurymkhan G.N. Development and examination of a cracker enriched with dietary fiber. *Agrarian science*. 2022; (9): 173–179 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-173-179>
6. Smolnikova F.H., Konganbayev E.K., Kosheleva E.A., Rebezov M.B., Asenova B.K. Waffle cone technology for soft ice cream using chickpea flour and psyllium. *Agrarian science*. 2023; (7): 144–148 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-372-7-144-148>
7. Nilova L.P. Influence of Technological Factors on the Quality and Antioxidant Activity of Enriched Bakery Products. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2016; 4(1): 55–63 (in Russian). <https://doi.org/10.14529/food160107>
8. Nilova L.P., Pilipenko T.V., Vytovtov A.A., Ikrarov R.A. The use of IR spectroscopy to study the mechanism of melanoidins formation in enriched bakery products. *Storage and Processing of Farm Products*. 2015; (2): 26–30 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tmcciv>
9. Starovoytova Ya.Yu., Chugunova O.V., Shkolnikova M.N., Strupan E.A. The development of national bakery products with oatmeal and herbal additives. *Bulletin of KrasGAU*. 2018; (3): 181–188 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/utfchd>
10. Ding J., Hou G.G., Nemzer B.V., Xiong S., Dubat A., Feng H. Effects of controlled germination on selected physicochemical and functional properties of whole-wheat flour and enhanced γ -aminobutyric acid accumulation by ultrasonication. *Food Chemistry*. 2018; 243: 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.128>
11. Naumenko N., Potoroko I., Kalinina I. Stimulation of antioxidant activity and γ -aminobutyric acid synthesis in germinated wheat grain *Triticum aestivum* L. by ultrasound: Increasing the nutritional value of the product. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022; 86: 106000. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106000>
12. Yamashev T.A., Gematdinova V.M., Kanarsky A.V. The effect of oat beta-glucan isolate on the rheology of dough from premium wheat flour and the quality of bakery products. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment*. 2020; (2): 62–75 (in Russian). <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-62-75>
13. Ding J. et al. Enhancing Contents of γ -Aminobutyric Acid (GABA) and Other Micronutrients in Dehulled Rice during Germination under Normoxic and Hypoxic Conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016; 64(5): 1094–1102. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04859>

14. Dżiki D., Różyło R., Gawlik-Dżiki U., Świeca M. Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds. *Trends in Food Science & Technology*. 2014; 40(1): 48–61. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.010>

15. Zeng F., Hu Z., Yang Y., Jin Z., Jiao A. Regulation of baking quality and starch digestibility in whole wheat bread based on β -glucans and protein addition strategy: Significance of protein-starch-water interaction in dough. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 256(2): 128021. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128021>

16. Li J., Yin L., Li J. Effect of Pectins on Dough Rheology and Chinese Steamed Bread Quality. *Grain & Oil Science and Technology*. 2018; 1(2): 77–84. <https://doi.org/10.3724/SPJ.1447.GOST.2018.18034>

17. Nelson K., Stojanovska L., Vasiljevic T., Mathai M. Germinated grains: a superior whole grain functional food?. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. 2013; 91(6): 429–441. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2012-0351>

18. Ragaei S., Guzar I., Dhull N., Seetharaman K. Effects of fiber addition on antioxidant capacity and nutritional quality of wheat bread. *LWT – Food Science and Technology*. 2011; 44(10): 2147–2153. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.016>

19. Skendi A., Biliaderis C.G., Papageorgiou M., Izydorczyk M.S. Effects of two barley β -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Food Chemistry*. 2010; 119(3): 1159–1167. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.030>

20. Tian B. *et al.* Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food Chemistry*. 2010; 119(3): 1195–1200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.035>

21. Wu Q.Y. *et al.* Accumulating pathways of γ -aminobutyric acid during anaerobic and aerobic sequential incubations in fresh tea leaves. *Food Chemistry*. 2018; 240: 1081–1086. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.004>

22. Коденцова В.М., Рисник Д.В. Разнообразие β -глюканов: свойства, адекватные и клинически эффективные дозы. *Медицинский алфавит*. 2022; (16): 121–126. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-16-121-126>

23. Singh H., Singh N., Kaur L., Saxena S.K. Effect of sprouting conditions on functional and dynamic rheological properties of wheat. *Journal of Food Engineering*. 2001; 47(1): 23–29. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00094-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00094-7)

24. Petravić-Tominac V., Zechner-Krpan V., Grba S., Srećec S., Panjkota-Krbavčić I., Vidović L. Biological Effects of Yeast β -Glucans. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2010; 75(4): 149–158.

14. Dżiki D., Różyło R., Gawlik-Dżiki U., Świeca M. Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds. *Trends in Food Science & Technology*. 2014; 40(1): 48–61. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.010>

15. Zeng F., Hu Z., Yang Y., Jin Z., Jiao A. Regulation of baking quality and starch digestibility in whole wheat bread based on β -glucans and protein addition strategy: Significance of protein-starch-water interaction in dough. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 256(2): 128021. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128021>

16. Li J., Yin L., Li J. Effect of Pectins on Dough Rheology and Chinese Steamed Bread Quality. *Grain & Oil Science and Technology*. 2018; 1(2): 77–84. <https://doi.org/10.3724/SPJ.1447.GOST.2018.18034>

17. Nelson K., Stojanovska L., Vasiljevic T., Mathai M. Germinated grains: a superior whole grain functional food?. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. 2013; 91(6): 429–441. <https://doi.org/10.1139/cjpp-2012-0351>

18. Ragaei S., Guzar I., Dhull N., Seetharaman K. Effects of fiber addition on antioxidant capacity and nutritional quality of wheat bread. *LWT – Food Science and Technology*. 2011; 44(10): 2147–2153. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.016>

19. Skendi A., Biliaderis C.G., Papageorgiou M., Izydorczyk M.S. Effects of two barley β -glucan isolates on wheat flour dough and bread properties. *Food Chemistry*. 2010; 119(3): 1159–1167. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.030>

20. Tian B. *et al.* Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food Chemistry*. 2010; 119(3): 1195–1200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.035>

21. Wu Q.Y. *et al.* Accumulating pathways of γ -aminobutyric acid during anaerobic and aerobic sequential incubations in fresh tea leaves. *Food Chemistry*. 2018; 240: 1081–1086. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.004>

22. Kodentsova V.M., Risnik D.V. Variety of β -glucans: properties, adequate and clinically effective doses. *Medical alphabet*. 2022; (16): 121–126 (in Russian). <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2022-16-121-126>

23. Singh H., Singh N., Kaur L., Saxena S.K. Effect of sprouting conditions on functional and dynamic rheological properties of wheat. *Journal of Food Engineering*. 2001; 47(1): 23–29. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00094-7](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00094-7)

24. Petravić-Tominac V., Zechner-Krpan V., Grba S., Srećec S., Panjkota-Krbavčić I., Vidović L. Biological Effects of Yeast β -Glucans. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2010; 75(4): 149–158.

ОБ АВТОРАХ

Наталья Владимировна Науменко¹

доктор технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий
naumenkonv@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9520-3251>

Анастасия Андреевна Чаплина²

магистр
<https://orcid.org/0009-0007-5179-1948>
1nast@mail.ru

Полина Валерьевна Сысоева³

руководитель отдела исследований и разработок
psysoeva@sterningredients.ru
<https://orcid.org/0009-0000-3634-636X>

Ринат Ильгидарович Фаткуллин¹

кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых и биотехнологий
fatkullinri@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1498-0703>

Екатерина Евгеньевна Науменко¹

магистр
<https://orcid.org/0000-0002-0213-1595>
9193122375@mail.ru

Ирина Валерьевна Калинина¹

доктор технических наук, профессор кафедры пищевых и биотехнологий, доцент
kalininaiv@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>

¹ Южно-Уральский государственный университет, пр. Ленина, 76, Челябинск, 454080, Россия

² Университет ИТМО, Кронверкский пр-т, д. 49, литера А, 197101, Санкт-Петербург, Россия

³ ООО «Штерн Ингредиентс», Свердловская набережная, 38, литера В, 195027, Санкт-Петербург, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Natalya Vladimirovna Naumenko¹

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology
naumenkonv@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9520-3251>

Anastasiya Andreevna Chaplina²

Master
1nast@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0007-5179-1948>

Polina Valeryevna Sysoeva³

Head of the Research and Development Department
psysoeva@sterningredients.ru
<https://orcid.org/0009-0000-3634-636X>

Rinat Ilgidarovich Fatkullin¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology
fatkullinri@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1498-0703>

Ekaterina Evgenievna Naumenko¹

Master
<https://orcid.org/0000-0002-0213-1595>
9193122375@mail.ru

Irina Valeryevna Kalinina¹

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food and Biotechnology, Associate Professor
kalininaiv@susu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6246-9870>

¹ South Ural State University, 76 Lenina Ave., Chelyabinsk, 454080, Russia

² ITMO University, 49 litera A Kronverksky Prospekt, St. Petersburg, 197101, Russia

³ “Stern Ingredients” LLC, 38 litera B Sverdlovskaya naberezhnaya, St. Petersburg, 195027, Russia