

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2458>
<https://elibrary.ru/QXNIPR>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Разработка технологии функциональных хлебобулочных изделий



О. А. Ладнова^{1,*}, С. Я. Корячкина²,
В. П. Корячкин², А. С. Большакова¹

¹ Среднерусский институт управления – филиал РАНХиГС, Орел, Россия

² Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева^{ROR}, Орел, Россия

Поступила в редакцию: 29.12.2022

Принята после рецензирования: 28.04.2023

Принята к публикации: 02.05.2023

*О. А. Ладнова: ladnovaol@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-4747-7116>

С. Я. Корячкина: <https://orcid.org/0000-0003-0481-4936>

В. П. Корячкин: <https://orcid.org/0000-0002-5379-5586>

А. С. Большакова: <https://orcid.org/0000-0003-4074-4461>

© О. А. Ладнова, С. Я. Корячкина, В. П. Корячкин,
А. С. Большакова, 2023



Аннотация.

Семена гороха (*Pisum sativum* L.) богаты белком, пищевыми волокнами (клетчатка, гемицеллюлоза, пектины), витаминами группы В и другими веществами. Белки гороха удовлетворяют почти всем требованиям аминокислотного состава эталонного белка. Лимитирующими аминокислотами белка гороха являются серосодержащие (метионин и цистеин), также горох богат лизином – лимитирующей аминокислотой для пшеничной муки. Использование продуктов переработки гороха может способствовать расширению ассортимента высокобелковых продуктов питания массового спроса, в том числе хлебобулочных изделий. Цель работы – разработка технологии хлеба функционального назначения из смеси цельносмолотой муки семян гороха и глютена пшеничного.

Объектами исследования являлись мука пшеничная хлебопекарная, глютен пшеничный, мука цельносмолотая из семян гороха сортов San Cirignano и Вега, образцы теста и готового хлеба. Состояние углеводно-амилазного комплекса муки определяли на приборе Амилотест АТ-97, содержание крахмала – поляриметрическим методом, белка в муке – спектрофотометрическим, в хлебе – методом Кьельдаля. Реологические свойства теста исследовали на вискозиметре Реотест-2. Органолептическую оценку качества хлеба проводили экспертным методом, а химический состав – расчетно-аналитическим.

Исследования показали, что цельносмолотая мука из семян гороха обладала меньшей вязкостью крахмального геля по сравнению с пшеничной мукой. Увеличение дозировки муки при замесе теста приводило к повышению его вязкости. Применение цельносмолотой муки из семян гороха, имеющей высокую кислотность (7,2 и 9,4 град. для муки из гороха сортов San Cirignano и Вега соответственно) и автолитическую активность («число падения» ниже 80 с), позволяет сократить технологический процесс на 115 и 145 мин и получить хлеб с хорошими физико-химическими и органолептическими показателями качества. Благодаря применению высокобелкового сырья в хлебе повышалось содержание белка на 41,9–46,4 % по сравнению с контрольным образцом. Это позволяет удовлетворить суточную потребность в белке на 33,1–34,2 % при употреблении 100 г хлеба.

В работе обосновали ускоренную технологию хлеба функционального назначения из смеси цельносмолотой муки семян высокобелковых сортов гороха San Cirignano и Вега и пшеничного глютена при соотношении 20/80 и 30/70 соответственно.

Ключевые слова. Мука, горох, белок, глютен, белковый хлеб, функциональные продукты, пищевая ценность, обогащение

Для цитирования: Разработка технологии функциональных хлебобулочных изделий / О. А. Ладнова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 3. С. 576–590. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2458>

New Technology of Functional Bakery Products



Olga L. Ladnova^{1,*}, Svetlana Ya. Koryachkina²,
Vladimir P. Koryachkin², Larisa S. Bolshakova¹

¹ Central Russian Institute of Management – Branch of RANEPA, Orel, Russia

² I.S. Turgenev Orel State University^{ROR}, Orel, Russia

Received: 29.12.2022

Revised: 28.04.2023

Accepted: 02.05.2023

*Olga L. Ladnova: ladnovaol@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-4747-7116>

Svetlana Ya. Koryachkina: <https://orcid.org/0000-0003-0481-4936>

Vladimir P. Koryachkin: <https://orcid.org/0000-0002-5379-5586>

Larisa S. Bolshakova: <https://orcid.org/0000-0003-4074-4461>

© O.L. Ladnova, S.Ya. Koryachkina, V.P. Koryachkin,
L.S. Bolshakova, 2023



Abstract.

Peas (*Pisum sativum* L.) are rich in protein, B vitamins, and dietary fiber, represented by hemicellulose and pectins. In terms of amino acids, pea proteins are as close to the reference protein as possible. The limiting amino acids of pea protein are sulfur-containing, i.e., methionine and cysteine. Peas are also rich in lysine, which is the limiting amino acid for wheat flour. Therefore, products of pea processing can expand the range of commercial high-protein foods, including functional bakery products. The research objective was to develop a technology for functional bread from a mix of wholemeal pea flour and wheat gluten.

The study featured baking wheat flour, wheat gluten, wholemeal pea flour of San Cipriano and Vega varieties, dough samples, and ready-made bread. The carbohydrate-amylase complex of flour was studied using an Amilotest AT-97 device. The starch content was determined by the polarimetric method. The spectrophotometric method served to test the flour samples for protein while the Kjeldahl method was applied to the bread samples. The rheological properties of the dough were studied on a Reotest 2 viscometer. The sensory evaluation relied on a panel of experts, and the chemical composition was revealed by calculation and analytically.

The wholemeal pea flour had a lower starch gel viscosity compared to the wheat flour sample. A greater amount of flour added during kneading increased the viscosity of the resulting dough. The acidity was rather high: 7.2 and 9.4 degrees for San Cipriano and Vega samples, respectively, and so was the autolytic activity (≤ 80 s). These useful qualities made it possible to reduce the technological process by 115 and 145 min. The resulting bread demonstrated good physical, chemical, and sensory indicators. The high-protein raw materials increased the protein content in bread by 41.9–46.4%, compared to the control sample, which equaled 33.1–34.2% of the recommended daily intake per 100 g of bread.

The optimal ratio of wholemeal high-protein pea flour and wheat gluten was 20/80 for the San Cipriano samples and 30/70 for the Vega variety.

Keywords. Flour, peas, protein, gluten, protein bread, functional foods, nutritional value, fortification

For citation: Ladnova OL, Koryachkina SYa, Koryachkin VP, Bolshakova LS. New Technology of Functional Bakery Products. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(3):576–590. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2458>

Введение

Недостаток белка в организме человека приводит к нарушению его нормальной жизнедеятельности и серьезным последствиям, таким как замедление роста и развития у детей, изменения в печени, нарушение деятельности желез внутренней секреции, изменение гормонального фона у взрослых. Часто белковая недостаточность сопровождается авитаминозом (дефицитом витаминов В₁₂, А и D), поэтому ликвидация дефицита пищевого белка является основной

задачей при организации здорового питания населения. Введение белков в рацион удлиняет процесс усвоения углеводов и снижает суммарный гликемический индекс потребляемой пищи, что позволяет без скачков инсулина длительное время поддерживать достаточный уровень сахара в крови. Это важно в питании больных сахарным диабетом. Повышенное содержание белков в питании оказывает положительное влияние при лечении ожирения и профилактики переяданий [1, 2].

Острой является проблема дефицита белка в развивающихся странах, имеющих низкий доход граждан и высокую плотность населения. Это актуально для большинства стран Африки, Индии, Китая и связано с ростом численности населения и дефицитом белка, особенно животного происхождения. Мировое производство животного белка в 4 раза меньше потребности в нем, а общий дефицит белка составляет 10–25 млн т год [3–5].

Значение белков в физиологии питания зависит от возраста человека: для каждой возрастной группы характерна определенная ежедневная средняя потребность в белках. У детей она составляет примерно 2 г белка на 1 кг массы тела, у взрослых – примерно 0,8 г, а у пожилых людей – около 1,2 г. Изучение питания детей дошкольного и школьного возрастов показывает, что, несмотря на наличие в рационе всех макро- и микронутриентов и соответствие энергетической ценности возрасту детей, питание не является оптимальным. Наблюдается недостаток витаминов группы А, В и Е, дисбаланс белков и жиров, нарушение режима питания и зависимость от социальной среды. Основными источниками нутриентов и энергии служат кондитерские изделия, сахар и жиры (37–44 % энергии); хлеб, крупы и мука обеспечивают 21–25 % энергии; молоко и молочные продукты в младшем школьном возрасте обеспечивают 15 %, вдвое меньше у старшеклассников; мясо, птица и рыба у старшеклассников составляет 15–17 %, меньше в дошкольной возрастной группе; доля овощей и фруктов минимальна в каждой возрастной группе (3–6 %) [6].

Основные проблемы, связанные с питанием пожилых, характеризуются неполным сбалансированием: в питании присутствует много простых углеводов, замещающих белки, что вместе с возрастными изменениями в обмене веществ приводит к избыточному весу и способствует развитию заболеваний (повышенное артериальное давление, высокий уровень холестерина, заболевания желудочно-кишечного тракта) [7].

Высокобелковые продукты являются актуальными в питании спортсменов. Эта категория населения отличается более высокими потребностями в основных пищевых веществах и энергии, в отличие от лиц, не занимающихся спортом. Например, в период чрезмерных физических нагрузок суточные энергозатраты спортсменов достигают 5000–6000 ккал, в отдельных случаях 10 000 ккал в сутки, а потребность в белках может изменяться от 1,6 до 2,9 г/кг массы тела в сутки. Эти различия связаны с особенностями спортивной специализации (вид спорта), периодов подготовки и интенсивности тренировок [8]. Такие затраты невозможно восполнить с помощью традиционного питания, поэтому следует включать в рацион питания продукты, обладающие высокой усвояемостью и содержащие незаменимые аминокислоты.

Традиционным источником сбалансированного белка считаются молочные белки. При производстве продуктов для спортивного питания применяются соевый белок, яичный альбумин и белок сухой пшеничной клейковины [9–12].

В хлебопекарной промышленности для выработки как массовых, так и диетических хлебобулочных изделий применяют сухую пшеничную клейковину. Ее добавляют в количестве 1–3 % в качестве улучшителя к муке пониженного качества для повышения структурно-механических свойств мякиша хлебобулочных изделий из целого зерна, а также при производстве продукции диетического и лечебного питания (белково-пшеничный, белково-отрубный, зерновой хлеб и т. д.) [13].

Перспективным сырьем в качестве источника белка являются семена гороха посевного (*Pisum sativum* L.) – одного из старейших растений, культивируемых человеком. В зависимости от хозяйственного назначения выращивают как кормовую, овощную и зерновую культуры, так и сидеральную. Семена овощного гороха могут иметь гладкую или морщинистую поверхность. Семена с гладкой поверхностью имеют шаровидные зерна крахмала с правильными очертаниями, а морщинистые – круглые или звездчатые, при этом морщинистые сорта беднее крахмалом, но богаче белком. Цвет семян определяется семядолями и варьируется от желтого до темно-зеленого.

Содержание белка у сортов различных морфотипов гороха варьируется в широких пределах: от 22,3 до 28,9 %. Наибольший процент белка отмечен в зерне сортов Изумруд, Вега и San Cipriano с морщинистыми семенами. Белки из семян гороха удовлетворяют почти всем требованиям аминокислотного состава эталонного белка. Полноценность белков из семян гороха лимитирована серосодержащими аминокислотами (метионин и цистеин), также горох богат лизином, который является лимитирующей аминокислотой для пшеничной муки. По данным многих авторов, семена гороха являются богатым источником пищевых волокон, представленных на 50 % клетчаткой, 20–25 % гемицеллюлозой, до 17 % пектинами и витаминами группы В [14–16]. Зерно гороха содержит от 2 до 10 % резистентного крахмала в зависимости от сорта, условий и региона выращивания. Крахмал из семян гороха подвержен ретроградации в процессе их обработки и хранения, поэтому относится к более устойчивым крахмалам (RS3), который легко усваивается и способствует низкому гликемическому индексу [17].

Важную роль в оценке питательности семян гороха играет наличие в них ингибиторов, снижающих усвояемость белков, аминокислот и минеральных веществ: трипсина и танинов, а также фитатов и лектинов, имеющих антипитательные свойства [18–20]. Однако воздействие высоких температур снижает

отрицательное воздействие этих веществ [21]. Поэтому применение муки из семян гороха в технологии хлебобулочных изделий с целью обогащения их белком является актуальным.

Разработаны технологии хлебобулочных, кондитерских и макаронных изделий с использованием продуктов переработки гороха, но недостаточно уделено внимания применению цельносмолотой муки из семян гороха определенных высокобелковых сортов в технологии хлебобулочных изделий функционального назначения [22–27].

Цель работы – разработка технологии функционального хлеба из цельносмолотой муки семян гороха сортов San Cipriano и Вега и глютена пшеничного.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта, цельносмолотая мука из семян гороха морщинистых сортов San Cipriano и Вега, глютен пшеничный марки А (ГОСТ 31934-2012), а также тесто и выпеченные хлебобулочные изделия, рецептуры приготовления которых представлены в таблице 1.

Для приготовления цельносмолотой муки семена гороха измельчали на лабораторной мельнице с выходом муки 96 % с размером частиц 250 мкм, затем их просеивали через сито № 4. Мука, полученная при размоле семян гороха сорта San Cipriano, имела зеленый цвет, а мука из семян гороха сорта Вега – желтый.

Влажность муки, теста и мякиша хлеба определяли термогравиметрическим ускоренным методом на приборе ПИВИ-1. Количество влаги устанавливали по разнице навески до и после высушивания, кислотность муки, теста и мякиша хлеба – методом титрования щелочью в присутствии индикатора (фенолфталеина) (ГОСТ 27493-87 и ГОСТ 5670-96).

Оценку состояния углеводно-амилазного комплекса пшеничной муки и муки из семян гороха

определяли на приборе Амилотест АТ-97 в режимах «число падения» и «амилограмма». Содержание в пшеничной муке и муке из семян гороха крахмала определяли по ГОСТ 10845-98 поляриметрическим методом с предварительным растворением крахмала в горячем разбавленном растворе соляной кислоты, осаждением и фильтрованием белковых веществ, а также измерением оптического угла вращения раствора крахмала. Массовую долю белка муки устанавливали методом, который основан на определении общего азота в муке путем мокрого озоления образцов с реактивом Несслера и последующем пересчете на белок с помощью коэффициента перевода по ГОСТ Р 54390-2011/ISO/TS 16634-2:2009. Массовую долю белка в мякише хлеба определяли методом минерализации пробы серной кислотой в присутствии катализатора с образованием сульфата аммония, его разрушения щелочью с выделением аммиака и отгонки аммиака водяным паром в раствор серной или борной кислоты с последующим титрованием (метод Кьельдаля).

Замес теста осуществляли на лабораторной месильной машине У1-ЕТВ (Россия). Тесто готовили безопасным способом. Муку пшеничную хлебопекарную и глютен пшеничный смешивали и просеивали, затем перемешивали с раствором соли и водной суспензией хлебопекарных прессованных дрожжей, в конце замеса добавляли подсолнечное масло (контрольный образец). Опытные образцы вместо пшеничной муки содержали муку из семян зеленого гороха сорта San Cipriano (образцы № 1–4) и из семян желтого гороха сорта Вега (образцы № 5–8). Опытные образцы отличались различным соотношением глютена пшеничного и муки из семян гороха (табл. 1). Реологические характеристики теста – предельное напряжение сдвига, вязкость, коэффициент консистенции и индекс течения – определяли с помощью ротационного вискозиметра Реотест-2.

Таблица 1. Рецептуры контрольного и опытных образцов теста и хлебобулочных изделий

Table 1. Formulations for control and experimental samples of dough and bakery products

Ингредиенты	Количество рецептурных ингредиентов, г									
	Контрольный образец ГОСТ 25832	Образцы с мукой из семян гороха сорта San Cipriano				Образцы с мукой из семян гороха сорта Вега				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	
Мука пшеничная хлебопекарная высший сорт	50,0	–	–	–	–	–	–	–	–	
Мука из семян гороха	–	20,0	30,0	40,0	50,0	20,0	30,0	40,0	50,0	
Глютен пшеничный	50,0	80,0	70,0	60,0	50,0	80,0	70,0	60,0	50,0	
Дрожжи прессованные хлебопекарные		3,0								
Соль пищевая		1,5								
Масло подсолнечное		6,0								
Вода питьевая		Расчетное								

После замеса тесто помещали в расстойную камеру для брожения при температуре 30–35 °С на 2,5–3,0 ч (контрольный образец). Продолжительность брожения опытных образцов составила 0–30 мин в зависимости от дозировки муки из семян гороха. После брожения тесто подвергали разделке и расстойке заготовок в расстойной камере в течение 40–67 мин при температуре 35–40 °С и относительной влажности воздуха 75–85 %. Затем выпекали формовой хлеб массой 200 ± 5 г в конвекционной печи, совмещенной с расстоечным шкафом марки ПРШ-11 (Россия), с пароувлажнением при температуре 200 °С в течение 30–35 мин. Выпеченный хлеб оценивали через 3 ч после выпечки.

Удельный объем хлеба вычисляли путем деления величины объема хлеба в кубических сантиметрах на его массу в граммах. Структурно-механические свойства мякиша хлеба (общую, упругую и пластическую деформации) определяли на приборе Пенетрометр АП 4/2 [28]. Органолептическую оценку проводили экспертным методом по шкале балловой оценки с учетом коэффициента значимости (суммарный коэффициент значимости – 15). Шкала включала 8 показателей (форма изделия, окраска корки изделия, структура пористости мякиша изделия, цвет мякиша, его эластичность, аромат (запах), вкус и разжевываемость), каждый из которых имел 5 уровней качества, оцениваемых экспертами-дегустаторами в баллах: 1–2 уровень (0–30 баллов) – неудовлетворительное качество; 3 уровень (31–60 баллов) – удовлетворительное качество; 4–5 уровень (61–75 баллов) – хорошее качество. Общая оценка уровня качества рассчитывалась как среднее арифметическое значение оценок всех экспертов. Пищевую и энергетическую ценность готовых изделий определяли расчетно-аналитическим методом на основе данных о белке, жирах и углеводах с учетом энергетической ценности белков и углеводов – 4 ккал, жиров – 9 ккал. Исследования проводили в пятикратной повторности. Результаты исследований обработали методом вариационной статистики путем группировки количественных показателей выборки по средним значениям с использованием коэффициента Стьюдента (одновыборочного t-критерия).

Результаты и их обсуждение

Основными показателями сырья, влияющими на свойства теста и готовых изделий, являются влажность, кислотность и состояние углеводно-амилазного комплекса муки. Влажность пшеничной муки составила $10,2 \pm 0,2$ %, глютена (сухой пшеничной клейковины) – $9,8 \pm 0,2$ %, муки из семян зеленого и желтого гороха – $9,5 \pm 0,5$ %. Наибольшую кислотность имели образцы муки из семян гороха сорта Вега – $9,4 \pm 0,2$ град., у образцов муки из семян гороха сорта San Cipriano значения этого показателя

были ниже и составили $7,2 \pm 0,2$ град. Наименьшей кислотностью обладали образцы муки пшеничной хлебопекарной – $2,7 \pm 0,2$ град.

Компонентами муки, отвечающими за формирование структуры теста и качества хлебобулочных изделий, являются белки и углеводы, поэтому представляет интерес сравнение их содержания в муке из семян гороха с пшеничной хлебопекарной мукой. Установлено, что образцы цельносмолотой муки из семян гороха содержали большее количество белков, чем пшеничная хлебопекарная мука: из семян гороха сорта San Cipriano – $28,6 \pm 0,2$ %, из семян гороха сорта Вега – $27,5 \pm 0,2$ %, мука пшеничная хлебопекарная – $12,5 \pm 0,2$ %. Это обуславливает применение цельносмолотой муки из семян гороха в производстве функциональных (белковых) хлебобулочных изделий, обогащенных белком.

Содержание крахмала в цельносмолотой муке из семян гороха сорта San Cipriano составило $30,6 \pm 0,5$ %, из семян гороха сорта Вега – $28,7 \pm 0,5$ %, в пшеничной хлебопекарной муке – $57,5 \pm 0,5$ %. Крахмал, наряду с белковыми веществами муки, является структурообразующим компонентом теста и определяет его технологические свойства в процессе тестоприготовления и выпечки хлебобулочных изделий. Поэтому исследовали углеводно-амилазный комплекс муки пшеничной хлебопекарной и цельносмолотой муки из семян гороха. Установили, что показатель «число падения» образцов муки пшеничной хлебопекарной (200 ед. пр.) соответствовал средней автолитической активности и был выше значений муки из семян зеленого и желтого гороха (62 ед. пр.). Это соответствует высокой автолитической активности муки, но может быть связано с особенностями состава крахмала муки из семян гороха. Крахмал цельносмолотой муки из семян гороха отличается высоким (60–75 %) содержанием амилозы, что может являться фактором проявления резистентных свойств [29–32]. Амилограмма изменения вязкости крахмального геля пшеничной хлебопекарной и цельносмолотой муки из семян гороха представлена на рисунке 1.

Анализ полученных данных показал, что образование крахмального клейстера в цельносмолотой муке из семян гороха начинается при более низкой температуре (35–40 °С). Максимальная вязкость крахмала муки из семян гороха сорта Вега (желтый) составила 0,51 Н при 98,5 °С, а муки из семян гороха сорта San Cipriano (зеленый) – 0,83 Н при 99 °С. У пшеничной хлебопекарной муки начало клейстеризации крахмала происходит при температуре 75 °С, а максимальная вязкость (2,76 Н) достигается при более низкой температуре (91 °С).

Учитывая, что формирование основных показателей качества хлебобулочных изделий обусловлено значениями структурно-механических и физико-химических свойств теста, определили влажность,

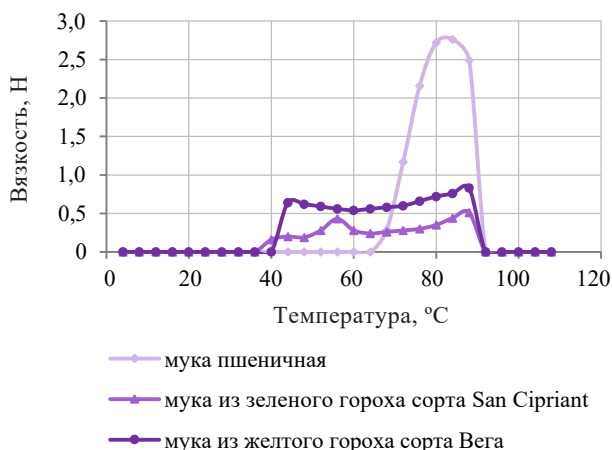


Рисунок 1. Амилограмма муки пшеничной хлебопекарной и цельносмолотой муки из семян зеленого и желтого гороха

Figure 1. Wheat bread flour vs. wholemeal flour from green and yellow peas

кислотность и реологические характеристики теста из смеси глютена пшеничного, пшеничной хлебопекарной муки и цельносмолотой муки из семян гороха. Влажность образцов теста составила $55,0 \pm 0,2$ %.

Влияние различных дозировок глютена пшеничного и цельносмолотой муки из семян зеленого и желтого гороха на кислотность теста сразу после замеса представлено на рисунке 2.

Анализ полученных данных показал, что при повышении дозировки цельносмолотой муки и уменьшении содержания глютена пшеничного кислотность теста увеличивается по сравнению с контрольным образцом. У образцов № 4 и 8 с дозировкой муки из се-

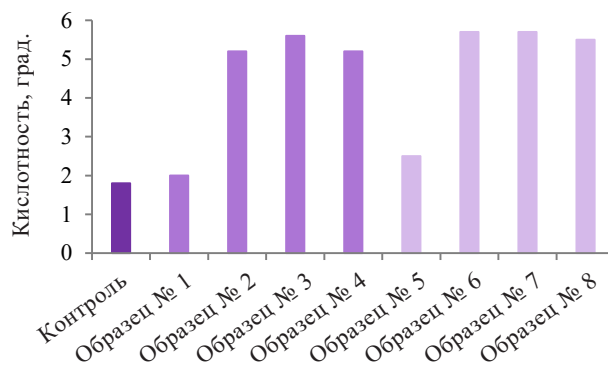


Рисунок 2. Влияние цельносмолотой муки из семян гороха и глютена пшеничного на кислотность теста

Figure 2. Effect of wholemeal pea flour and wheat gluten on dough acidity

мян гороха 50 % кислотность составила 2 и 2,5 град. соответственно, что приближено к значениям контрольного образца. При сравнении кислотности образцов теста с мукой из семян гороха сортов San Cipriano и Вега с одинаковыми дозировками обнаружили, что значения этого показателя для образцов № 5–8 были выше. Это связывали с более высокой кислотностью муки из семян гороха сорта Вега.

Перечисленные особенности цельносмолотой муки из семян гороха могут влиять на реологические характеристики теста, поэтому изучили влияние различных дозировок глютена пшеничного и цельносмолотой муки из семян гороха на напряжение сдвига контрольного и опытных образцов теста. В таблице 2 представлены значения касательного напряжения сдвига образцов теста, содержащих муку из семян гороха сортов San Cipriano и Вега и глютен

Таблица 2. Экспериментальные значения касательного напряжения сдвига образцов теста, содержащих глютен пшеничный и цельносмолотую муку из семян гороха сортов San Cipriano и Вега

Table 2. Tangential shear stress of dough samples with wheat gluten and wholemeal pea flour of San Cipriano and Vega varieties: experimental values

Скорость сдвига, D, c^{-1}	Касательное напряжение сдвига теста, Θ, kPa								
	Контроль	Образцы теста с мукой из семян гороха сорта San Cipriano				Образцы теста с мукой из семян гороха сорта Вега			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
0,33	1,68	0,84	1,97	1,69	3,66	1,97	3,09	2,81	1,40
0,6	2,53	1,13	2,25	2,25	4,22	2,53	3,65	3,37	1,97
1	3,09	1,41	2,81	2,81	4,78	3,09	4,50	3,94	2,53
1,8	4,50	2,53	3,94	3,38	5,63	4,22	5,63	4,78	3,37
3	5,35	3,94	5,35	4,78	6,47	5,63	7,03	5,63	4,504
5,4	6,19	5,35	7,32	6,76	7,32	8,44	9,57	7,00	7,04
9	8,73	7,60	10,13	9,29	9,29	10,69	11,82	8,72	10,41
16,2	10,41	10,41	13,51	12,10	10,69	14,07	14,63	10,13	13,23
27	12,67	11,82	16,33	15,20	11,82	17,73	17,73	12,10	15,76

пшеничный, которые получили экспериментально методом ротационной вискозиметрии на вискозиметре Реотест-2.

По экспериментальным данным таблицы 2 были построены в логарифмических координатах кривые течения $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$ исследованных образцов теста: контроль (50 % пшеничной хлебопекарной муки и 50 % глютена пшеничного), образцы теста, содержащие муку из семян гороха San Cipriano (рис. 3)

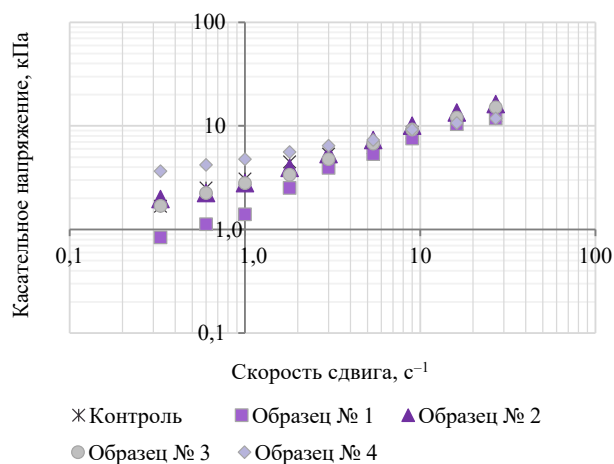


Рисунок 3. Экспериментальные кривые течения образцов теста с цельносмолотой мукой из семян гороха San Cipriano, изображенные в логарифмических координатах $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$

Figure 3. Experimental flow curves of dough samples with wholemeal San Cipriano pea flour as logarithmic coordinates $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$

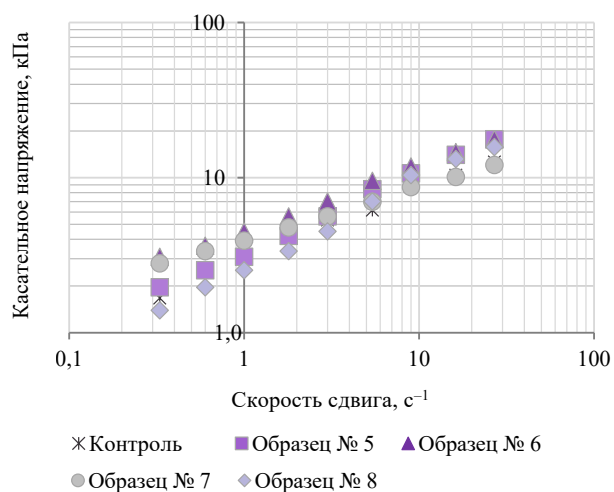


Рисунок 4. Экспериментальные кривые течения образцов теста с цельносмолотой мукой из семян гороха Вега, изображенные в логарифмических координатах $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$

Figure 4. Experimental flow curves of dough samples with wholemeal Vega pea flour as logarithmic coordinates $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$

и семян гороха Вега (рис. 4) в количестве 20, 30, 40 и 50 %, а также глютен пшеничный в количестве 80, 70, 60 и 50 % соответственно.

Характер графиков кривых течения, изображенных в логарифмических координатах, позволил описать их реологическими уравнениями состояния вида:

$$\theta = \mp \frac{\theta_0^2}{\theta} + kD^n \quad (1)$$

$$\theta = \pm \frac{\theta_0^2}{\theta} + kD^n \quad (2)$$

Графики кривых течения контрольного образца были описаны реологическим уравнением (1), графики образцов теста, содержащих цельносмолотую муку из семян зеленого и желтого гороха, – уравнением (2).

В реологические уравнения состояния (1) и (2) входят символы предельного напряжения сдвига θ со знаками $\pm\theta_0$ и $\mp\theta_0$. Знак \mp у символа предельного напряжения сдвига соответствует тому, что кривизна графика кривой течения контрольного образца обращена выпуклостью к оси касательного напряжения сдвига (уравнение 1, рис. 3) в диапазоне скорости сдвига $0,33 \text{ с}^{-1} \leq D \leq 27 \text{ с}^{-1}$, и после значения скорости сдвига $D = 3 \text{ с}^{-1}$ в диапазоне $3 \text{ с}^{-1} \leq D \leq 27 \text{ с}^{-1}$ график меняет направление своей кривизны на противоположное направление – к оси скорости сдвига. Графики $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$ всех остальных образцов теста до скорости сдвига $D = 3 \text{ с}^{-1}$ обращены выпуклостью к оси скорости сдвига, и затем в диапазоне $3 \text{ с}^{-1} \leq D \leq 27 \text{ с}^{-1}$ графики кривых течения образцов теста из цельносмолотой муки из семян гороха меняют направления кривизны к оси касательного напряжения.

В результате математической обработки экспериментальных графиков кривых течения $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$ (1) и (2), полученных на основе известной методики ротационной реометрии [33] с применением вискозиметра Реотест-2, погрешность которых лежит в пределах 7–11 %, разработали графики с полиномиальными зависимостями: предельное напряжение сдвига θ_0 , коэффициент консистенции k и индекс течения n (рис. 5 и 6).

В таблице 3 представлены численные значения параметров реологических уравнений состояния образцов теста: предельное напряжение сдвига, коэффициент консистенции и индекс течения.

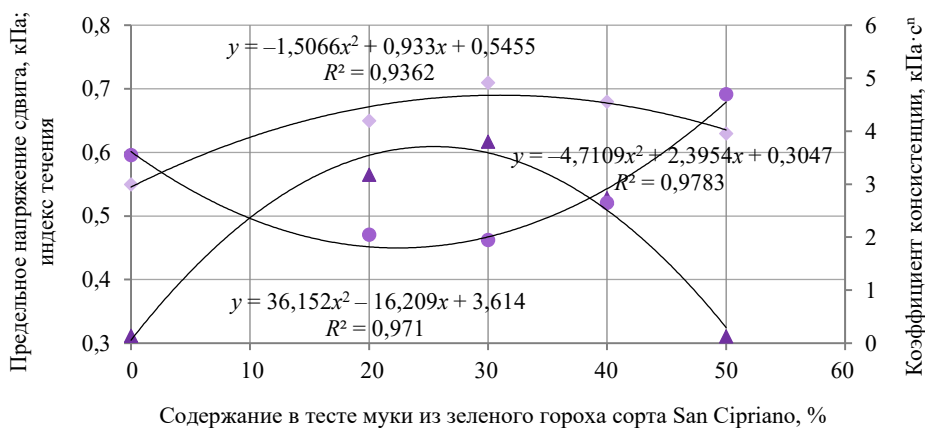
На рисунках 5 и 6 изображены графические зависимости параметров реологических уравнений состояния образцов теста, содержащих цельносмолотую муку из семян зеленого гороха San Cipriano и желтого гороха Вега в количестве 20, 30, 40 и 50 % с содержанием глютена пшеничного 80, 70, 60 и 50 %.

Из рисунков 5 и 6 видно, что графики параметров реологических уравнений состояния (1) и (2) в области содержания 25–30 % цельносмолотой муки из семян гороха имеют экстремальные значения.

Таблица 3. Реологические характеристики теста

Table 3. Rheological profile of dough

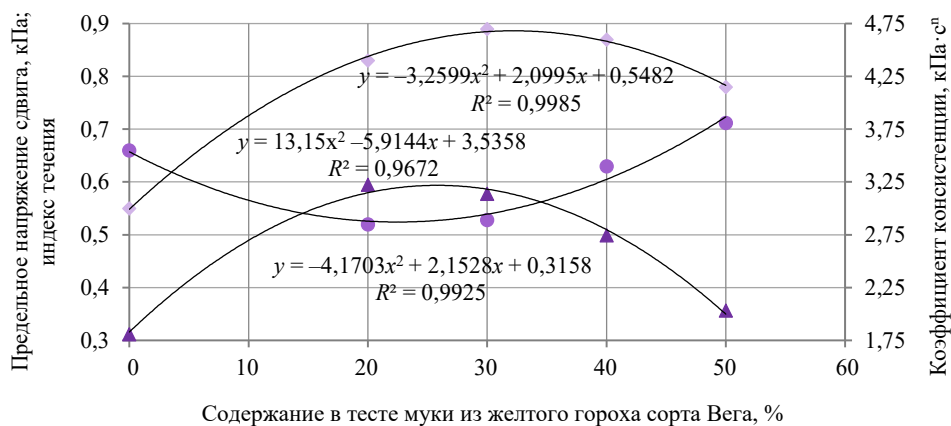
Наименование образцов	Предельное напряжение сдвига, кПа	Коэффициент консистенции, кПа·с ⁿ	Индекс течения
Контроль	0,55	3,55	0,312
Образцы с мукой из семян зеленого гороха San Cipriano			
Образец № 1	0,65	2,05	0,565
Образец № 2	0,71	1,95	0,617
Образец № 3	0,68	2,65	0,528
Образец № 4	0,63	4,70	0,311
Образцы с мукой из семян желтого гороха Vega			
Образец № 5	0,83	2,85	0,595
Образец № 6	0,89	2,89	0,578
Образец № 7	0,87	3,40	0,499
Образец № 8	0,78	3,81	0,357



◆ Предельное напряжение сдвига, кПа ▲ Индекс течения ● Коэффициент консистенции, кПа·сⁿ

Рисунок 5. Параметры реологического уравнения состояния образцов теста с цельносмолотой мукой из семян гороха San Cipriano

Figure 5. Rheological equation: dough samples with wholemeal San Cipriano pea flour



◆ Предельное напряжение сдвига, кПа ▲ Индекс течения ● Коэффициент консистенции, кПа·сⁿ

Рисунок 6. Параметры реологического уравнения состояния образцов теста с цельносмолотой мукой из семян гороха Vega

Figure 6. Rheological equation: dough samples with wholemeal Vega pea flour

На рисунках 7 и 8 представлены расчетные графики эффективной вязкости образцов теста, полученные по данным таблиц 1 и 2 и изображенные в логарифмических координатах $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$: контроль (50 % пшеничной хлебопекарной муки и 50 % глютена пшеничного) и образцы теста с цельносмолотой мукой из семян зеленого гороха San Cipriano и желтого гороха Vega 20, 30, 40 и 50 % и глютена пшеничного в количестве 80, 70, 60 и 50 % соответственно.

На рисунке 9 изображены зависимости вязкости образцов теста: контроль (50 % пшеничной хлебопекарной муки и 50 % глютена пшеничного) и образцы теста, содержащие цельносмолотую муку из

семян зеленого гороха San Cipriano и желтого гороха Vega в количестве 20, 30, 40 и 50 % и глютен пшеничный в количестве 80, 70, 60 и 50 % соответственно, при постоянных значениях скорости сдвига 0,33, 1,0, 3, 9, 16,2 и 27 c^{-1} . Это позволяет сравнить численные значения вязкости образцов теста от содержания в них муки из разных сортов гороха.

Анализ рисунка 9 показал, что вязкость образцов теста зависит от содержания в них цельносмолотой муки из семян гороха соответствующего сорта. Тесто, содержащее количество муки более 20 % из семян желтого гороха Vega, обладает большей вязкостью, чем тесто с соответствующим содержанием муки из семян зеленого гороха San Cipriano. Это соответст-

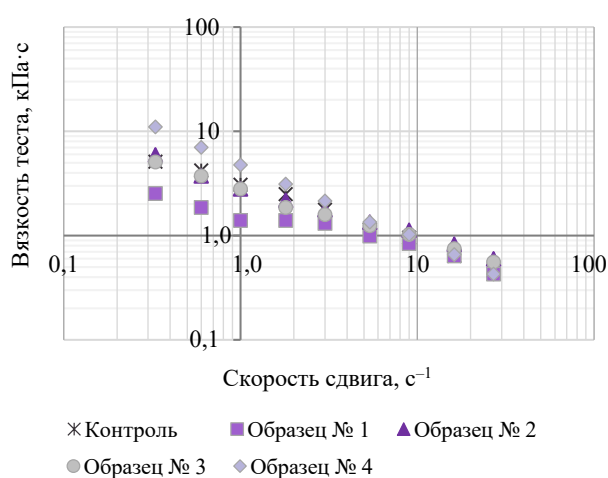


Рисунок 7. Расчетные зависимости вязкости образцов теста с цельносмолотой мукой из семян гороха San Cipriano, изображенные в логарифмических координатах $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$

Figure 7. Calculated viscosity of dough samples with wholemeal San Cipriano pea flour as logarithmic coordinates $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$

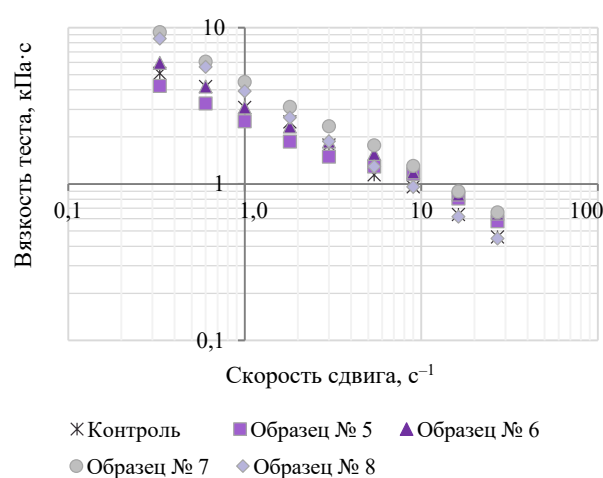


Рисунок 8. Расчетные зависимости вязкости образцов теста с цельносмолотой мукой из семян гороха Vega, изображенные в логарифмических координатах $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$

Figure 8. Calculated viscosity of dough samples with wholemeal Vega pea flour as logarithmic coordinates $\lg\theta = \lg\theta(\lg D)$

Таблица 4. Расчетные значения вязкости контрольного образца и образцов теста, содержащих цельносмолотую муку из семян гороха сортов San Cipriano и Vega и глютен пшеничный

Table 4. Calculated viscosity for dough samples with San Cipriano and Vega wholemeal pea flour and wheat gluten vs. control

Скорость сдвига, D, c^{-1}	Вязкость теста, $\eta, \text{кПа}\cdot\text{с}$								
	Контроль	Образцы теста с мукой из семян гороха сорта San Cipriano				Образцы теста с мукой из семян гороха сорта Vega			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
0,33	5,12	2,55	5,97	5,11	11,08	4,26	5,97	9,38	8,53
0,6	4,22	1,87	3,75	3,75	7,03	3,28	4,22	6,09	5,63
1,0	3,09	1,40	2,81	2,81	4,78	2,53	3,09	4,50	3,94
1,8	2,50	1,40	2,18	1,87	3,12	1,87	2,34	3,12	2,66
3,0	1,78	1,31	1,78	1,59	2,16	1,50	1,87	2,34	1,88
5,4	1,15	0,99	1,35	1,25	1,35	1,30	1,56	1,77	1,30
9,0	0,96	0,84	1,13	1,03	1,03	1,16	1,19	1,31	0,96
16,2	0,64	0,64	0,83	0,75	0,66	0,81	0,86	0,90	0,62
27,0	0,46	0,43	0,60	0,56	0,43	0,58	0,65	0,66	0,45

вует амилограмме изменения вязкости крахмального геля из семян сортов гороха Vega и San Cipriano, представленной на рисунке 1.

Параллельно с проведением экспериментальных исследований образцов теста методом ротационной вискозиметрии осуществляли их органолептическую оценку: оценивали состояние поверхности, консистенцию и структуру теста. Опытные образцы теста

имели разрыхленную сетчатую структуру с гладкой и увлажненной поверхностью, что свидетельствует о нормальной их консистенции.

После брожения тестовые заготовки формовали и подвергали расстойке в формах и выпечке. Технологические параметры и показатели качества теста и готовых хлебобулочных изделий представлены в таблице 5.

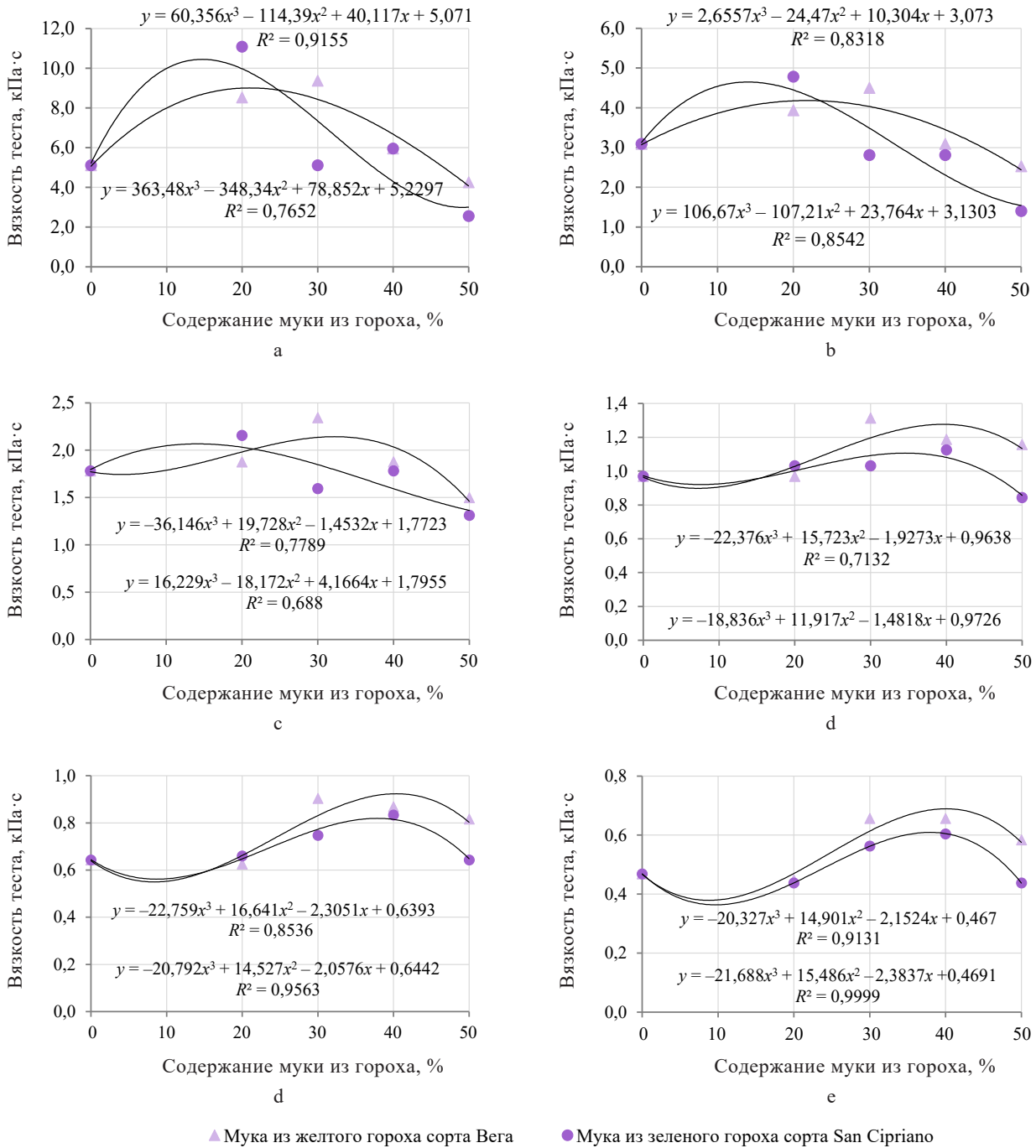


Рисунок 9. Зависимость вязкости теста от содержания цельносомлотой муки из семян гороха при скорости сдвига: а – $0,33 \text{ c}^{-1}$; б – $1,0 \text{ c}^{-1}$; в – $3,9 \text{ c}^{-1}$; д – $16,2 \text{ c}^{-1}$; е – 27 c^{-1}

Figure 9. Effect of wholemeal pea flour on dough viscosity at different shear rates: a – $0,33 \text{ c}^{-1}$; b – $1,0 \text{ c}^{-1}$; c – $3,9 \text{ c}^{-1}$; d – $16,2 \text{ c}^{-1}$; and e – 27 c^{-1}

Таблица 5. Влияние цельносмолотой муки из семян гороха на технологические параметры и физико-химические свойства теста и хлебобулочных изделий

Table 5. Effect of wholemeal pea flour on technological, physical, and chemical properties of dough and bakery products

Показатель	Контроль	Образцы теста с мукой из семян гороха сорта San Cipriano				Образцы теста с мукой из семян гороха сорта Vega			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Кислотность теста начальная, град.	1,8 ± 0,1	2,0 ± 0,2	5,2 ± 0,1	5,6 ± 0,2	5,2 ± 0,4	2,5 ± 0,4	5,7 ± 0,2	5,7 ± 0,1	5,5 ± 0,3
Кислотность теста конечная, град.	3,0 ± 0,2	3,4 ± 0,4	5,2 ± 0,1	5,6 ± 0,2	5,2 ± 0,4	3,2 ± 0,4	5,7 ± 0,2	5,7 ± 0,1	5,5 ± 0,3
Продолжительность брожения теста, мин	150	30	0	0	0	30	0	0	0
Продолжительность расстойки, мин	60 ± 2	65 ± 2	64 ± 3	67 ± 2	43 ± 2	60 ± 3	65 ± 2	64 ± 2	40 ± 4
Влажность мякиша хлеба, %	54,7 ± 0,1	53,0 ± 0,2	53,1 ± 0,2	54,4 ± 0,2	55,1 ± 0,1	54,8 ± 0,1	54,9 ± 0,2	54,4 ± 0,1	54,3 ± 0,1
Кислотность мякиша хлеба, град.	2,0 ± 0,2	3,0 ± 0,1	3,5 ± 0,2	3,9 ± 0,2	4,6 ± 0,1	3,0 ± 0,1	3,5 ± 0,1	4,5 ± 0,2	4,5 ± 0,3
Удельный объем хлеба, см ³ /г	5,0 ± 0,1	5,4 ± 0,1	5,0 ± 0,1	4,5 ± 0,1	4,1 ± 0,1	5,2 ± 0,1	5,2 ± 0,1	5,0 ± 0,1	3,5 ± 0,1
Относительная пластичность мякиша ($H_{пл}$), %	74,9	71,4	75,8	63,1	64,0	70,5	72,3	62,5	68,2
Относительная упругость мякиша (H_y), %	25,8	23,8	24,4	36,8	33,7	24,3	26,7	36,7	31,8
$H_{пл}/H_y$	2,9	3	3,1	1,7	1,9	2,9	2,7	1,7	2,1
Органолептическая оценка хлеба, балл	61,7 ± 0,6	64,3 ± 0,6	60,5 ± 1,3	53,9 ± 1,4	48,9 ± 1,2	65,5 ± 1,5	59,5 ± 1,2	54,2 ± 1,5	48,9 ± 0,7

Установлено, что при приготовлении контрольного образца продолжительность брожения составила 150 мин, а расстойки – 60 мин. У образцов теста с дозировкой 20 % цельносмолотой муки из семян зеленого и желтого гороха начальная кислотность теста была выше значений контрольного образца на 11 и 39 % для образцов № 1 и 5 соответственно. Через 30 мин кислотность теста достигла значений, соответствующих выброженному тесту, что позволило сократить продолжительность брожения на 120 мин по сравнению с контролем. Увеличение дозировки цельносмолотой муки из семян гороха привело к повышению начальной кислотности теста, поэтому процесс брожения опускали и тесто сразу помещали в формы, а после расстойки выпекали. Окончание расстойки определяли по внешнему виду тестовых заготовок: наличие выпуклой формы и упругости (после нажатия ямка не восстанавливалась). Наименьшая продолжительность расстойки отмечена у образцов № 4 и 8 с содержанием цельносмолотой муки из семян гороха и глютена пшеничного 50/50 – 40–44 мин. При содержании муки из семян гороха, независимо от сорта, 20–40 % продолжительность расстойки увеличивалась на 4–7 мин по сравнению с контролем.

После выпечки образцы охлаждали и оценивали по физико-химическим и органолептическим по-

казателям, а также рассчитывали пищевую и энергетическую ценность.

Значения влажности мякиша опытных образцов хлеба не отличались от значений влажности контрольного образца, но кислотность имела более высокие значения: на 50, 60, 70 и 80 % для образцов хлеба № 1–4 и на 50, 75 и 125 % для образцов № 5–8 соответственно по сравнению с контролем. Увеличение кислотности мякиша хлеба возрастало с повышением дозировки цельносмолотой муки из семян гороха.

Значения удельного объема хлеба при увеличении дозировки муки из семян желтого и зеленого гороха снижались по сравнению с контролем. При дозировке муки из семян зеленого и желтого гороха 50 % хлеб был плоским без выпуклой верхней корки и имел минимальные значения показателя – 4,1 и 3,5 см³/г. Наибольшая относительная пластичность мякиша отмечена у образцов № 1 и 2 (показатель увеличивался на 3,4 и 6,8 % соответственно по сравнению с контролем). Относительная пластичность образца № 5 не отличалась от контроля, у других образцов значения показателя пластичности были ниже на 40,6, 34,5, 6,9, 41,4 и 27,6 % для образцов № 3, 4 и 6–8 соответственно.

При органолептической оценке хлеба с дозировками цельносмолотой муки из семян гороха 20–30 %

Таблица 6. Химический состав и энергетическая ценность хлебобулочных изделий из цельносмолотой муки семян гороха сортов San Cipriano и Vega и глютена пшеничного

Table 6. Chemical composition and energy value of bakery products from wholemeal flour of San Cipriano and Vega peas with wheat gluten

Образцы хлеба	Содержание пищевых веществ и энергетическая ценность					
	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г			Энергетическая ценность, ккал
			Общие	в т. ч. крахмал	в т. ч. пищевые волокна	
Контроль	25,66 ± 0,11*	4,73	25,23	23,06	1,09	246,13
Образцы с мукой из гороха San Cipriano						
Образец № 1	37,58 ± 0,15*	4,96	9,23	6,66	1,37	231,88
Образец № 2	36,43 ± 0,20*	4,94	12,41	8,76	2,07	239,82
Образцы с мукой из гороха Vega						
Образец № 5	37,44 ± 0,12*	4,96	8,86	6,43	1,37	229,84
Образец № 6	36,47 ± 0,20*	4,94	11,80	8,39	2,07	237,54

*Экспериментальные данные имеют статистические различия при $p \leq 0,05$.

*Experimental data are statistically different at $p \leq 0.05$.

эксперты отметили характерный хлебный вкус и запах, а при дозировках муки из семян гороха более 30 % – запах гороха. Интенсивность запаха увеличивалась с повышением дозировки. У образцов хлеба с мукой из семян желтого гороха запах был более интенсивным по сравнению с образцами с мукой из семян зеленого гороха. Добавление муки из семян зеленого гороха влияло на цвет мякиша, придавая зеленоватый оттенок, интенсивность которого увеличивалась с повышением дозировки муки из семян гороха. Добавление муки из семян желтого гороха не оказывало значительного влияния на цвет мякиша хлеба опытных образцов. При разжевывании эксперты отметили хорошую эластичность мякиша, особенно у образцов № 1, 2, 5 и 6, что связывали с большим содержанием клейковины по сравнению с другими образцами. Наибольшую сумму баллов имели образцы № 1 (64,3 балла) и 5 (65,5 балла) с минимальным содержанием муки из семян гороха. При увеличении дозировок муки из семян гороха сортов San Cipriano (зеленый) и Vega (желтый) суммарная органолептическая оценка снижалась. Это связывали с увеличением интенсивности характерного бобового запаха и привкуса, а также с наличием зеленого оттенка у мякиша образцов хлеба с мукой из семян гороха сорта San Cipriano, что определено дегустаторами как категория удовлетворительного качества. Поэтому расчет пищевой ценности представлен для образцов с дозировкой цельносмолотой муки из гороха 20 % (образцы № 1 и 5) и 30 % (образцы № 2 и 6). Влияние цельносмолотой муки из семян гороха на содержание основных пищевых веществ и энергетическую ценность хлебобулочных изделий представлено в таблице 6.

Анализ полученных данных показал, что у всех образцов хлеба с цельносмолотой мукой из семян гороха увеличивалось содержание белка: у образцов

№ 1 и 5 (20 %) – на 46,4 и 45,9 %, у образцов № 2 и 6 (30 %) – на 41,9 и 42,1 %. Суточная физиологическая потребность в белке составляет 75–110 г (МР 2.3.1-0253-2021). Содержание белка в 100 г разработанного хлеба – 36,43–37,58 г, т. е. при употреблении 100 г хлеба в сутки физиологическая потребность в белке будет удовлетворена на 33,1–34,2 %. Это позволяет отнести хлебобулочные изделия к функциональным продуктам (ГОСТ Р 52349-2005 и ГОСТ 55577-2013). Для спортсменов суточная потребность в период интенсивных тренировок может быть увеличена до 200–250 г [34]. В этом случае при употреблении 100 г хлеба суточная потребность будет удовлетворяться на 14,57–15,03 %. Расчетное содержание жира при повышении дозировки муки из семян гороха, по сравнению с контролем, увеличивалось на 3,4–4,8 %, а содержание углеводов у опытных образцов выросло, но было меньше в 1,5–2,8 раза. Отмечено увеличение содержания пищевых волокон у образцов № 1 и 5 на 25,7 %, а у остальных образцов – в 2–3,5 раза по сравнению с контролем. Значения энергетической ценности у образцов с соотношением цельносмолотой муки из семян гороха сортов San Cipriano и Vega и глютена пшеничного 20/80 снижались на 5,7 и 6,6 %, а у образцов с соотношением 30/70 – на 2,5 и 3,4 % по сравнению с контролем.

Выводы

Разработали технологию и рецептуры белковых хлебобулочных изделий с использованием глютена пшеничного и цельносмолотой муки из семян гороха сортов San Cipriano и Vega, определили физико-химические, структурно-механические и органолептические свойства сырья, теста и готовых функциональных хлебобулочных изделий, а также их пищевую ценность.

Цельносмолотая мука из семян гороха, по сравнению с мукой пшеничной, имеет высокую кислотность

(7,2 и 9,4 град. для муки из гороха сорта San Cipriano и Vega соответственно) и, независимо от сорта, отличается высокой автолитической активностью («число падения» ниже 80 с). Показатель «число падения» образцов муки пшеничной хлебопекарной (200 ед. пр.) соответствовал средней автолитической активности. Значения максимальной вязкости крахмального клейстера муки из зеленого и желтого гороха ниже значений пшеничной муки на 69,9 и 81,5 % соответственно, а температура максимальной вязкости крахмального клейстера ниже значений пшеничной муки на 8 и 7,5 °С. Цвет цельно-смолотой муки обусловлен цветом семян гороха (желтый и зеленый) и влияет на цвет теста и готовых хлебобулочных изделий (интенсивность цвета увеличивается при повышении дозировки цельно-смолотой муки).

Выявили взаимосвязь соотношения глютена пшеничного и цельно-смолотой муки из семян гороха сортов San Cipriano и Vega и структурно-механических свойств теста (вязкости, предельного напряжения сдвига, индекса течения), которые описаны реологическими уравнениями состояния вида $\theta = \mp \frac{\theta_0}{\theta} + kD^n$ и $\theta = \pm \frac{\theta_0}{\theta} + kD^n$. Наилучшими структурно-механическими свойствами обладали образцы теста с соотношением муки из зеленого гороха сорта San Cipriano и глютена пшеничного 30/70 и 40/60, а также с соотношением муки из желтого гороха сорта Vega и глютена 20/80 и 30/70.

Показали положительное влияние цельно-смолотой муки из семян гороха на продолжительность технологического процесса. Высокая кислотность цельно-смолотой муки из семян гороха, по сравнению с мукой пшеничной, приводит к увеличению значений начальной кислотности теста и позволяет сократить продолжительность брожения теста и устойчивости тестовых заготовок на 115 и 145 мин при дозировке цельно-смолотой муки из семян гороха 20 и 30 % соответственно.

Изменение соотношения пшеничного глютена и цельно-смолотой муки из семян гороха влияет на физико-химические и органолептические показатели качества хлебобулочных изделий. При органолептической оценке хлеба с дозировками цельно-смолотой муки из семян гороха 20 и 30 % эксперты отметили выраженный характерный хлебный вкус и запах, а при внесении дозровок муки из семян гороха более 30 % присутствовал запах гороха. Добавление муки из семян зеленого гороха влияло на цвет мякиша, придавая зеленоватый оттенок, интенсивность которого увеличивалась с повышением дозировки муки из семян гороха. Добавление муки из семян желтого гороха не оказывало значительного влияния на цвет мякиша хлеба опытных образцов. При разжевывании эксперты отметили хорошую эластичность мякиша, особенно у образцов с 20 и 30 % муки из семян гороха. Поэтому в разработанных

рецептурах хлебобулочных изделий предусмотрено внесение цельно-смолотой муки из семян гороха сортов San Cipriano и Vega в количестве 20 и 30 кг на 100 кг смеси с глютеном пшеничным.

Установлено, что образцы цельно-смолотой муки из семян гороха сорта San Cipriano содержат $28,6 \pm 0,2$ % белка, а сорта Vega $27,5 \pm 0,2$ % (мука пшеничная хлебопекарная – $12,7 \pm 0,2$ %); содержание крахмала в цельно-смолотой муке из семян гороха сорта San Cipriano составило $30,6 \pm 0,5$ %, из семян гороха сорта Vega – $28,7 \pm 0,5$ %, а в пшеничной хлебопекарной муке – $57,5 \pm 0,5$ %. Это положительно влияет на содержание белка в готовых изделиях. Образцы хлеба с дозировкой 20 % цельно-смолотой муки из семян гороха содержали белка на 46,4 и 45,9 % больше, по сравнению с контрольным образцом, а образцы с содержанием 30 % – на 41,9 и 42,1 % для сортов San Cipriano и Vega соответственно. При употреблении 100 г в сутки разработанного хлеба физиологическая потребность в белке будет удовлетворена на 33,1–34,2 %, что позволяет отнести данные хлебобулочные изделия к функциональным продуктам. Расчетное содержание углеводов у опытных образцов меньше в 1,5–2,8 раза, по сравнению с контролем, а жира – больше на 3,4–4,8 %. Отмечено увеличение содержания пищевых волокон у образцов с дозировкой 20 % цельно-смолотой муки из гороха на 25,7 %, а у остальных образцов – в 2–3,5 раза по сравнению с контролем.

На основании полученных результатов определили оптимальные дозировки цельно-смолотой муки из семян гороха и пшеничного глютена при производстве хлебобулочных изделий из их смеси, употребление которых позволит сократить дефицит белка. Данные хлебобулочные изделия можно рекомендовать для диетического питания лиц, нуждающихся в повышенном потреблении белка – спортсменов и пациентов, которые страдают сахарным диабетом, ожирением и острым ревматизмом, получили ожоговую травму и др.

Критерии авторства

О. Л. Ладнова предложила конструктивное решение и реализацию предложенных идей. В. П. Корячкин предложил конструктивное решение предложенной идеи по результатам исследований реологических характеристик теста и хлебобулочных изделий. С. Я. Корячкина организовала проведение лабораторных и производственных испытаний разработанных хлебобулочных изделий. Л. С. Большакова предложила идею обогащения хлебобулочных изделий за счет добавления муки из семян гороха сортов San Cipriano и Vega.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

O.L. Ladnova proposed the constructive and rationalization solutions. V.P. Koryachkin developed a constructive solution based on the rheological studies of dough and bakery products. S.Ya. Koryachkina was responsible for the laboratory and production tests.

L.S. Bolshakova proposed the idea of fortifying bakery products with flour from of San Cipriano and Vega pea varieties.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Nasrollahzadeh M, Nezafat Z, Shafiei N. Proteins in food industry. In: Nasrollahzadeh M, editor. Biopolymer-based metal nanoparticle chemistry for sustainable applications. Volume 2: Applications. Elsevier; 2021. pp. 97–136. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89970-3.00003-2>
2. Molchanova OV, Andreeva GF. Significance of dietary protein intake in the prevention of obesity, hypertension and breast cancer. The Russian Journal of Preventive Medicine. 2015;18(1):46–53. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/profmed201518146-53>
3. Eliseeva LG, Makhotina IA, Kalachev SL. Improving the safety of plant foods by reducing phytates. Security Issues. 2019;(1):9–17. (In Russ.). [Елисеева Л. Г., Махотина И. А., Калачев С. Л. Повышение безопасности пищевых продуктов растительного происхождения, путем уменьшения содержания фитатов // Вопросы безопасности. 2019. № 1. С. 9–17.]. <https://www.elibrary.ru/ZARHIT>
4. Smol'nikova YaV, Bopp VL, Kolomeyev AV, Stutko OV, Khanipova VA, Broshko DV. Aqueous enzymatic extraction of protein concentrates from *Camelina sativa* oil cake. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(1):199–209. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-199-209>
5. Kolpakova VV, Ulanova RV, Kulikov DS, Gulakova VA, Semenov GV, Shevjakova LV. Pea and chickpea protein concentrates: Quality indicators. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):649–664. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2394>
6. Lir DN, Perevalov AY. Analysis of actual home nutrition of urban children of pre-school and school age. Problems of Nutrition. 2019;88(3):69–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10031>
7. Veselov YuV, Chernov GI. Nutrition of the elderly: Sociological aspect. Advances in Gerontology. 2020;33(5):879–884. <https://doi.org/10.34922/AE.2020.33.5.007>
8. Shterman SV, Sidorenko MYu, Sidorenko YuI, Shterman VS, Chebotareva NI. On the role of sports nutrition in modern sports and society. Food Industry. 2021;(5):75–79. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.5.5.018>
9. Chen J, Liu G, Pantalone V, Zhong Q. Physicochemical properties of proteins extracted from four new Tennessee soybean lines. Journal of Agriculture and Food Research. 2020;2. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100022>
10. Kobelkova IV, Korosteleva MM, Kobelkova MS. The role of high-protein specialized food in increasing the adaptive athletes' potencial. Clinical Nutrition and Metabolism. 2021;2(2):92–99. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/clinutr81572>
11. Kashirskih EV, Babich OO, Kriger OV, Ivanova SA. Oat protein concentrate as part of curd product for sport nutrition. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(3):345–355. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-345-355>
12. Ryazantseva KA, Agarkova EYu, Fedotova OB. Continuous hydrolysis of milk proteins in membrane reactors of various configurations. Foods and Raw Materials. 2021;9(2):271–281. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-271-281>
13. Kolpakova VV, Kovalenok VA. Relationship of the functional properties of dry wheat gluten with amino acid composition and its quality indicators. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019;81(1):173–180. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-173-180>
14. Shelepina NV. The comparison characteristic of smooth and wrinkled peas albuminous complex. Scientific notes of the Oryol State University. Series: Natural, Technical, and Medical Sciences. 2011;(5):277–282. (In Russ.). [Шелепина Н. В. Сравнительная характеристика белкового комплекса гладкозёрных и морщинистых форм гороха // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Естественные, технические и медицинские науки. 2011. № 5. С. 277–282.]. <https://www.elibrary.ru/PHNPIB>
15. Voskobulova NE, Vereshchagina AS, Urazgulov RSh, Kurilkina MYa. Amino acid composition and biological value of pea protein depending on cultivation techniques. Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(3):117–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-102-3-117>
16. Bychkova ES, Podgorbunskikh EM, Rozhdestvenskaya LN, Buchtoyarov VA, Kudacheva PV. Development of technology for bakery products with the introduction of pea hydrolyzate. Storage and Processing of Farm Products. 2022;(3):56–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.371>

17. Korolev AA, Urubkov SA, Koptyaeva IS, Korneva LYa. Grain of legumes plants, general characteristics and application in food concentrates technology. Polzunovskiy Vestnik. 2020;(2):35–39. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.007>
18. Dhaliwal SK, Salaria P, Kaushik P. Pea seed proteins: A nutritional and nutraceutical update. In: Jimenez-Lopez JC, editor. Grain and seed proteins functionality. IntechOpen; 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95323>
19. Hacisalihoglu G, Beisel NS, Settles AM. Characterization of pea seed nutritional value within a diverse population of *Pisum sativum*. PLoS ONE. 2021;16(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259565>
20. Samtiya M, Aluko RE, Dhewa T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. Food Production, Processing and Nutrition. 2020;2. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>
21. Veber AL, Leonova SA, Davletov FA. Phytochemical potential and inhibitory properties of new varieties of leguminous plants. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(2):281–288. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-281-288>
22. Kolpakova VV, Kulikov DS, Ulanova RV, Chumikina LV. Food and feed protein preparations from peas and chickpeas: Production, properties, application. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(2):333–348. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-333-348>
23. Shelepina NV. Pea germ powder as ingredient of fortified high-grade wheat flour bread. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022;988. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/988/2/022047>
24. Prikhodko DV, Krasnoshtanova AA. Using casein and gluten protein fractions to obtain functional ingredients. Foods and Raw Materials. 2023;11(2):223–231. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-569>
25. Shen Y, Hong S, Li Y. Pea protein composition, functionality, modification, and food applications: A review. Advances in Food and Nutrition Research. 2022;101:71–127. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.02.002>
26. Boukid F. The realm of plant proteins with focus on their application in developing new bakery products. Advances in Food and Nutrition Research. 2022;99:101–136. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.11.001>
27. Osipova GA, Koryachkina SYa, Koryachkin VP, Seregina TV, Zhugina AE. Effects of protein-containing additives on pasta quality and biological value. Foods and Raw Materials. 2019;7(1):60–66. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-60-66>
28. Koryachkina SYa, Labutina NV, Berezina NA, Khmeleva EV. Quality control of raw materials, semi-finished products, and bakery products. Moscow: DeLi plus; 2012. 496 p. (In Russ.). [Контроль качества сырья, полуфабрикатов и хлебобулочных изделий / С. Я. Корячкина [и др.]. М.: ДеЛи плюс, 2012. 496 с.]
29. Ren H, Setia R, Warkentin TD, Ai Y. Functionality and starch digestibility of wrinkled and round pea flours of two different particle sizes. Food Chemistry. 2021;336. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127711>
30. Cui W, Ma Z, Li X, Hu X. Structural rearrangement of native and processed pea starches following simulated digestion *in vitro* and fermentation characteristics of their resistant starch residues using human fecal inoculum. International Journal of Biological Macromolecules. 2021;172:490–502. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.01.092>
31. Terstegen T, Grebenteuch S, Rohn S, Müller K-J, Flöter E, Ulbrich M. Organic pea starches – I. Comprehensive investigation of morphological and molecular properties. Starch – Stärke. 2023;75(3–4). <https://doi.org/10.1002/star.202200220>
32. Putina OV, Bobkov SV, Vishnyakova MA. Seed carbohydrate composition and its relation to another breeding important traits of garden pea (*Pisum sativum* L.) in Krasnodar region. Agricultural Biology. 2018;53(1):179–188. (In Russ.). <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.1.179rus>
33. Machikhin YuA. Rheometry of food raw materials and products. Moscow: Agropromizdat; 1990. 271 p. (In Russ.). [Мачихин Ю. А. Реометрия пищевого сырья и продуктов. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.]
34. Radzhabadiev RM, Evstratova VS, Solntseva TN, Samoilov AS, Diel F, Khanferyan RA. Evaluation of chemical composition and energy value of the diets of highly skilled athletes. RUDN Journal of Medicine. 2018;22(1):106–119. (In Russ.). <https://doi.org/10.22363/2313-0245-2018-22-1-106-119>