

УДК 664.665 : 577.15

Разработка технологии хлебобулочных изделий с введением горохового гидролизата

¹ Новосибирский государственный технический университет

² Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

³ Новосибирский НИИ гигиены Роспотребнадзора

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Елена Сергеевна Бычкова

Адрес: 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

E-mail: bychkova.nstu@gmail.com

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Бычкова, Е. С., Подгорбунских, Е. М., Рождественская, Л. Н., Бухтояров, В. А., & Кудачева, П. В. (2022). Применение растительного белка в разработке хлебобулочных изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3).

ПОСТУПИЛА: 21.08.2022

ПРИНЯТА: 25.09.2022

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2022

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



Е. С. Бычкова¹, Е. М. Подгорбунских², Л. Н. Рождественская^{1,3}, В. А. Бухтояров², П. В. Кудачёва¹

АННОТАЦИЯ

Введение. Современные мировые тенденции употребления растительного и животного белка обуславливают превалирование потребления продуктов питания, обогащенных растительным белком. Данный факт связан с тем, что получение растительного белка является наиболее экономически выгодным, экологически безопасным и потенциально несет ценную пищевую компоненту. Известно, что растительный белок усваивается в организме на уровне 61–80 % ввиду наличия антипитательных веществ и имеет неполноценный аминокислотный состав. Целесообразным является изучение новых научных подходов повышения биодоступности пищевых компонентов растительного белкового сырья.

Цель. Формирование и оценка качества хлебобулочных изделий, приготовленных с использованием технологии механоферментативного гидролиза гороха.

Методы. Горох подвергался тонкому измельчению совместно с ферментативным препаратом с последующей стадией ферментативного гидролиза при оптимальных параметрах. Гороховый гидролизат использовали в технологии приготовления хлебобулочных изделий.

Результаты. Установлены технологические параметры приготовления хлебобулочных изделий с введением горохового гидролизата. Оптимальным методом приготовления теста был признан опарный способ замеса, поскольку готовые изделия имели высокие органолептические показатели качества. Экспериментально установлено пороговое количественное значение механически активированного гороха — 15 % к общему содержанию муки в тесте. Общее количество водорастворимых веществ в образцах хлебобулочных изделий с гидролизатом увеличилось более, чем в 2 раза.

Выводы. Готовые изделия с гороховым гидролизатом рекомендуется употреблять в пищу людям с аллергической реакцией на белок бобовых, а также в рационе здоровых людей для повышения доли усвоения растительного белка. Разработка новых продуктов с применением стадии ферментации — это перспективное направление индустрии питания, которое позволяет получать качественно новые изделия с высокой пищевой и биологической ценностью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

растительный белок, растительное сырье, семена гороха, механическая обработка, ферментативный гидролиз, функциональный пищевой продукт, аминокислоты

Development of Technology for Bakery Products with the Introduction of Pea Hydrolyzate

¹ Novosibirsk State Technical University

² Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry Siberian Branch Russian Academy of Sciences

³ Novosibirsk Research Institute of Hygiene Rospotrebnadzor

Elena S. Bychkova¹, Ekaterina M. Podgorbunskikh²,
Lada N. Rozhdestvenskaya^{1,3}, Vladimir A. Buchtoyarov²,
Polina V. Kudacheva¹

CORRESPONDENCE:

Elena S. Bychkova

Address: 20 Prospekt K. Marksa,
Novosibirsk, 630073, Russia
E-mail: bychkova.nstu@gmail.com

FOR CITATIONS:

Bychkova, E. S., Podgorbunskikh, E. M., Rozhdestvenskaya, L. N., Buchtoyarov, V. A., & Kudacheva, P. V. (2022). Development of technology for bakery products with the introduction of Pea Hydrolyzate. *Storage and Processing of Farm Products*, (3).
<https://doi.org/10.36107/spfp.2022.371>

RECEIVED: 21.08.2022

ACCEPTED: 25.09.2022

PUBLISHED: 30.09.2022

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction. Current global trends in plant and animal protein consumption are tilting global society towards the prevalence of consumption of foods fortified with plant protein. This is due to several prevailing aspects: obtaining plant protein is more cost-effective, environmentally friendly and potentially carries a more valuable nutritional component. It is known that plant protein is assimilated in the body at the level of 62–80 % due to the presence of anti-nutrients and has an imperfect amino acid composition. New scientific approaches should be sought to increase the bioavailability of food components of plant protein raw materials.

Purpose. Formation and evaluation of the quality of bakery products prepared using the technology of mechanoenzymatic hydrolysis of peas.

Methods. Peas were subjected to fine grinding together with an enzymatic complex, followed by an enzymatic hydrolysis step at optimal parameters. Pea hydrolyzate was used in the technology of making bakery products.

Results. The technological parameters for the preparation of bakery products with the addition of pea hydrolysate were established. Optimal method of preparing dough was recognized opaque method of kneading, as the finished products had high organoleptic quality indicators. The threshold quantitative value of mechanically activated peas was experimentally established – 15 % of the total flour content in the dough. The total amount of water-soluble substances in the finished samples of bakery products with hydrolysate increased more than 2-fold.

Conclusions. Ready-made bakery products with pea hydrolysate are recommended for people with an allergic reaction to legume protein, as well as in the diet of healthy people to increase the proportion of absorption of plant protein. Development of new products using the fermentation stage is a promising direction of the food industry, which makes it possible to obtain qualitatively new products with high nutritional and biological value.

KEYWORDS

plant protein, plant raw materials, pea seeds, mechanical treatment, enzymatic hydrolysis, functional food product, amino acids

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время интенсивно растет спрос потребителей на продукты функционального и специализированного назначения. Данный факт связан с тем, что значительная часть мирового населения стремится к здоровому образу жизни, рациональному и сбалансированному питанию (Tur & Bibiloni, 2016; Misra et al., 2021). Наиболее целесообразным является производство функциональных и специализированных продуктов массового употребления, по отношению к которым у населения сложилась устойчивая потребность. В первую очередь, к такой категории товаров относятся хлеб и хлебобулочные изделия. Касательно обогащающих компонентов актуальным является включение в рецептуры белковой составляющей (Sharif et al., 2022). В качестве источника белка можно использовать как сырье растительного происхождения, так и животного (Ismail et al., 2020). Получение растительного белка является экономически выгодным, экологически безопасным и потенциально несет более ценную пищевую компоненту (Hertzler et al., 2020). При употреблении продуктов питания животного происхождения помимо полноценного белка в организм поступает холестерин и насыщенные жирные кислоты, которые оказывают негативное влияние на состояние здоровья человека. При употреблении продуктов с растительным белком, дополнительно организм получает комплекс витаминов, минеральных веществ и пищевых волокон (Langyan et al., 2022).

Мировое сообщество претерпевает глобальные изменения в продовольственном секторе. Спровоцированный пандемией COVID-19 дефицит белковых продуктов (в частности, мяса) открыл потенциальные возможности для сектора альтернативных белков. Нехватка мяса в начале пандемии привела к увеличению потребительского спроса на растительные источники белка (Meticulous Research®, 2020). Перенесенная коронавирусная инфекция, как демонстрируют многочисленные медицинские исследования, оказывает серьезное влияние на развитие и усугубление сопутствующих заболеваний, таких как диабет (Abu-Farha et al., 2020; Eberle & Stichling, 2021), гипертония (Muhamad et al., 2021) и болезни сердца (Soumya et al., 2021). В данном случае диета на основе альтернативного белка может помочь снизить негативные последствия, спровоцированные

вирусом, для людей из групп риска. Таким образом, пандемия COVID-19 ускоряет развитие производства и реализации альтернативных белков.

Для обогащения пищевых продуктов растительными белками в основном используют бобовые, в большей мере горох, а также чечевицу, сою, нут и фасоль (Kaur et al., 2013; Bulut et al., 2022). Часто возникающей проблемой, связанной с употреблением бобовых, является проявление аллергической реакции организма на растительный белок (Huby et al., 2000; Verma et al., 2013; Abrams & Gerstner, 2015; Sampson, 2016). Аллергенный ответ может варьироваться от легких кожных реакций до угрожающей жизни анафилаксии. Аллергия чаще всего проявляется от употребления следующих видов бобовых: арахиса, сои, чечевицы, нута, гороха и фасоли. Большинство идентифицированных аллергенов рассматриваемых культур относятся к семейству запасных белков, профилинам и белкам, связанным с патогенезом. Бобовые также обладают свойством иммунологической перекрестной реактивности между собой и из других источников, что значительно увеличивает серьезность аллергенного ответа. Снизить или исключить аллергическую реакцию на белок возможно, изменив его структурные свойства путем термического или физического воздействия (Verhoeckx et al., 2015; Pekar et al., 2018).

При проектировании рецептур пищевых продуктов с белками растительного происхождения следует учитывать, что аминокислотный состав белоксодержащего растительного сырья не отвечает требованием полноценности и усваивается в диапазоне 61–80 % в виду наличия антипитательных веществ (Parca et al., 2018). В мировой практике существует ряд подходов к увеличению биологической ценности растительного белкового сырья, вплоть до генной модификации. Но в основном применяемые методы либо малоэффективны, либо экономически не выгодны. Наиболее результативным способом изменения белковой молекулы является применение технологии ферментативного гидролиза (El Mecherfi et al., 2020; Etemadian et al., 2021). Ключевым моментом работы, выделяющих ее среди остальных, является применение механической обработки растительного сырья совместно с ферментативным препаратом перед проведением гидролиза для повышения эффективности протеолиза с дальнейшим включением гидролизата в состав хлебобулочных изделий.

Цель исследования: формирование и оценка качества пищевых продуктов, приготовленных с использованием технологии механоферментативного гидролиза гороха. Методология представленного исследования заключается в выстраивании последовательных логически связанных технологических этапов разработки хлебобулочных изделий с гороховым гидролизатом и исследовании эффективности внесения гидролизата в тесто. Результатом исследования явилось то, что полученные новые продукты питания с включением горохового гидролизата обладают приемлемыми потребительскими качествами и высокой пищевой ценностью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

В качестве материалов для исследования использовали семена гороха (горох колотый, I сорт, ГОСТ 6201-68¹, ООО «ЭКО-ПАК», Новосибирская область) и комплексный ферментный препарат «Фидбест VGPro» (ООО ПО «Сиббиофарм», г. Бердск), характеризующийся следующим профилем каталитической активности: ксилазная активность не менее 10000 ед/г; бета-глюканазная активность не менее 3500 ед/г; пектиназная активность не менее 5000 ед/г; протеолитическая активность не менее 120 ед/г. Для приготовления хлебобулочных изделий использовали коммерчески доступные ингредиенты: мука пшеничная первого сорта (ГОСТ 26574-2017²), семена гороха, дрожжи прессованные (ГОСТ Р 54731-2011³), сыворотка молочная, масло сливочное, отруби, морковь, семена льна, соль, сахар, бычий сывороточный альбумин (БСА) («AppliChem», Германия), вода дистиллированная (ГОСТ Р 58144-2018⁴), гексацианоферрат (III) калия х.ч. ГОСТ 4206-75⁵ («Реахим», Россия), D(+)-Глюкоза (99 %, «SIGMA», США). Нингидрин (хч, ЗАО «СоюзХимПром», Россия).

Оборудование

Механическая обработка семян гороха проводилась в центробежно-роlikовой мельнице РМ-20 (производство ИХТТМ СО РАН, г. Новосибирск, мощность 5,5 кВт, скорость подачи сырья 8 кг/час). Мелющие тела — стальные ролики, зафиксированные на ведущих валах. Экстрактор Сокслета 50×250 мм, DWK Life Sciences (Duran, Wheaton, Kimble). Спектрофотометр СФ-2000 (ООО «ОКБ СПЕКТР», Россия) с диапазоном длин волн 190-1100 нм. Камера для вертикального электрофореза «HeliconVE-20» (ООО «Helicon», США). Водяная баня WSB-30 (DAIHAN Scientific, Корея). Хроматограф жидкостный Agilent 1200 (Agilent Technologies, США). Масс-спектрометр Agilent 6410 QQQ (Agilent Technologies, США).

Методы и инструменты

Ферментативный гидролиз механически обработанной гороховой биомассы проводили в течение 5 часов при 50 °С и перемешивании 120 об/мин. Суспензии тщательно перемешивали, помещали на водяную баню. Надосадочную жидкость после проведения реакции ферментативного гидролиза отделяли центрифугированием (20 минут, 6000 rpm).

Содержание восстанавливающих сахаров определяли спектрофотометрическим методом Хагедорна-Йенсена. Анализ на количественное содержание белка в готовых изделиях проводили по методу Брэдфорда. Калибровочный график строили по раствору БСА, концентрация 1 мг/мл. Для оценки количества аминокрупп в экстрактах использовали реакцию с нингидрином с последующей оценкой интенсивности окрашивания раствора на длине волны 590 нм. Для определения водорастворимых веществ использовали метод исчерпывающей экстракции в экстракторе Сокслета в течение 24 часов. Содержание свободных аминокислот определяли с помощью ВЭЖХ-МС/МС в Центре масс-спектрометрического анализа (ИХБФМ СО РАН).

¹ ГОСТ 6201-68 (2010). *Горох шлифованный. Технические условия*. М: Стандартинформ.

² ГОСТ 26574-2017 (2018). *Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия*. М: Стандартинформ.

³ ГОСТ Р 54731-2011 (2013). *Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия*. М: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ Р 58144-2018 (2022). *Вода дистиллированная. Технические условия*. М: Стандартинформ.

⁵ ГОСТ 4206-75. (1993). *Реактивы. Калий железосинеродистый. Технические условия*. М.: Стандартиздат.

Процедура исследования

Механическая обработка семян гороха осуществлялась по методу Bukhtoyarov et al. (2015) в два этапа: первый — предварительное измельчение на ножевой мельнице до частиц с размерами менее 2 мм; второй — механическая обработка совместно с ферментным препаратом на центробежно-роликовой мельнице РМ-20. Данный режим механической обработки позволяет разупорядочить ультраструктуру растительного сырья при сохранении каталитической активности ферментного препарата.

Полученный механоферментативный полупродукт — совместно механически обработанная гороховая биомасса и ферментативный препарат — подвергался последующему ферментативному гидролизу. Полученный гидролизат вводили в тесто с целью активизации процесса брожения дрожжевого теста и повышения биологической ценности готовых изделий. Для обоснования эффективности воздействия гидролизата на процесс брожения определяли сухой нерастворимый остаток на разных модельных образцах опары. Выведены уравнения регрессии по трем взаимосвязанным показателям.

Для оценки новых рецептов хлебобулочных изделий с использованием горохового гидролизата проводилось изучение физико-химических показателей: содержание белка, количество аминокрупп, содержание водорастворимых веществ, содержание свободных аминокислот.

Анализ данных

Результаты представлены в виде среднего значения \pm стандартное отклонение (SD).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методология разработки белоксодержащего пищевого продукта

В организации научного исследования важен системный подход с поэтапным выстраиванием концепции разработки. Формирование методологии создания пищевого продукта необходимо для построения логической связи между последова-

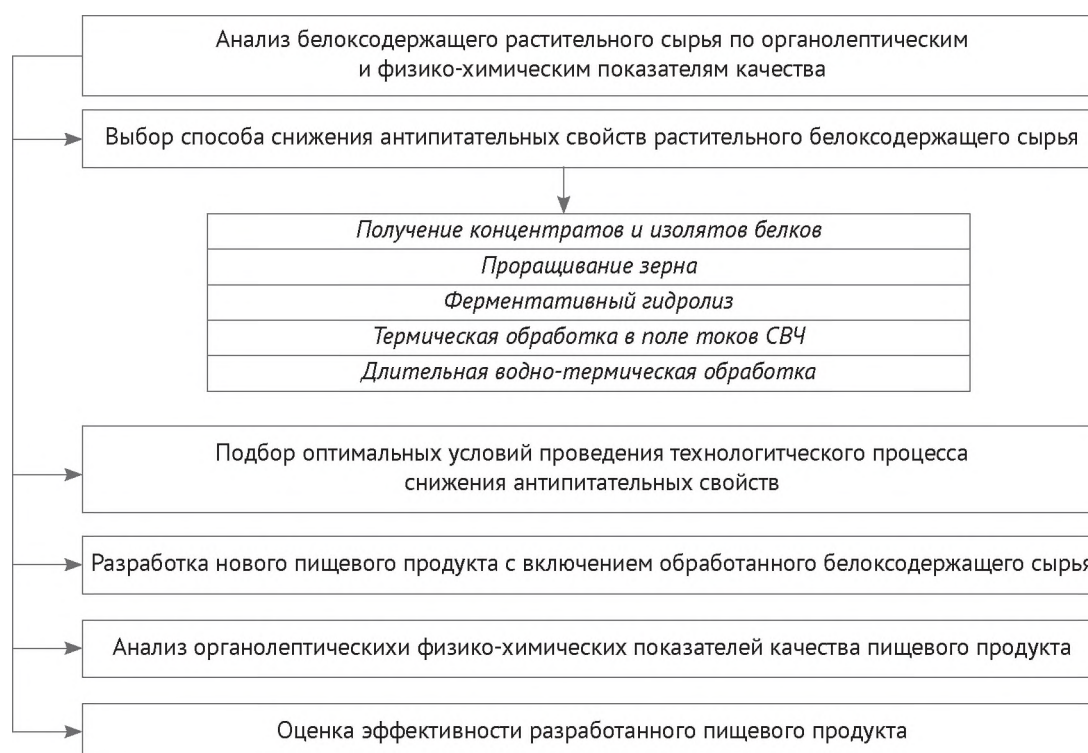


Рисунок 1

Алгоритм проектирования белоксодержащего пищевого продукта

тельными этапами для эффективной реализации поставленных задач. Комплексный подход, объединяющий принципы, алгоритмы и механизмы разработки продуктов, позволяет систематизировать организацию создания пищевого продукта и последовательность научных исследований. На Рисунке 1 представлен пошаговый алгоритм проектирования белоксодержащего пищевого продукта.

Механоферментативный гидролиз белоксодержащего сырья

В качестве объекта исследования были выбраны семена гороха. В качестве метода снижения антипитательных свойств сырья в работе была применена стадия ферментативного гидролиза. На начальном этапе подготовки сырья семена гороха подвергали механической обработке совместно с ферментным препаратом «Фидбест VGPro». Многочисленные работы подтверждают эффективность предварительной обработки сырья для интенсификации последующей стадии ферментативного гидролиза, к подобным технологиям относят микроволновое излучение (El Mecherfi et al., 2019), гидростатическое давление (Quirós et al., 2007) и ультразвук (Li et al., 2016). В данной работе исследовано влияние предварительной механической обработки зерен гороха на последующую стадию ферментативного гидролиза. Было показано, что проведение механической обработки без добавления ферментного препарата (ферменты вносятся непосредственно перед гидролизом и механической обработке не подвергаются) приводит практически к двукратному снижению скорости гидролиза по сравнению с системой «совместно обработанное сырье + фермент» (Bychkov et al., 2019).

По скорости накопления водорастворимых веществ установлены оптимальные параметры проведения гидролиза: концентрация ферментного препарата 2 масс.%; продолжительность проведения гидролиза — 5 часов. Дополнительное введение фермента не оказывает влияние на скорость ферментативной реакции, так как при концентрации около 2 масс.% происходит полное заполнение поверхности субстрата ферментом. Готовый гороховый гидролизат характеризуется текучей консистенцией, с запахом и привкусом гороха, цвет кремовый с сероватым оттенком.

Подбор пищевой основы для введения горохового гидролизата

Для формирования нового пищевого продукта важен научный подход к выбору пищевой основы. При обосновании ассортимента пищевых продуктов, подходящих для введения растительных гидролизатов, использовали результаты анализа прогнозируемого влияния обработанного белоксодержащего сырья на качество пищевой основы, в том числе на органолептические показатели и функциональные свойства. Оптимальными пищевыми основами для введения полученного обработанного зерна гороха являются супы-пюре, соусы, некоторые гарниры и тесто (Bychkova et al., 2016). Благодаря тому, что гороховый гидролизат содержит высокое количество редуцирующих углеводов (16,3 %) и других водорастворимых веществ (78,5 %), он может стать питательным субстратом для дрожжей, на чем обосновывается целесообразность введения гидролизата в дрожжевое тесто, что продемонстрировано в работе.

Модель процесса замеса дрожжевого теста с включением горохового гидролизата представлена в виде параметрической схемы, в которой учтены параметры возмущения, наблюдения и управления (Рисунок 2). Параметрическая схема позволяет сформировать систему влияния факторов на технологический процесс и реализовать многофакторное управление процессом для получения оптимального результата.

В соответствии с Рисунком 2 для определения оптимальных параметров процесса замеса дрожжевого теста с гороховым гидролизатом необходимо использовать метод многофакторного эксперимента, как позволяющего учесть и выявить взаимодействия факторов и их влияние на изучаемый процесс.

Математическое моделирование зависимости образования сухого нерастворимого остатка от количественного соотношения компонентов

Проведен комплексный эксперимент влияния двух варьируемых факторов (количества дрожжей и гидролизата) на количество сухого нерастворимого остатка. После реализации эксперимента по матрице планирования эксперимента (Таблица 1) и полу-

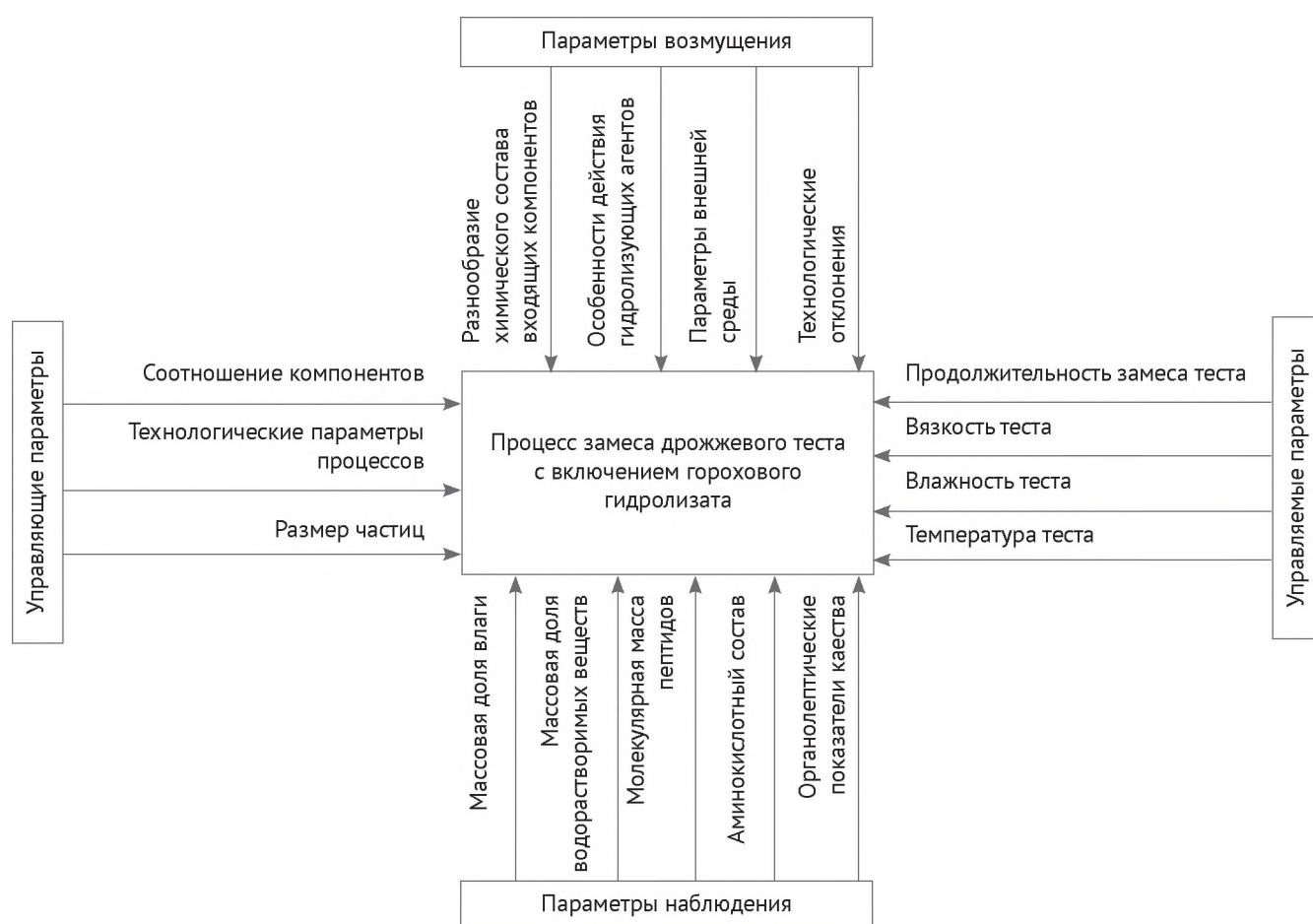


Рисунок 2

Параметрическая схема замеса дрожжевого теста с гороховым гидролизатом

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

Фактор	Уровни варьирования			Шаг варьирования
	нижний	нулевой	верхний	
Количество дрожжей, г	1	2	3	1
Количество гидролизата, г	20	30	40	10

чения значений критерия оптимизации проведена обработка результатов.

Уравнение регрессии определения сухого нерастворимого осадка от количественного соотношения гидролизата и дрожжей имеет вид:

$$Z = 14,9994 - 0,8883X - 0,0605Y,$$

где X — количество дрожжей, г; Y — количество гидролизата, г; Z — сухой нерастворимый остаток, г.

По совокупности результатов экспериментов можно сделать вывод о том, что с увеличением количества дрожжей и гидролизата в модельных образцах опары интенсивнее идет процесс образования водорастворимых веществ, как следствие, повышается газообразующая способность теста и уменьшается количество нерастворимых веществ. С помощью моделирования можно прогнозировать химический состав изделий в зависимости от соотношения исходных компонентов.

При частичной замене пшеничной муки гороховым сырьем снижается гидрофильность системы, что связано с накоплением водорастворимых веществ (Nogueira et al., 2020). Экспериментально установлено пороговое количественное значение механически активированного гороха — 15 % к общему содержанию муки в тесте. При такой концентрации ведения растительного белоксодержащего сырья не нарушаются структурно-механические и физико-химические свойства теста.

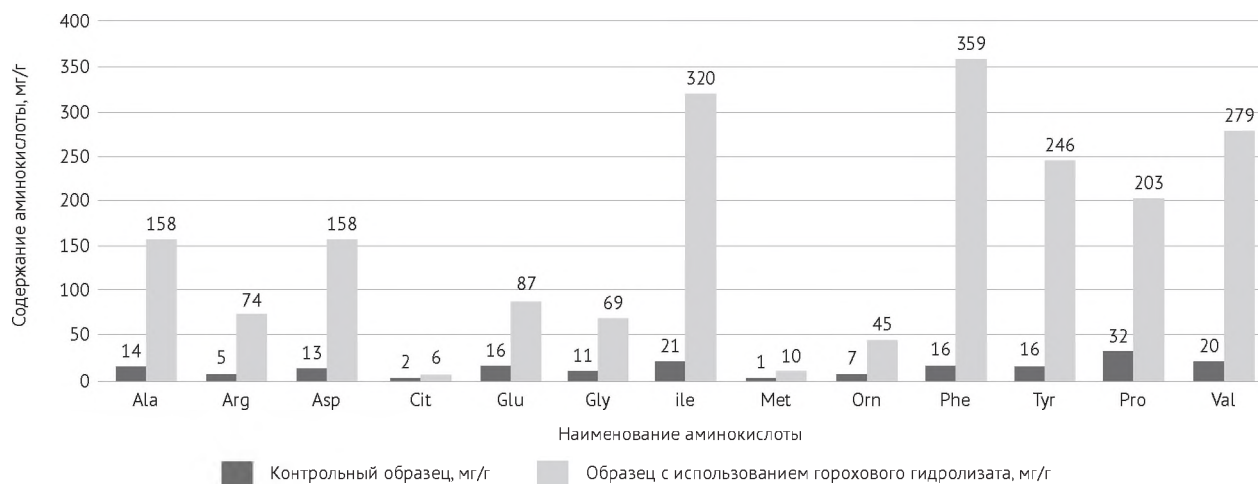


Рисунок 3

Аминокислотный состав изделий

Органолептические и физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий

Известно, что повышение концентрации свободных аминокислот в тесте значительно меняет восприятие хлебобулочного изделия, вплоть до ощущения неприятного вкуса и темного цвета корочки (Thiele et al., 2002). В связи с этим комплексная органолептическая оценка хлебобулочных изделий, полученных с применением горохового гидролизата, является необходимым этапом исследования. По органолептическим показателям качества готовые изделия имеют не расплывчатую форму, цвет от светло-коричневого до темно-коричневого, пористость однородная, без пустот и уплотнений, мякиш пропеченный, вкус свойственный данному виду изделий, без постороннего вкуса и запаха.

В Таблице 2 представлены данные по содержанию общего количества водорастворимых веществ, количественное содержание белка и аминокрупп в контрольных образцах и в образцах с гидролизатом. Установлено, что в изделиях с гидролизатом количество белка меньше, а количество концевых аминокрупп больше по сравнению с контрольными образцами, что объясняется процессом ферментативного расщепления белка под действием протеаз. Снижение концентрации белка в процессе ферментативного гидролиза является ожидаемым явлением, описанным ранее (Gain et al., 2015).

Целесообразность стадии механоферментативного гидролиза дополнительно обоснована увеличением свободных аминокислот в разработанных образцах по сравнению с контрольным (Рисунок 3).

Таблица 2

Физико-химические показатели качества готовых изделий, приготовленных опарным и безопарным способом с включением гидролизата и без него

Наименование образца	Общее количество водорастворимых веществ, %	Количество белка, мг/мл	Количество аминокрупп, мг/мл
Контрольный образец	26,8 ± 1,2	3,6 ± 0,2	0,4 ± 0,02
Образец с гидролизатом	68,3 ± 4,5	1,6 ± 0,1	2,3 ± 0,1

ВЫВОДЫ

Разработаны рецептуры хлебобулочных изделий с использованием технологии механоферментативного гидролиза гороха. Структурно-параметрический анализ процесса замеса дрожжевого теста с растительным гидролизатом позволяет более детально изучить процесс, установить взаимосвязанные параметры и оптимизировать качественные характеристики.

Эффективность воздействия технологии ферментации обоснована насыщением состава изделий свободными аминокислотами и соответственно снижением количественного содержания белка. Установлены технологические параметры приготовления хлебобулочных изделий с введением горохового гидролизата. Оптимальным методом замеса теста является опарный способ, поскольку хлебобулочные изделия обладали лучшими органолептическими показателями качества. Экспери-

ментально установлено пороговое количественное значение механически активированного гороха — 15 % от содержания муки в тесте. Общее количество водорастворимых веществ в готовых образцах хлебобулочных изделий с гидролизатом увеличилось более, чем в 2 раза.

Разработанные образцы рекомендованы к употреблению людям с аллергической реакцией на белок бобовых, а также в рационе здоровых людей для повышения доли усвоения растительного белка. Разработка новых изделий с применением стадии ферментации — это перспективное направление индустрии питания, которое позволяет получать качественно новые изделия с высокой пищевой и биологической ценностью.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках реализации программы развития НГТУ, научный проект № С22-16.

ЛИТЕРАТУРА

- Abrams, E. M., & Gerstner, T. V. (2015). Allergy to cooked, but not raw, peas: a case series and review. *Allergy, Asthma and Clinical Immunology*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13223-015-0077-x>
- Abu-Farha, M., Al-Mulla, F., Thanaraj, T. A., Kavalakatt, S., Ali, H., Abdul Ghani, M., & Abubaker, J. (2020). Impact of diabetes in patients diagnosed with COVID-19. *Frontiers in Immunology*, 11, 576818. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.576818>
- Bukhtoyarov, V. A., Bychkov, A. L., & Lomovskii, O. I. (2015). Effect of lignocellulose substrate on enzyme denaturation during joint mechanical treatment. *Russian Chemical Bulletin*, 64, 948–951. <https://doi.org/10.1007/s11172-015-0960-0>
- Bulut, M., Adal, E., & Aktar, T. (2022). Plant protein enrichment effect on the physical, chemical, microbiological, and sensory characteristics of yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, #e16865 <https://doi.org/10.1111/jfpp.16865>
- Bychkov, A. L., Gavrilova, K. V., Bychkova, E. S., Akimenko, Z. A., Chernonozov, A. A., Kalambet, Y. A., & Lomovskii, O. I. (2019). Fractionation and hydrolysis of proteins of plant raw materials obtaining functional nutrition products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 479, 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/479/1/012001>
- Bychkova, E. S., Pogorova, V. D., Bychkov A. L., Lomovsky, O. I., Ogienko, A. G., Beyzel, N. F., Zubareva, A. P., & Chernonozov, A. A. (2016). Development of puree-soups recipes, based on pea hydrolyzate. Part II. Evaluation of the puree-soups quality of special purpose. *Food Industry*, 11, 50–52.
- Eberle, C., & Stichling S. (2021). Impact of COVID-19 lockdown on glycemic control in patients with type 1 and type 2 diabetes mellitus: a systematic review. *Diabetol Metab Syndr*, 13, 95. <https://doi.org/10.1186/s13098-021-00705-9>
- El Mecherfi, K. E., Curet, S., Lupi, R., Larré, C., Rouaud, O., Choiset, Y., Rabesona, H., & Haertlé, T. (2019). Combined microwave processing and enzymatic proteolysis of bovine whey proteins: the impact on bovine β -lactoglobulin allergenicity. *J Food Sci Technol*. 56(1), 177–186. 10.1007/s13197-018-3471-9
- El Mecherfi, K. -E., Todorov, S. D., Cavalcanti de Albuquerque, M. A., Denery-Papini, S., Lupi, R., Haertlé, T., Dora Gombossy de Melo Franco, B., & Larré, C. (2020). Allergenicity of Fermented Foods: Emphasis on Seeds Protein-Based Products. *Foods*, 9, 792. <https://doi.org/10.3390/foods9060792>
- Etemadian, Y., Ghaemi, V., Shaviklo, A. R., Pourashouri, P., Mahoonak, A. R. S., & Rafipour, F. (2021). Development of animal/ plant-based protein hydrolysate and its application in food, feed and nutraceutical industries: State of the art. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123219>
- Gani, A., Broadway, A. A., Ahmad, M., Ashwar, B. A., Wani, A. A., Wani, S. M., Masoodi, F. A., & Khatkar, B. S. (2015). Effect of whey and casein protein hydrolysates on rheological, textural and sensory properties of cookies. *J Food Sci Technol*, 52(9), 5718–26. 10.1007/s13197-014-1649-3

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Бычкова Е. С.: концептуализация; методология; создание черновика рукописи; получение финансирования, создание рукописи и ее редактирование.

Подгорбунских Е. М.: проведение исследования; ресурсы; создание рукописи и её редактирование; визуализация.

Рождественская Л. Н.: концептуализация; верификация данных; ресурсы; руководство исследованием.

Бухтояров В. А.: верификация данных; формальный анализ; проведение исследования; ресурсы.

Кудачёва П. В.: проведение исследования; администрирование данных; создание черновика рукописи; визуализация.

- Hertzler, S. R., Lieblein-Boff, J. C.; Weiler, M., & Allgeier, C. (2020). Plant Proteins: Assessing Their Nutritional Quality and Effects on Health and Physical Function. *Nutrients*, 12, 3704. <https://doi.org/10.3390/nu12123704>
- Huby, R. D. J., Dearman, R. J., & Kimber, I. (2000). Why are some proteins allergens? *Toxicological Sciences*, 55(2), 235–246. <https://doi.org/10.1093/toxsci/55.2.235>
- Ismail, B P., Senaratne-Lenagala, L., Stube, A., & Brackenridge, A. (2020). Protein demand: review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production. *Animal Frontiers*, 10(4), 53–63. <https://doi.org/10.1093/af/vfaa040>
- Kaur, G., Sharma, S., Nagi, H. P. S., & Ranote P. S. (2013). Enrichment of pasta with different plant proteins. *J. Food Sci. Technol.*, 50, 1000–1005. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0404-2>
- Langyan, S., Yadava, P., Khan, F. N., Dar, Z. A., Singh, R., & Kumar, A. (2022). Sustaining Protein Nutrition Through Plant-Based Foods. *Front. Nutr.* 8, 772573. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.772573>
- Li, S., Yang, X., Zhang, Y., Ma, H., Liang, Q., Qu, W., He, R., Zhou, C., & Mahunu, G. K. (2016). Effects of ultrasound and ultrasound assisted alkaline pretreatments on the enzymolysis and structural characteristics of rice protein. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.ultrsonch.2015.11.019>
- Meticulous Research®. (2020). COVID-19 Impact on Alternative Protein Industry: Meticulous Research® Viewpoint. <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/06/01/2041606/0/en/COVID-19-Impact-on-Alternative-%20Protein-Industry-Meticulous-Research-Viewpoint.html>
- Misra, S., Pandey, P., & Mishra, H. N. (2021). Novel approaches for co-encapsulation of probiotic bacteria with bioactive compounds, their healthbenefits and functional food product development: a review. *Trends Food Sci.Technol.*, 109, 340–351. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.039>
- Muhamad, S.- A., Ugusman, A., Kumar, J., Skiba, D., Hamid, A. A., & Aminuddin, A. (2021). COVID-19 and hypertension: The what, the why, and the how. *Frontiers in Physiology*, 12, 665064. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.665064>
- Nogueira, A. de C., de Oliveira, R. A., & Steel, C. J. (2020). Protein enrichment of wheat flour doughs: empirical rheology using protein hydrolysates. *Food Sci. Technol (Campinas)*, 40, <https://doi.org/10.1590/fst.06219>
- Parca F., Koca Y. O., & Unay A. (2018). Nutritional and antinutritional factors of some pulses seed and their effects on human health. *International Journal of Secondary Metabolite*, 5(4), 331–342. <https://doi.org/10.21448/ijsm.488651>
- Pekar, J., Ret, D., & Untersmayr, E. (2018). Stability of allergens. *Molecular Immunology*, 100, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.017>
- Quirós, A., Chichón, R., Recio, I., & López-Fandiño, R. (2007). The use of high hydrostatic pressure to promote the proteolysis and release of bioactive peptides from ovalbumin. *Food Chemistry*, 104, 1734–1739. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.050>
- Sampson, H. A. (2016). Food allergy: Past, present and future. *Allergology International*, 65(4), 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.alit.2016.08.006>
- Sharif, M. K., Saleem, M., Sharif, H. R., & Saleem, R. (2022). Enrichment and Fortification of Traditional Foods with Plant Protein Isolates. In A. Manickavasagan, L. T. Lim, A. Ali (Eds.), *Plant Protein Foods*. Springer, Cham. (pp. 131–169). https://doi.org/10.1007/978-3-030-91206-2_5
- Soumya, R. S., Govindan Unni, T., & Raghu, K. G. (2021). Impact of COVID-19 on the Cardiovascular System: A Review of Available Reports. *Cardiovascular Drugs and Therapy*, 35, 411–425. <https://doi.org/10.1007/s10557-020-07073-y>
- Thiele, C., Gänzle, M. G., & Vogel, R. F. (2002). Contribution of sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavor. *Cereal Chemistry*, 79, 45–51. <https://doi.org/10.1094/CCEM.2002.79.1.45>
- Tur, J. A., & Bibiloni, M. M. (2016). Functional Foods. In B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of Food and Health*, (pp. 157–161). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00340-8>
- Verhoeckx, K. C. M., Vissers, Y. M., Baumert, J. L., Faludi, R., Feys, M., Flanagan S., Herouet-Guicheney, C., Holzhauser, T., Shimojo, R., van der Bolt, N., Wichers, H., & Kimber, I. (2015). Food processing and allergenicity. *Food and Chemical Toxicology*, 80, 223–240. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.03.005>
- Verma, A. K., Kumar, S., Das, M., & Dwivedi, P. D. (2013). A comprehensive review of legume allergy. *Clinical Reviews in Allergy and Immunology*, 45(1), 30–46. <https://doi.org/10.1007/s12016-012-8310-6>

REFERENCES

- Abrams, E. M., & Gerstner, T. V. (2015). Allergy to cooked, but not raw, peas: a case series and review. *Allergy, Asthma and Clinical Immunology*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13223-015-0077-x>
- Abu-Farha, M., Al-Mulla, F., Thanaraj, T. A., Kavalakatt, S., Ali, H., Abdul Ghani, M., & Abubaker, J. (2020). Impact of diabetes in patients diagnosed with COVID-19. *Frontiers in Immunology*, 11, 576818. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.576818>
- Bukhtoyarov, V. A., Bychkov, A. L., & Lomovskii, O. I. (2015). Effect of lignocellulose substrate on enzyme denaturation during joint mechanical treatment. *Russian Chemical Bulletin*, 64, 948–951. <https://doi.org/10.1007/s11172-015-0960-0>
- Bulut, M., Adal, E., & Aktar, T. (2022). Plant protein enrichment effect on the physical, chemical, microbiological, and sensory characteristics of yogurt. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, #e16865 <https://doi.org/10.1111/jfpp.16865>
- Bychkov, A. L., Gavrilova, K. V., Bychkova, E. S., Akimenko, Z. A., Chernonosov, A. A., Kalambet, Y. A., & Lomovskii, O. I. (2019). Fractionation and hydrolysis of proteins of plant raw materials obtaining functional nutrition products. *IOP Conference Series: Materials Science and*

- Engineering*, 479, 012001. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/479/1/012001>
- Bychkova, E. S., Pogorova, V. D., Bychkov A. L., Lomovsky, O. I., Ogienko, A. G., Beyzel, N. F., Zubareva, A. P., & Chernon-
osov, A. A. (2016). Development of puree-soups recipes,
based on pea hydrolyzate. Part II. Evaluation of the pu-
ree-soups quality of special purpose. *Food Industry*, 11,
50–52.
- Eberle, C., & Stichling S. (2021). Impact of COVID-19 lock-
down on glycemic control in patients with type 1 and type
2 diabetes mellitus: a systematic review. *Diabetol Metab
Syndr*, 13, 95. <https://doi.org/10.1186/s13098-021-00705-9>
- El Mecherfi, K. E., Curet, S., Lupi, R., Larré, C., Rouaud, O.,
Choiset, Y., Rabesona, H., & Haertlé, T. (2019). Combined
microwave processing and enzymatic proteolysis of bo-
vine whey proteins: the impact on bovine β -lactoglobulin
allergenicity. *J Food Sci Technol*. 56(1), 177–186. 10.1007/
s13197-018-3471-9
- El Mecherfi, K. -E., Todorov, S. D., Cavalcanti de Albuquer-
que, M. A., Denery-Papini, S., Lupi, R., Haertlé, T., Dora
Gombossy de Melo Franco, B., & Larré, C. (2020). Al-
lergenicity of Fermented Foods: Emphasis on Seeds
Protein-Based Products. *Foods*, 9, 792. <https://doi.org/10.3390/foods9060792>
- Etemadian, Y., Ghaemi, V., Shaviklo, A. R., Pourashouri, P.,
Mahoonak, A. R. S., & Rafipour, F. (2021). Development
of animal/ plant-based protein hydrolysate and its appli-
cation in food, feed and nutraceutical industries: State of
the art. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123219>.
- Gani, A., Broadway, A. A., Ahmad, M., Ashwar, B. A., Wani, A. A.,
Wani, S. M., Masoodi, F. A., & Khatkar, B. S. (2015). Effect
of whey and casein protein hydrolysates on rheological,
textural and sensory properties of cookies. *J Food Sci
Technol*, 52(9), 5718–26. 10.1007/s13197-014-1649-3
- Hertzler, S. R., Lieblein-Boff, J. C.; Weiler, M., & Allgeier, C.
(2020). Plant Proteins: Assessing Their Nutritional Quali-
ty and Effects on Health and Physical Function. *Nutrients*,
12, 3704. <https://doi.org/10.3390/nu12123704>
- Huby, R. D. J., Dearman, R. J., & Kimber, I. (2000). Why are
some proteins allergens? *Toxicological Sciences*, 55(2),
235–246. <https://doi.org/10.1093/toxsci/55.2.235>
- Ismail, B P., Senaratne-Lenagala, L., Stube, A., & Bracken-
ridge, A. (2020). Protein demand: review of plant and an-
imal proteins used in alternative protein product devel-
opment and production. *Animal Frontiers*, 10(4), 53–63.
<https://doi.org/10.1093/af/vfaa040>
- Kaur, G., Sharma, S., Nagi, H. P. S., & Ranote P. S. (2013). En-
richment of pasta with different plant proteins. *J. Food
Sci. Technol.*, 50, 1000–1005. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0404-2>
- Langyan, S., Yadava, P., Khan, F. N., Dar, Z. A., Singh, R., &
Kumar, A. (2022). Sustaining Protein Nutrition Through
Plant-Based Foods. *Front. Nutr.* 8, 772573. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.772573>
- Li, S., Yang, X., Zhang, Y., Ma, H., Liang, Q., Qu, W., He, R.,
Zhou, C., & Mahunu, G. K. (2016). Effects of ultrasound
and ultrasound assisted alkaline pretreatments on the
enzymolysis and structural characteristics of rice pro-
tein. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.019>
- Meticulous Research®. (2020). COVID-19 Impact on Alterna-
tive Protein Industry: Meticulous Research® Viewpoint.
<https://www.globenewswire.com/news-release/2020/06/01/2041606/0/en/COVID-19-Impact-on-Alternative-%20Protein-Industry-Meticulous-Research-Viewpoint.html>
- Misra, S., Pandey, P., & Mishra, H. N. (2021). Novel approach-
es for co-encapsulation of probiotic bacteria with bioac-
tive compounds, their healthbenefits and functional food
product development: a review. *Trends Food Sci.Technol.*,
109, 340–351. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.039>
- Muhamad, S.- A., Ugusman, A., Kumar, J., Skiba, D., Ha-
mid, A. A., & Aminuddin, A. (2021). COVID-19 and
hypertension: The what, the why, and the how. *Frontiers in Physiology*, 12, 665064. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.665064>
- Nogueira, A. de C., de Oliveira, R. A., & Steel, C. J. (2020). Pro-
tein enrichment of wheat flour doughs: empirical rheol-
ogy using protein hydrolysates. *Food Sci. Technol (Campi-
nas)*, 40, <https://doi.org/10.1590/fst.06219>
- Parca F., Koca Y. O., & Unay A. (2018). Nutritional and antinu-
tritional factors of some pulses seed and their effects on
human health. *International Journal of Secondary Metabo-
lite*, 5(4), 331–342. <https://doi.org/10.21448/ijism.488651>
- Pekar, J., Ret, D., & Untersmayr, E. (2018). Stability of al-
lergens. *Molecular Immunology*, 100, 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.017>
- Quirós, A., Chichón, R., Recio, I., & López-Fandiño, R.
(2007). The use of high hydrostatic pressure to promote
the proteolysis and release of bioactive peptides from
ovalbumin. *Food Chemistry*, 104, 1734–1739. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.050>
- Sampson, H. A. (2016). Food allergy: Past, present and future.
Allergology International, 65(4), 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.alit.2016.08.006>
- Sharif, M. K., Saleem, M., Sharif, H. R., & Saleem, R. (2022).
Enrichment and Fortification of Traditional Foods with
Plant Protein Isolates. In A. Manickavasagan, L. T. Lim, A.
Ali (Eds.), *Plant Protein Foods*. Springer, Cham. (pp. 131–
169). https://doi.org/10.1007/978-3-030-91206-2_5
- Soumya, R. S., Govindan Unni, T., & Raghu, K. G. (2021). Im-
pact of COVID-19 on the Cardiovascular System: A Review
of Available Reports. *Cardiovascular Drugs and Therapy*, 35,
411–425. <https://doi.org/10.1007/s10557-020-07073-y>
- Thiele, C., Gänzle, M. G., & Vogel, R. F. (2002). Contribution of
sourdough lactobacilli, yeast, and cereal enzymes to the
generation of amino acids in dough relevant for bread fla-
vor. *Cereal Chemistry*, 79, 45–51. <https://doi.org/10.1094/CCEM.2002.79.1.45>
- Tur, J. A., & Bibiloni, M. M. (2016). Functional Foods. In B.
Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), *Encyclopedia of
Food and Health*, (pp. 157–161). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00340-8>.
- Verhoeckx, K. C. M., Vissers, Y. M., Baumert, J. L., Falu-
di, R., Feys, M., Flanagan S., Herouet-Guicheney, C.,
Holzhauser, T., Shimojo, R., van der Bolt, N., Wichers, H.,
& Kimber, I. (2015). Food processing and allergenicity.
Food and Chemical Toxicology, 80, 223–240. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.03.005>
- Verma, A. K., Kumar, S., Das, M., & Dwivedi, P. D. (2013).
A comprehensive review of legume allergy. *Clinical Re-
views in Allergy and Immunology*, 45(1), 30–46. <https://doi.org/10.1007/s12016-012-8310-6>