

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-1-44-53>



Поступила 23.09.2025

Поступила после рецензирования 27.02.2026

Принята в печать 03.03.2026

© Колпакова В. В., Гайворонская И. С., Гулакова В. А., Семенов Г. В., Цурикова Н. В., Сеницын А. П., 2026

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Открытый доступ

## ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ СИНТЕЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ И ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА

Колпакова В. В.<sup>1\*</sup>, Гайворонская И. С.<sup>1</sup>, Гулакова В. А.<sup>1</sup>, Семенов Г. В.<sup>2</sup>, Цурикова Н. В.<sup>3</sup>, Сеницын А. П.<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья — филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха, Красково, Московская область, Россия

<sup>2</sup>Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

<sup>3</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

<sup>4</sup>Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>5</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

пшеничная  
клейковина,  
гороховый  
концентрат,  
подсолнечный  
концентрат,  
биосинтез,  
параметры,  
оптимизация,  
свойства,  
модификация

Функциональные свойства растительных белковых концентратов часто не отвечают требованиям, предъявляемым к ним специалистами пищевой промышленности при разработке рецептур белокосодержащих продуктов питания (мясные, кондитерские и т.д.). В данном исследовании с целью модификации функциональных свойств коммерческих белковых препаратов разработаны оптимальные/рациональные параметры биосинтеза новых гороховых, подсолнечных и пшеничных концентратов с ферментами тирозиназой и микробной транскляминазой, относящихся, соответственно, к классу оксидоредуктаз и трансфераз. При этом установлены закономерности влияния концентрации ферментов, продолжительности реакций и гидромодуля на массовую долю аминного азота и растворимого белка в среде как эффективных показателей контроля хода реакции в среде. У нового белкового концентрата, полученного из сухой пшеничной клейковины, синтезированного при последовательном внесении обоих видов ферментов, по сравнению с контрольным образцом, на 44% повысилась водосвязывающая способность и почти в 2 раза жиросвязывающая способность. У горохового и подсолнечного концентратов, приготовленных с раздельным внесением ферментов, на 24–56% стала выше водосвязывающая способность, в 2,3–2,4 раза — пенообразующая способность и в 1,6–5,7 раза более высокая стабильность пены. У подсолнечного концентрата увеличилась жиросвязывающая и жироземлюлирующая способность, по сравнению с исходным концентратом. Результаты влияния тирозиназы и микробной транскляминазы на функциональные свойства белковых концентратов, несмотря на различный принцип их действия, были, практически, одинаковые. Следовательно, для модификации свойств, взамен транскляминазы, с учетом выявленных параметров ее действия на гороховые, подсолнечные белки и пшеничную клейковину, для производства пищевых изделий целесообразно использовать и фермент тирозиназу.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Исследования выполнены в рамках задания FGGM-2022-00006 ВНИИК — филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха» «Разработать научно-практические основы технологии производства новых углеводных и белковых компонентов их крахмалосодержащего сырья на основе системного анализа их состава и свойств для глубокой переработки картофеля, зернового и зернобобового сырья».

Received 23.09.2025

Accepted in revised 27.02.2026

Accepted for publication 03.03.2026

© Kolpakova V. V., Gaivoronskaya I. S., Gulakova V. A., Semenov G. V., Tsurikova N. V., Sinitsyn A. P., 2026

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

## ENZYMATIC SYNTHESIS OF PLANT PROTEIN CONCENTRATES AND THEIR FUNCTIONAL PROPERTIES

Valentina V. Kolpakova<sup>1\*</sup>, Irina S. Gaivoronskaya<sup>1</sup>, Valentina A. Gulakova<sup>1</sup>, Gennady V. Semenov<sup>2</sup>, Nina V. Tsurikova<sup>3</sup>, Arkady P. Sinitsyn<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing — Branch of Russian Potato Research Centre, Kraskovo, Moscow region, Russia

<sup>2</sup>Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

<sup>3</sup>Russian Research Institute of Food Biotechnology — branch of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Federal Research Center “Fundamentals of Biotechnology” of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>5</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

### KEYWORDS:

wheat gluten,  
pea concentrate,  
sunflower concentrate,  
biosynthesis,  
parameters,  
optimization,  
properties, modification

### ABSTRACT

The functional properties of plant protein concentrates often do not meet the requirements imposed on them by food industry specialists when developing formulations of protein-containing foods (meat, confectionery, etc.). In this study, optimal/rational parameters of biosynthesis of new pea, sunflower and wheat concentrates, with tyrosinase and microbial transglutaminase enzymes, belonging, respectively, to the class of oxidoreductases and transferases, have been developed in order to modify the functional properties of commercial protein preparations. At the same time, patterns of the effect of enzyme concentration, reaction duration, and the hydromodule on the mass fraction of amino nitrogen and soluble protein in the medium as effective indicators for monitoring the course of the reaction in the medium have been established. Compared to the control sample,

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Колпакова, В.В., Гайворонская, И.С., Гулакова, В.А., Семенов, Г.В., Цурикова, Н.В., Сеницын, А.П. (2026). Ферментативный синтез растительных белковых концентратов и их функциональные свойства. *Пищевые системы*, 9(1), 44–53. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-1-44-53>

FOR CITATION: Kolpakova, V. V., Gaivoronskaya, I.S., Gulakova, V.A., Semenov, G.V., Tsurikova, N.V., Sinitsyn, A.P. (2026). Enzymatic synthesis of plant protein concentrates and their functional properties. *Food Systems*, 9(1), 44–53. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-1-44-53>

the new protein concentrate obtained from dry wheat gluten, synthesized with the sequential addition of both types of enzymes has a 44% higher water-binding capacity and almost 2 times higher fat-binding capacity. The pea and sunflower concentrates prepared with separate addition of enzymes have a 24–56% higher water-binding capacity, 2.3–2.4 times higher foaming capacity and 1.6–5.7 times higher foam stability. The sunflower concentrate has increased fat-binding and fat-emulsifying capacity compared to the original concentrate. The results of the effect of tyrosinase and microbial transglutaminase on the functional properties of protein concentrates, despite their different principle of action, were practically the same. Therefore, to modify the properties, it is advisable to use also the enzyme tyrosinase instead of transglutaminase for the production of food products, taking into account the identified parameters of transglutaminase action on pea, sunflower proteins and wheat gluten.

**FUNDING:** The investigations were carried out within the framework of the assignment FGGM-2022-00006 VNIIC — Branch of Russian Potato Research Centre “To develop scientific and practical foundations of the technology of production of new carbohydrate and protein components of their starch-containing raw materials based on the systematic analysis of their composition and properties for deep processing of potato, grain and leguminous raw materials”.

## 1. Введение

Одной из проблем населения земного шара является проблема обеспечения продовольствием, так как организму человека всегда необходимы питательные вещества [1]. Последние десятилетия характеризуются интенсификацией процессов приготовления пищи с одновременным приданием ей свойств, отражающих требования науки о питании [2]. Причинами такого положения являются рост населения, непостоянство запасов природных ресурсов и их использования, необходимость выпуска качественно новых и безопасных пищевых продуктов в связи с изменением образа жизни, ухудшением экологической обстановки и накоплением фундаментальных знаний в области естественных и технических наук. В качестве приоритетных процессов современные решения включают технологии получения пищевого белка и продуктов на его основе [3,4]. Технологии основываются на фундаментальных знаниях в области биологической, биоорганической, физической химии, и на знаниях в области технических дисциплин (биотехнология, технологии переработки зерна, мяса, молока и т.д.). Взаимосвязь познаний должна использоваться для того, чтобы обеспечить высокие функциональные свойства и через них достичь высокую биологическую ценность пищевых продуктов функциональной, диетической, персонализированной или специальной направленности.

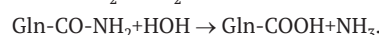
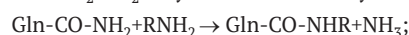
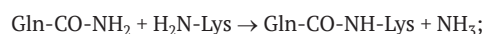
Белки в организме человека расходуются на синтез азотосодержащих соединений, рост и поддержку физиологических функций, а в пищевых продуктах они выполняют питательную и структурную функцию [5]. Первая функция осуществляется в обеспечении организма незаменимыми аминокислотами, как частично и энергией, вторая — в придании надлежащих потребительских качеств пищевым изделиям (внешний вид, текстура, объем, т.д.). Обе функции взаимосвязаны, питательная реализуется через структурную за счет функциональных свойств белков, которые и обеспечивают задаваемые технологические и потребительские свойства изделий [6].

В связи с возрастающей стоимостью животного сырья пищевая промышленность постоянно испытывает потребность в более дешёвых, но эффективных источниках белков [7]. Она находит их в ассортименте продуктов из сои [8], пшеницы [9–11], гороха, нута [12–15], чечевицы [16], фасоли [17], риса [18] и многих других культур [19,20]. При этом основными задачами промышленности является обеспечение выхода белков, их полифункциональности, безопасности, хороших органолептических свойств и длительности хранения [21]. Сегодня наиболее широко используемыми растительными ингредиентами в пищевых продуктах являются соевые белки и пшеничная клейковина [22,23]. Производство белковых продуктов из других видов растительного сырья продолжает развиваться. Из-за своей безопасности и традиций применения растительные продукты более привлекательные, чем те, которые начинают получать сегодня из насекомых (жуки, гусеницы, муравьи кузнечики и т.д.) или в виде «мяса», выращенного в лабораторных условиях из нового или нетрадиционного сырья [24].

Известны многие способы модификаций функциональных свойств соевых [25–27], клейковинных [28–30] и других видов белковых препаратов, и это, прежде всего, ферментативные способы с гидролитическими энзимами. При этом достигнуты значительные успехи, включая выявление у гидролизатов антиоксидантных или антиаллергических проявлений [31,32]. Однако способы, как правило, имеют ограничения относительно улучшения свойств, кроме растворимости и пенообразующей способности [18,28,30].

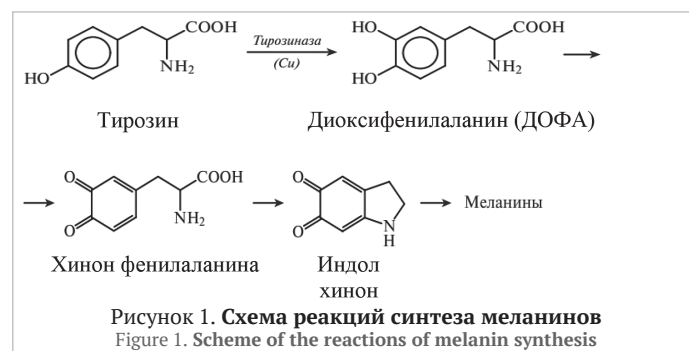
С целью расширения возможностей улучшения функциональных свойств нами изучены процессы синтеза новых белковых концентратов с ферментами о-дифенолоксидазой (тирозиной) (ЕС1.14.18.1) (ТИР) и микробной транслглютаминазой (мТГ) (ЕС2.3.2.13). Последняя

широко используется за рубежом (США, страны ЕС, Канада, Китай, Корея и т.д.) [33,34] и производится путём ферментации *Streptomyces*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Providencia* [34]. На долю фермента приходится большая часть производимых в мире ферментных препаратов, это несмотря на то, что вопросы безопасности энзима продолжают обсуждаться [34,35]. Применяется фермент для обеспечения взаимодополнения состава и свойств белков либо из одного и того же сырья: мясного [36–39], молочного [40–43], рыбного [44], морепродуктов [45], зернового [46–48], псевдозлакового [49], либо из различного комбинированного, и, как правило, больше животного сырья (мясное, молочное, рыбное) [50,51]. При этом мТГ катализирует образование изопептидной связи между группой  $\gamma$ -карбоксамидов остатков глутамина (донор) и  $\epsilon$ -аминными группами первого порядка, выступающих в качестве акцепторов ацильного остатка [34]. В отсутствие свободных аминогрупп фермент катализирует и реакцию дезамидирования амидов с использованием молекул воды в качестве акцептора групп  $-NH_2$ . Схематично реакции выглядят следующим образом:



Агрегированные белковые структуры — стабильные в широком диапазоне pH и температуры, механически устойчивые с повышенной эластичностью, твердостью, вязкостью, влагоудерживающей и эмульгирующей способностью [52,53]. Принцип «сшивания» белков в работах использовался непосредственно в технологический цикл производства пищевых изделий.

Аминокислота тирозин, являясь монофенолом, вступает в реакцию окисления под действием мет-, орто-гидрокситирокиназы [54] с образованием хинонов, которые можно обнаружить только сканирующей спектрофотометрией [55]. В результате неферментативных реакций хиноны могут быстро конденсироваться с образованием комплексных соединений — меланинов [2,56] (Рисунок 1), затем превращаются по реакции Михаэля-1,6- присоединения с тиолами и циклизацией с аминогруппами в боковой цепи белков или регенерироваться за счет окислительно-восстановительной реакции в исходную аминокислоту/фенол. Тирокиназа активирует полимеризацию пептидов, содержащих не только тирозин, но и цистеин [57]. Полученные полимеры адсорбируются на разных поверхностях [57] и также, как хиноны, изменяют структуру клеточных компонентов, и, прежде всего, белков [55]. Образование цистеин-допы в качестве биогенной связи в белках используется, например, при разработке способа получения имитаторов мидийной адгезии [58].



В фруктах и овощах часто ингибируют тирокиназу, так как хиноны, образующиеся в результате окисления фенольных соединений,

придают им затемненный цвет и снижают доступность некоторых незаменимых аминокислот. Поэтому ведется поиск различных ингибиторов фермента [59], как и его стабилизаторов [60].

Целью данной работы явилась разработка параметров биосинтеза новых белковых концентратов (БК) с ферментами мТГ и ТИР и сравнительная оценка функциональных свойств полученных препаратов.

## 2. Объекты и методы

В качестве объектов использовали сухую пшеничную клейковину (СПК) (ООО «Cargill», Россия), подсолнечный концентрат (ПК) (ООО «Степь Инвест», Россия), гороховый концентрат (ГК) («Roquette», Франция) и ферментные препараты (ФП): микробную трансклютаминазу (мТГ) (КФ 2.3.2.13) («Novozymes», Дания) с активностью 200 ед./г и тирозиназу (ТИР) с активностью 54 ед./г (ООО Агрофермент, Россия). Исходные БК по показателям качества соответствовали Кодексу STAN 174–1989<sup>1</sup>, ГОСТ 31934–2012<sup>2</sup> и ТР ТС 021/2011<sup>3</sup> и ТР ТС 022/2011<sup>4</sup>. Функционально-технологические свойства (ФТС) БК (водосвязывающая способность — ВСС; жиросвязывающая способность — ЖСС; пенообразующая способность — ПОС; стабильность пены — СП; жироземмулирующая способность — ЖЭС; стабильность эмульсии — СЭ; растворимость — Р) определяли по методикам, изложенным в работе [28]. Массовую долю белка — по методу Кьельдаля (ГОСТ 10846–91<sup>5</sup>), влаги — ГОСТ 13586.5–2015<sup>6</sup>, зольности — ГОСТ 10847–2019<sup>7</sup>, жира — ГОСТ 29033–91<sup>8</sup>, клетчатки — ГОСТ 31675–2012<sup>9</sup>, растворимого белка — по методу Лоури, аминного азота — методом формольного титрования с измерением реакции среды на рН-метре HI 2210 (HANNA, Германия). Реакцию биосинтеза БК осуществляли при различных значениях гидро модуля, концентрации ФП и температуры. Биосинтез БК с ферментами проводился по трем вариантам: один вариант включал раздельное применение ФП при оптимальных или рациональных параметрах синтеза, другой — совместное использование ФП в одну стадию (одностадийный способ) и третий — также совместное, но в две стадии: на первой стадии добавлялась ТИР, на второй стадии — мТГ (двухстадийный способ). При каждом внесении использовались оптимальные/рациональные параметры реакции биосинтеза белков при раздельном использовании.

<sup>1</sup> CODEX STAN 174–1989. Codex general standard for vegetable protein products (VPP). FAO, 1989.

<sup>2</sup> ГОСТ 31934–2012. «Глютен пшеничный. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2013. — 20 с.

<sup>3</sup> Технический регламент Таможенного ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». (Утвержден решением Совета Евразийской экономической комиссии 9 декабря 2011 г, № 880. Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/902320560>. Дата обращения 24.02.2025.

<sup>4</sup> Технический регламент Таможенного ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки». (Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 881 с Изменениями решением Совета ЕЭК на 14 сентября 2018 года № 75). Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/902320347> 24.02.2015.

<sup>5</sup> ГОСТ 10846–91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка». М.: Стандартинформ, 2009. — 8 с

<sup>6</sup> ГОСТ 13586.5–2015 «Зерно. Метод определения влажности». М.: Стандартинформ, 2019. — 24 с.

<sup>7</sup> ГОСТ 10847–2019 «Зерно. Методы определения зольности». М.: Стандартинформ, 2019. — 25 с.

<sup>8</sup> ГОСТ 29033–91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира». М.: Издательство стандартов, 2004. — 6 с.

<sup>9</sup> ГОСТ 31675–2012 «Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации». М.: Стандартинформ, 2014. — 10 с.

Константу Михаэлиса ( $K_m$ ) для ферментов мТГ и ТИР определяли по результатам графической зависимости скорости ферментативной реакции от концентрации субстрата и выражали как концентрацию, при которой белки вступают в реакцию в количестве 50% от максимального содержания. Белковые препараты высушивали сублимационным способом на стенде СВП-036 (НПО «Вакууммаш», Россия) до влажности 2–8% [61]. Все реактивы были химически чистые.

Для планирования эксперимента и обработки экспериментальных данных использовали математические методы. Оптимизацию параметров синтеза БК с ферментами осуществляли по планам эксперимента, составленным в виде латинских квадратов (матрица) для 25 опытов. Функцией являлось количество аминного азота в среде, факторами — продолжительность синтеза, гидро модуль, концентрация ферментов. Статистическая обработка результатов осуществлялась методами дисперсного и корреляционного анализов с программами Statistica 6.0, Mathematica 12.2 и TableCurve 3D. Результаты представлялись как средние арифметические со средними квадратичными ошибками среднего арифметического ( $M \pm m$ ); доверительный интервал рассчитывался при уровне значимости  $p = 0,05$ .

## 3. Результаты и обсуждение

### 3.1. Химический состав и функциональные свойства белковых концентратов

Исходные БК по показателям качества соответствовали нормативным документам, имели массовую долю белка, равную 74,48–84,00%, следовательно, относились к группе «Концентраты» (Таблица 1).

Анализ ФТС концентратов показал, что ВСС БК изменялась в диапазоне 2,22±7,48 г/г, ПОС — 97±211%, СП — 7±59%, ЖСС — 1,89±2,55 г/г, ЖЭС — 43±53%, СЭ — 49±62%, растворимость — 2,20±12.84% (Таблица 2).

Наибольшей ВСС обладал ГК, наименьшей — СПК. Наибольшие значения ПОС получены для СПК, наименьшие — для ПК. СПК имела и низкие значения ЖЭС и особенно растворимости, что, в принципе, и ограничивает ее применение в пищевых системах, кроме хлебопечения, например, в мясоперерабатывающей и кондитерской промышленности. Для двух других БК результаты указывали на необходимость модификации способности образовывать пену и ее стабильности, чтобы обеспечить эффективное использования свойств в производстве продуктов питания. Необходимо учитывать и то, что свойства и гороховых белков, и, особенно, подсолнечных, мало изучены и требуют более глубоких исследований.

Для ТИР на примере горохового БК первоначально исследовано ее совместное действие с аскорбиновой кислотой, которая могла бы исключить или уменьшить потемнение белков от образующихся меланинов. При действии ТИР в дозировках 1,6–5,7 ед/г и аскорбиновой кислоты при концентрации 0,05–0,1% количество свободного аминного азота составляло 294,7–297,7 мг/г, что равнялось его количеству в контрольном образце без ТИР (294,7±0,8 мг/г). С учетом этих данных и отсутствием потемнения БК с ТИР, использование ее в дальнейших опытах исключили.

### 3.2. Биосинтез клейковинного концентрата с мТГ

СПК является промышленно выпускаемым БК, недостатком которого, как указано выше, являются относительно низкие функциональные свойства. Это делает особо значимым модификацию СПК безопасными ферментативными способами. При проведении оптимизации параметров синтеза исследуемых белков функцией в процессе выступало количество аминного азота, при этом чем меньше оставалось его в реакции после воздействия ферментов, тем эффективнее протекала реакция. Зависимость содержания аминного азота

Таблица 1. Химический состав исходных белковых концентратов

Table 1. Chemical composition of initial protein concentrates

Белковый концентрат	Влага, %	Массовая доля, % на сухое вещество (СВ)			
		Белок, %	Жир, %	Клетчатка, %	Углеводы, %
Пшеничная клейковина (СПК)	7,55±0,87	74,48±0,23 (N×5,7)	1,80±0,05	1,95±0,04	21,77±0,88
Гороховый (ГК)	7,16±1,03	84,00±0,07 (N×6,25)	5,00±0,65	1,00±0,05	10,00±1,24
Подсолнечный (ПК)	2,79±0,86	81,2±0,11 (N×6,25)	0,71±0,35	1,73±0,02	16,35±1,03

Таблица 2. Функциональные свойства белковых концентратов

Table 2. Functional properties of protein concentrates

Концентрат	ВСС, г/г	ПОС, %	СП, %	ЖСС, г/г	ЖЭС, %	СЭ, %	Р, %
СПК	2,22±0,03	211±1	59±2	1,97±0	43±2	49±1	2,20±1,25
ГК	7,48±0,51	109±2	65±5	2,55±0,05	50±1	62±6	12,84±1,20
ПК	3,72±0,56	97±2	7±1	1,89±0,12	53±1	60±1	10,86±1,03

от искоемых факторов (концентрация фермента, продолжительность, гидромодуль) для СПК искали в виде уравнения с помощью программы Математика 12.2:

$$mA = a_0 \times fce \times ft \times fh, \quad (1)$$

где:  $ce$  — концентрация фермента, ед./г;  $t$  — продолжительность, часы;  $h$  — гидромодуль.

Для нахождения неизвестного коэффициента использовали программу Mathematica 12.2. Через листинг решения уравнения определили коэффициент  $a_0$ , три других коэффициента для исследуемых факторов и оптимальные значения последних для измерения количества аминного азота в ходе реакции. Уравнение зависимости количества аминного азота  $Y$  от исследуемых факторов (2) имело следующий вид:

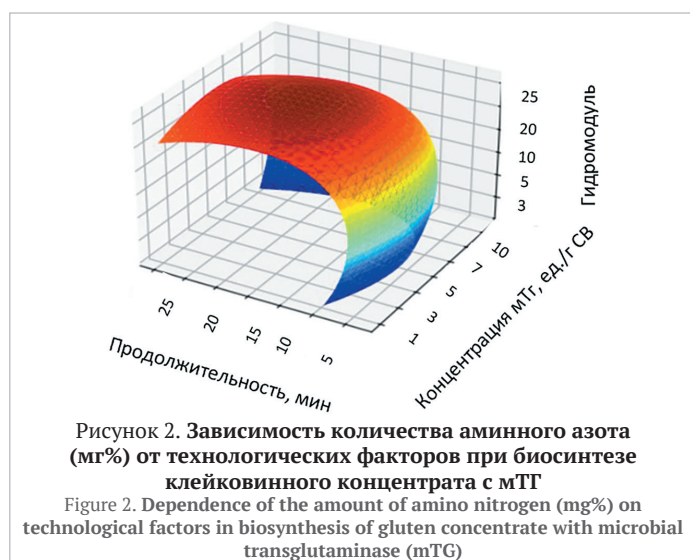
$$Y = 19,478 + 0,5268X_1 - 0,0252X_2 - 0,04203X_3, \quad (2)$$

где:  $Y$  — количество аминного азота, мг/%;  $X_1$  — концентрация мТГ (ед./г);  $X_2$  — продолжительность процесса (минуты);  $X_3$  — гидромодуль.

Увеличение  $X_1$  на 1 ед. измерения в среднем повышало  $Y$  на 0,527 ед., а увеличение  $X_2$  и  $X_3$  на 1 ед. уменьшало  $Y$  на 0,0252 и 0,042 ед., соответственно. Из максимального коэффициента  $\beta_1 = 0,5268$  видно, что наибольшее влияние на  $Y$  оказывал фактор  $X_1$ . Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Значения парных коэффициентов уравнения показали низкую взаимосвязь между  $X_3$  и  $X_2$ . Наибольшее влияние на результат оказывал фактор  $X_1$  ( $r = 0,2352$ ), поэтому в уравнение он был включен первым. Поверхности отклика количества аминного азота, построенные в виде 3D с помощью программы TableCurve 3D (Рисунок 2), отразили зависимость функции от исследуемых факторов. Из решения уравнения оптимальные их значения, обеспечивающие минимальное количество аминного азота ( $Y = 97,37$  мг/%) в среде, были следующие: концентрация мТГ-8 ед./г, продолжительность процесса-15,4 минут, гидромодуль — 1:8,05.

### 3.3. Биосинтез клейковинных концентратов с ТИР

Параметры биосинтеза СПК с ТИР определяли по результатам влияния исследуемых факторов на количество аминного азота и растворимого белка. Показано, что при гидромодуле 1:5 и температуре

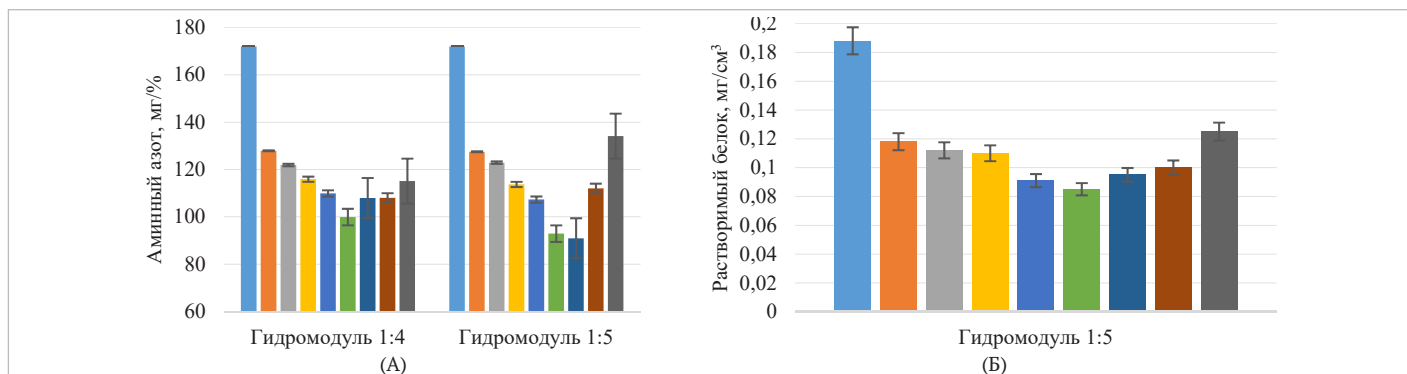


53±2 °С наименьшее количество свободного аминного азота (54–57%) после реакции с ТИР оставалось при концентрации фермента 5,40 и 10,80 ед./г СВ (Таблица 3). При данных значениях концентрации ТИР в БК содержалось и меньшее количество растворимого белка, что указывало на большую степень агрегации и «сшивки» белков под влиянием энзима.

Исследование зависимости количества аминного азота от величины гидромодуля (1:4÷1:5) при различной концентрации ТИР показало, что при гидромодуле 1:5 после реакции его оставалось на 19–25% меньше, чем при 1:4 (Рисунок 3А). При гидромодуле 1:5 и концентрации ТИР 5,4 ед./г СВ больше всего уменьшилось и количество растворимого белка (Рисунок 3Б). В итоге, за рациональные параметры синтеза БК с ТИР приняты следующие параметры: концентрация ФП — 5,4–10,8 ед./г СВ, гидромодуль — 1:5, продолжительность реакции — 15–20 мин. Параметры биосинтеза БК из СПК

Таблица 3. Влияние концентрации ТИР на количество аминного азота в СПК  
Table 3. Effect of tyrosinase (TYR) concentration on the amount of amino nitrogen in dry wheat gluten

Контроль СПК (без фермента)	Концентрация ТИР, ед./г СВ							
	0,160	0,216	0,270	0,378	0,540	0,810	5,40	10,8
172,0±2	124,3±0,9	119,9 ±4,3	104,9±1,5	109,4±8,1	104,9±5,1	102,9±8,0	93,1±2,3	98,8±2,1
Аминный азот, мг/% (55±2 °С)								
100	72	70	61	63	66	68	54	57
Растворимый белок, мг/см <sup>3</sup>								
0,175	0,092	0,095	0,102	0,125	0,120	0,120	0,067	0,072
Растворимый белок, по сравнению с контролем, %								
100	52	54	60	70	68	68	38	41
Аминный азот, мг/% (24±1 °С)								
99,9±1,2	99,9±0,6	101,9±2,1	99,9±0,7	97,9±1,0	109,9±0,7	100,1±1,0	125,9±0,3	147,8±0,2
Аминный азот, по сравнению с контролем, %								
100	100	100	100	88	10	1	26	85



сведены в Таблицу 4. В Таблице 4 приведены и параметры биосинтеза БК из СПК при совместном использовании ферментов мТГ и ТИР. Видно, что наименьшее количество аминного азота в среде оставалось при одностадийном способе использования ферментов (58%), по сравнению с одной ТИР или двухстадийном введении обоих ферментов, количество азота при этом уменьшалось на 67–68%.

Таблица 4. Параметры синтеза клейковинного концентрата  
Table 4. Parameters of gluten concentrate synthesis

Концентраты	Концентрация ФП, ед./г СВ	Продолжительность, мин	Гидро-модуль	Аминный азот, мг%
Контроль (СПК)	0	15	1:5,0	143,7±1,20
С ферментами:				
ТИР	5,4	15–20	1:5÷1:5	98,5±5,6
мТГ	8,0	15,4	1:8,05	121,5±0,41
Двухстадийный способ				
ТИР+мТГ	5,4+8,0	15+15	1:5+1:8	95,9±0,60
Одностадийный способ				
ТИР+мТГ	5,4+8,0	15–20	1:7,0	83,9±0,04

3.4. Функциональные свойства клейковинных БК, полученных с мТГ и ТИР

Концентраты, синтезированные с мТГ и ТИР, имели преимущества, по сравнению с контрольной СПК, только по значению ЖСС. Способность связывать жир увеличивалась на 29–43% (Таблица 5).

Таблица 5. Функциональные свойства клейковинных концентратов  
Table 5. Functional properties of gluten concentrates

Образец	ВСС, г/г	ПОС, %	СП, %	ЖСС, г/г	ЖЭС, %	СЭ, %	Р, %
Контроль СПК	2,33± 0,03	197±1	75±2	2,18±0,01	50±0	45±1	33,7±1,1
Композит с ферментами:							
ТИР	2,16± 0,03	199±2	66±2	2,54±0,01	45±1	40±1	5,40±1,2
мТГ	2,17± 0,03	200±0	63±1	2,83±0,01	48±0	45±1	4,31±0,8
Двухстадийный способ							
ТИР+мТГ	3,46± 0,23	204±2	70±2	4,27±0,10	50±0	60±0	28,4±1,1
Одностадийный способ							
ТИР+мТГ	2,36± 0,13	197±0	77±0	2,13±0,01	55±0	60±0	25,7±0,8

Более положительное влияние на свойства БК из СПК оказывал двухстадийный способ использования ферментов, при котором, по сравнению с контрольной СПК, у концентрата на 48% повышалась ВСС и почти в 2 раза — ЖСС, но незначительно уменьшилась растворимость. При совместном одностадийном использовании ТИР и мТГ эффективность действия ферментов была ниже. Следовательно, синтез клейковинного БК, и, прежде всего, для увеличения ВСС можно рекомендовать при двухстадийном способе применения энзимов.

3.5. Биосинтез гороховых концентратов с ТИР

Изучение влияния параметров синтеза горохового БК с ТИР на количество аминного азота показало, что при выбранных дозировках фермента 0,72 ед./г и 0,90 ед./г СВ наиболее эффективным, с точки зрения наименьшего его значения, гидромодуль равнялся 1:1,50÷1:1,67 (Рисунок 4). При обеих дозировках ФП и гидромодуле 1:1,67 время реакции составило 30–35 минут (Рисунок 5), а количество аминного азота в среде уменьшилось на 60–70%, по сравнению с контрольной СПК.

Исследование влияния различной концентрации ТИР при гидромодуле 1:1,67 и продолжительности реакции 30–35 мин на количество аминного азота показало, что непрореагировавшего азота меньше всего оставалось при дозировках 0,90–1,26 ед./г СВ (Рисунок 6А), а растворимого белка — при дозировках 0,54 ед./г и 0,81 ед./г (Рисунок 6Б).

Отсюда в качестве рациональных параметров для синтеза горохового БК отобраны: время реакции — 30–35 минут; гидромодуль 1:1,50÷1,67; концентрация ТИР — 0,81÷0,90 ед./г СВ.

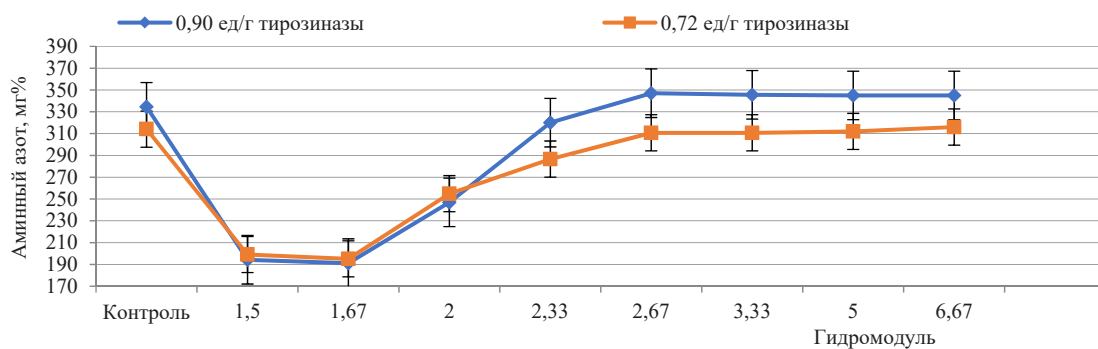


Рисунок 4. Влияние гидромодуля на количество аминного азота в ГК, мг/%  
Figure 4. Effect of the hydromodule on the amount of amino nitrogen in the pea concentrate (PC), mg/%

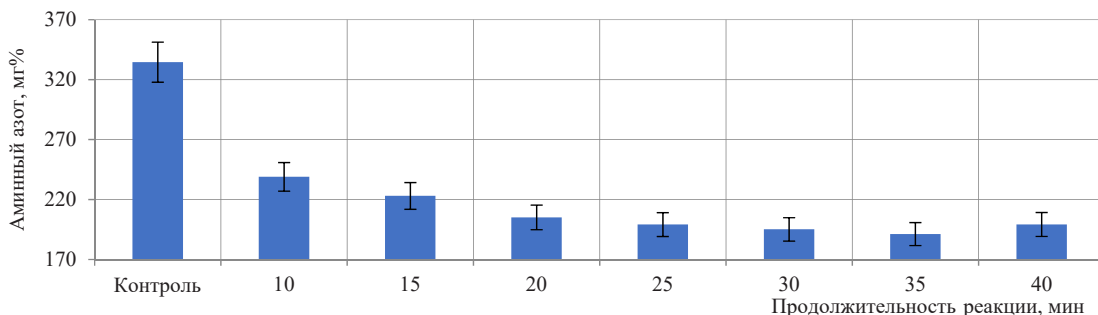


Рисунок 5. Влияние продолжительности синтеза БК на количество аминного азота в ГК  
Figure 5. Effect of duration of protein concentrate synthesis on the amount of amino nitrogen in PC

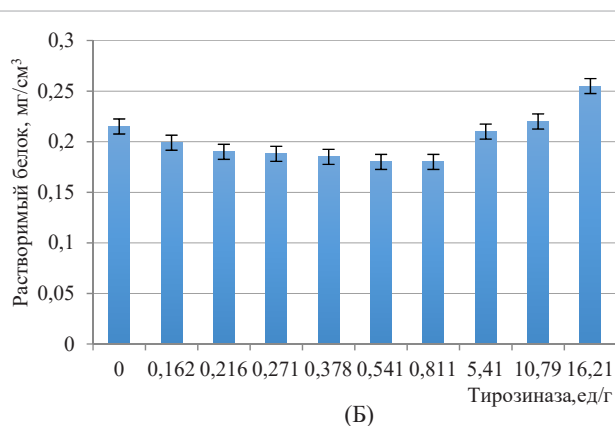
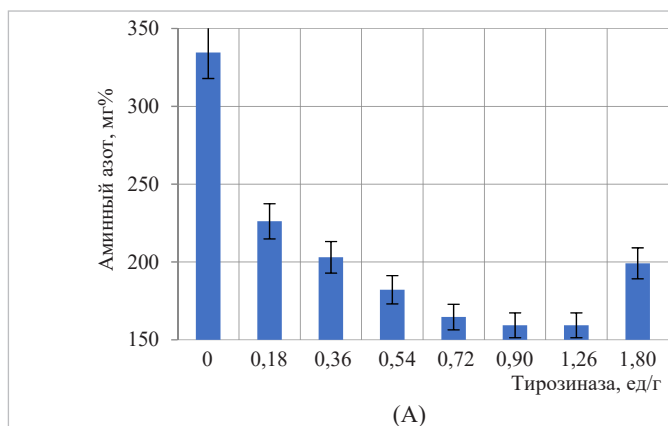


Рисунок 6. Влияние концентрации ТИР на количество аминокислотного азота (А) и растворимого белка (Б) в гороховом концентрате  
Figure 6. Effect of the TYR concentration on the amount of amino nitrogen (A) and soluble protein (B) in pea concentrate

3.6. Биосинтез горохового концентрата с мТГ (далее выделите разделы по аналогии)

Параметры синтеза горохового БК с мТГ определяли, ориентируясь на константу Михаэлиса, измеренную для фермента ТИР. Используя результаты зависимости белка, перешедшего в раствор, от навески БК (Рисунок 7), рассчитали ее значение и установили, что оно, практически, одинаковое для обоих ферментов и равнялось 33,6036,4 мг белка/мин. При том же гидромодуле 1:1,67 и концентрации мТГ 0,81–0,90 ед./г СВ продолжительность реакции равнялась 30–35 минут (Рисунок 8).

Количество аминокислотного азота в БК в процессе синтеза, по сравнению с контрольным вариантом, уменьшалось на 66%. Совместное же использование ферментов не приводило к достоверному снижению количества аминокислотного азота, по сравнению с отдельным их использованием (Таблица 6).

3.7. Функциональные свойства гороховых концентратов с мТГ и ТИР

По сравнению с контрольным образцом, у концентратов с мТГ и ТИР на 24–34% повысилась ВСС, в 2,3–2,4 раза — ПОС, в 1,6–1,8 раза — СП, незначительно понизились растворимость и ЖЭС (Таблица 7). Однако значения этих двух параметров оставались на уровне, аналогичном свойствам БК и композитов, полученных из других видов зернового сырья: пшеницы [11,30,62], риса [18], ржи, ячменя [63] тритикале [64]. Таким образом, оба фермента целесообразно использовать для улучшения водосвязывающей способности и пенообразующих свойств горохового БК для использования в производстве мясных, хлебобулочных, кондитерских изделий, включая те, в основе которых лежат пенные системы (зефир, пастила и др.) и содержатся жиры.

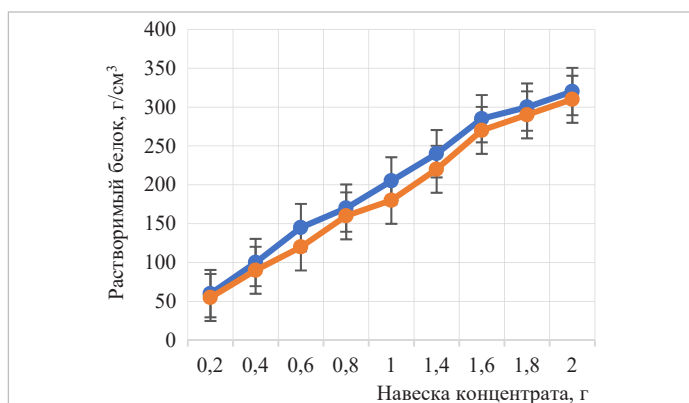


Рисунок 7. Зависимость растворимого белка от навески ПК с ферментами: — ТИР — мТГ  
Figure 7. Dependence of soluble protein on the weighted portion of PC with enzymes: — TYR — mTG

Таблица 6. Количество аминокислотного азота при различных параметрах синтеза горохового БК

Table 6. Amount of amino nitrogen upon different parameters of synthesis of pea protein concentrate

Концентраты	Концентрация ФП, ед./г СВ	Продолжительность, мин	Гидро-модуль	Аминокислотный азот, мг%
Контроль	0	30–35	1:1,67	147,4±1,20
Концентраты с ферментами				
ТИР	0,90	30–35	1:1,67	92,1±0,60
ТИР	5,40	30–35	1:1,67	140,4±0,20
мТГ	0,90	30–35	1:1,67	88,4±0,41
мТГ	0,90	30–35	1:7,00	140,0±0,65
мТГ	5,40	30–35	1:7,00	136,7±0,25
ТИР+мТГ (две стадии)	0,90+0,90	30+30	1:1,67	150,3±1,60
ТИР+мТГ (одна стадия)	0,90+0,90	30–35	1:1,67	89,8±0,04

3.8. Биосинтез подсолнечных белковых концентратов с ТИР и мТГ

Уравнения зависимости количества аминокислотного азота Y от исследуемых факторов для подсолнечных БК, полученных при оптимизации отдельного использования ТИР (3) и мТГ (4), имели, соответственно, следующий вид:

$$Y = 0,5908 + 50,4X_1 + 0,0336X_2 + 0,01736X_3, \quad (3)$$

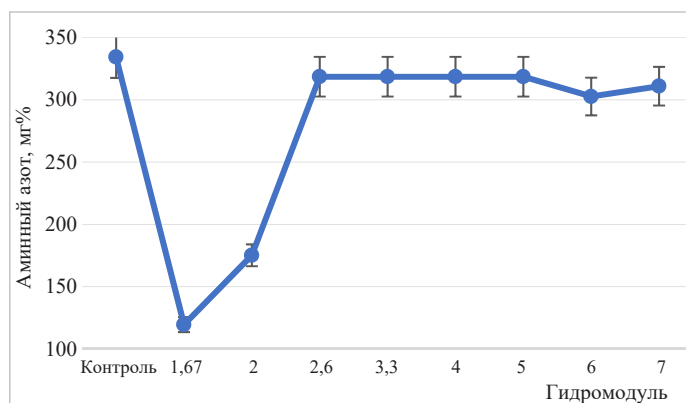


Рисунок 8. Влияние гидромодуля на содержание аминокислотного азота с мТГ  
Figure 8. Effect of the hydromodule on the content of amino nitrogen with mTG

Таблица 7. Функциональные свойства гороховых концентратов

Table 7. Functional properties of pea concentrates

Концентраты	ВСС, г/г	ПОС, %	СП, %	ЖСС, г/г	ЖЭС, %	СЭ, %	Р, %
Контроль (ГК)	3,16±0,19	47±0	18±1	1,87±0,06	74±1	97±1	22,2±0,3
Концентраты с ферментами							
ТИР	4,19±0,11	114±1	33±1	1,98±0,07	52±1	50±1	15,0±0,3
мТГ	4,24±0,10	110±1	29±1	1,80±0,05	53±1	47±1	16,1±0,2

$$Y = 1,834 + (b_1) 168 X_1 - (b_2) 0,0028 X_2 - (b_3) 0,14 X_3, \quad (4)$$

где: Y – количество аминного азота; X<sub>1</sub> – концентрация ФП; X<sub>2</sub> – продолжительность процесса; X<sub>3</sub> – гидромодуль.

Поверхности отклика количества аминного азота от исследуемых параметров, построенные с программой TableCurve 3D (Рисунок 9), указывали на их взаимосвязь. Коэффициенты корреляции уравнений R(1)=0,5908 и R(2)=0,7875 свидетельствовали об адекватном описании экспериментальных данных, а значения парных коэффициентов X<sub>2</sub> и X<sub>3</sub>, как и для клейковинного белка – о низкой взаимосвязи между продолжительностью синтеза и гидромодулем. Оптимальные значения параметров, соответствующие наименьшему количеству аминного азота в среде, были следующие: для ТИР при Y=1,28 мг/% – концентрация фермента 0,189 ед./г СВ, продолжительность реакции 15,74 мин, гидромодуль 1:5,06, для мТГ при Y=52,94 мг/% – концентрация 0,30 ед./г, продолжительность 14,14 мин, гидромодуль 1:4,8. В подсолнечном БК, полученном при оптимальных параметрах с ТИР, по сравнению с исходным ПК, количество азота уменьшалось почти в 80 раз, а в концентрате с мТГ – в 2 раза.

При двух- и одностадийном способах совместного использования ТИР и мТГ наименьшее количество аминного азота в конце реакции выявлено при концентрации ТИР 0,216–0,270 ед./г СВ (варианты 5, 6), концентрации мТГ – 0,3–0,8 ед./г СВ (варианты 4,5) и гидромодуле 1:5 (Таблица 8). Количество азота при двухстадийном введении фермента, по сравнению с контрольным БК, при данных параметрах уменьшилось почти в 60 раз, при одностадийном – в 48 раз. Итоговые параметры синтеза подсолнечных БК представлены в Таблице 9.

3.9. Функциональные свойства подсолнечных концентратов с мТГ и ТИР

Анализ функциональных свойств БК, полученных по оптимальным параметрам с ТИР и мТГ, показал, что ВСС образцов повысилась на 47–56 %, по сравнению с контрольным образцом, стабильность пены – в 5,7 раза, ЖЭС – на 11 %, ЖСС – на 25 % (Таблица 10). Значения ВСС и ЖСС несколько лучше были у БК, полученном с ТИР.

Свойства БК, синтезированных при совместном использовании ферментов, не улучшились, по сравнению с отдельным их применением, следовательно, биосинтез БК целесообразен с каждым ферментом в отдельности.

Таблица 8. Аминный азот в подсолнечном БК при различных способах внесения ферментов

Table 8. Amino nitrogen in sunflower protein concentrate upon different ways of enzyme addition

№ п/п	Концентрация, ед./г СВ		Продолжительность, мин		Аминный азот, мг %	Продолжительность, мин	Аминный азот, мг %
	ТИР	мТГ	Двухстадийный способ				
			ТИР	мТГ	ТИР + мТГ		
1	Контроль, без ферментов		0	0	40,95±1,30	0	40,95±1,30
2	0,054	0,20	5	5	5,25±0,31	5	2,10±0,31
3	0,108	0,40	10	10	1,82±0,02	10	1,26±0,22
4	0,189	0,30	15,74	14,14	0,84±0,04	15	1,12±0,00
5	0,216	0,80	25	25	0,70±0,02	25	0,98±0,00
6	0,270	1,00	30	30	0,70±0,07	30	1,26±0,31
7	0,350	0,30	14	15	37,80±1,05	15	34,65±0,40

Таблица 9. Параметры синтеза подсолнечного БК при различных способах введения мТГ и ТИР

Table 9. Synthesis parameters of sunflower protein concentrate upon different ways of mTG and TYR addition

Белковые препараты	Концентрация ФП, ед./г СВ	Продолжительность, мин	Гидромодуль	Аминный азот, мг %
ПК (без ферментов)	0	15	1:5,0	106,1±1,20
Концентраты с ферментами				
ТИР	0,216	15,74	1:5,00	1,30±0,25
мТГ	0,300	14,14	1:4,80	54,30±0,91
Концентраты с двумя ферментами				
ПК (без ферментов)	0	50	1:6,0	40,95±1,30
ТИР+мТГ (две стадии)	0,216+0,80	25+25	1:6,0	0,70±0,00
ТИР+мТГ (одна стадия)	0,216+0,80	25	1:6,0	0,98±0,04

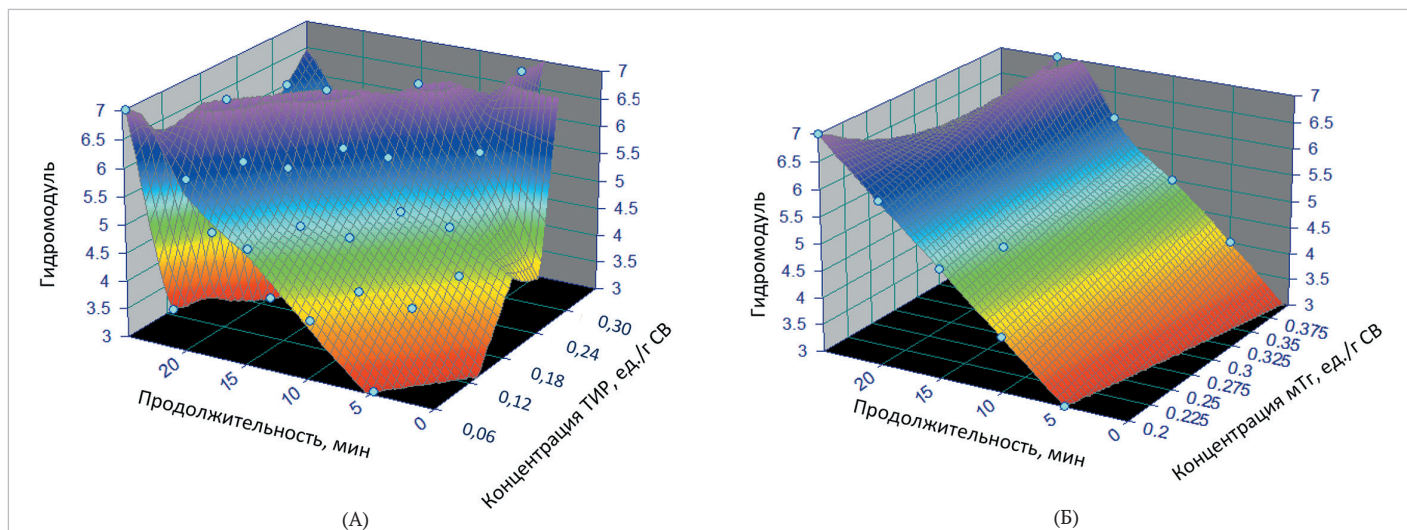


Рисунок 9. Зависимость количества аминного азота (мг %) от параметров синтеза: (А) – ТИР, (Б) – мТГ  
Figure 9. Dependence of the amount of amino nitrogen (mg %) on synthesis parameters: (A) – TYR, (B) – mTG

Таблица 10. Функциональные свойства подсолнечных концентратов

Table 10. Functional properties of sunflower concentrates

Образец	ВСС, г/г	ПОС, %	СП, %	ЖСС, г/г	ЖЭС, %	СЭ, %	Р, %
Контроль ПК	3,72±0,12	140±2	7±1	1,90±0,12	53±2	64±1	10,9±0,72
Концентраты с ферментом:							
ТИР	5,80±0,32	145±2	40±2	2,97±0,32	63±2	68±1	2,25±0,42
мТГ	5,47±0,22	145±1	40±1	2,37±0,12	62±1	68±0	2,25±0,17
Двухстадийный способ с двумя ферментами							
ТИР+мТГ (две стадии)	3,47±0,11	138±3	7±1	2,63±0,12	48±2	28±1	3,34±0,54
Одностадийный способ с двумя ферментами							
ТИР+мТГ	3,30±0,11	138±2	6±0	2,71±0,12	53±2	50±1	3,45±0,24

Известно, что ферменты мТГ и ТИР используются в качестве сшивающих агентов белков с целью модификации свойств и структуры пищевых систем благодаря способности образовывать в них поперечные связи. При этом в отношении мТГ получены значительные результаты [65]. Применение последней наиболее изучено для мясных систем, включая, например, аналоги куриной колбасы [66], культивируемое мясо [67], стейки из кусочков мяса с изолятами горохового, рисового белка и чечевичной мукой [68], как и для молочных белков и их фракций [69,70]. Работы по использованию ферментов для улучшения ФТС белковых концентратов/изолятов значительно меньше и, особенно, это относится к ТИР.

Если сравнить полученные данные, например, с результатами для овсяного белка и белка из конских бобов [71], то они согласуются в отношении уменьшения их растворимости под действием ферментов, и различий в концентрациях мТГ, «схватывающих» белки из зерновых или бобовых культур: для СПК концентрация была выше, чем для горохового БК (8 ед./г и 0,9 ед./г, соответственно), также как и 100/1000 ед./г для овсяного, против 10 ед./г для белков из конских бобов [71]. С другой стороны, мТГ улучшала ПОС овсяного белка, а по нашим данным, и ТИР повышала ее значения, как у СПК, так и у ГК. Результаты по снижению растворимости БК согласовывались с результатами других авторов, например, для белков гороха, риса [72,73] и фасоли [74]. ЖЭС изменялась в зависимости от природы белков: у гороховых — ухудшались, а у подсолнечных оставались без изменений, по сравнению с нативными белками. По другим данным известно, что стабильность эмульсий у белков нута под влиянием мТГ только после месяца хранения была выше, по сравнению с нативными белками [75]. Известно и то, что изолированный соевый белок показывал ниже эмульгирующую способность под влиянием мТГ, чем исходный белок, это при снижении только 3% аминного азота за 1–2 часа реакции при удовлетворительной стабильности эмульсии [76]. По нашим данным, ЖЭС и стабильность эмульсий у СПК и ПК не ухудшались, так как параметры синтеза определены при меньшем количестве остаточного аминного азота в среде: для СПК оно понижалось на 43–46%, для ПК — на 49–98%, по сравнению с контролем.

Так как целью данной работы было сравнение ФТС концентратов, «сшитых» с мТГ и с недостаточно изученной ТИР с другим механизмом действия, то установлено, что для СПК различий в свойствах, синтезированных БК не обнаружено. Показано положительное влияние совместного двухстадийного способа использования ферментов для

улучшения ВСС и ЖСС. Для гороховых и подсолнечных БК, по аналогии с СПК, различий в ФТС белков под влиянием ТИР и мТГ не выявлено; ВСС, ПОС, стабильность пены, ЖСС и ЖЭС улучшались при раздельном их применении. Совместное использование ферментов не имело преимуществ, по сравнению с раздельным, для обоих БК.

#### 4. Заключение

Разработаны биотехнологические основы синтеза БК из сухой пшеничной клейковины, горохового и подсолнечного концентратов для модификации их функциональных свойств:

- установлены закономерности влияния параметров на массовую долю аминного азота и растворимого белка: при повышении гидро-модуля, продолжительности реакции и концентрации мТГ и ТИР показатели уменьшались, затем оставались постоянными и вновь возрастали. Возможно, это было связано с ингибированием активного центра ферментов продуктами реакции или субстратами;
- определены оптимальные/рациональные параметры синтеза БК и способы внесения в ФП: для клейковинного БК — двухстадийный способ с концентрацией ТИР 5,4 ед./г и мТГ 8,0 ед./г, продолжительностью реакции — по 15 минут, гидромодулем 1:5 и 1:8, соответственно. Для горохового и подсолнечного БК эффективно раздельное использование мТГ/ТИР с концентрацией 0,81–0,90 ед./г СВ, продолжительностью 30–35 минут и гидромодулем 1:1,50÷1,67. Параметры для подсолнечного БК: концентрация ТИР — 0,189 ед./г СВ, время реакции 15,74 мин, гидромодуль 1:5,06, для БК с мТГ — 0,30 ед./г, 14,14 мин и гидромодуль 1:4,8, соответственно.
- функциональные свойства клейковинного БК, полученного при совместном использовании ТИР и мТГ, а горохового и подсолнечного при раздельном применении были улучшены. По сравнению с контрольной СПК, у «сшитого» БК на 44% повышалась ВСС и почти в 2 раза — ЖСС, у горохового БК на 24–34% улучшалась ВСС, в 2,3–2,4 раза — ПОС и в 1,6–1,8 раза — ЦП, у подсолнечного БК на 47–56% повысилась ВСС, стабильность пены — в 5,7 раза, ЖЭС и ЖСС на 11–25%, по сравнению с исходными БК.
- результаты влияния ТИР и мТГ на функциональные свойства БК, не смотря на различный принцип действия ферментов, практически, одинаковые, следовательно, для модификации свойств БК возможна взаимозаменяемость ферментов с учетом параметров их действия на клейковинные, гороховые и подсолнечные белки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Goncharova, N., Merzlyakova, N. (2021). Food shortages and hunger as a global problem. *Food Science and Technology*, 42(2), Article 70621. <https://doi.org/10.1590/Fst.70621>
2. Нечаев, А. П., Кочеткова, А. А., Колпакова, В. В., Траубенберг, С. Е., Витол, И. С., Кобелева, И. Б. и др. (2024). Пищевая химия. Санкт-Петербург: ГИОРД, 2024. [Nechaev, A. P., Kochetkova, A. A., Kolpakova, V. V., Traubenberg, S. E., Vitol, I. S., Kobeleva, I. B. et al. (2024). Food chemistry. St. Petersburg: GIORД, 2024. (In Russian)]
3. Williams, R. A. (2021). Opportunities and challenges for the introduction of new food proteins. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12, 75–91. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-061220-012838>
4. Kołodziejczak, K., Onopiuk, A., Szpicer, A., Póltorak, A. (2021). Meat analogues in the perspective of recent scientific research: A review. *Foods*, 11(1), Article 105. <https://doi.org/10.3390/foods11010105>
5. Heertje, I. (2014). Structure and function of food products: A review. *Food Structure*, 1(1), 3–23. <https://doi.org/10.1016/j.foosr.2013.06.001>
6. Колпакова, В. В., Бызов, В. А. (2024). Функциональные характеристики и молекулярно-структурная модификация растительных белков. Обзор. *Пищевые системы*, 7(3), 324–335. [Kolpakova, V. V., Byzov, V. A. (2024). Functional characteristics and molecular structural modification of plant proteins. Review. *Food Systems*, 7(3), 324–335. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-324-335>
7. WHO/FAO. (2018). Driving commitment for nutrition within the UN Decade of Action on Nutrition: Policy brief. World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.
8. Лисицын, А. Б., Захаров, А. Н., Исаков, М. Х., Алиев, М. С. (2014). Современное состояние российского рынка сои и соевых белков. *Все о мясе*, 4, 20–23. [Lisitsyn, A. B., Zakharov, A. N., Isakov, M. Kh., Aliev, M. S. (2014). Current state of the Russian market of soy and soy proteins. *Vsyo o Myase*, 4, 20–23. (In Russian)]
9. Нечаев, А.П., Дубцова, Г.Н., Колпакова, В.В. (1995). Белки пшеницы. Технология получения и применения (состояние, проблемы, пути развития). *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 1–2(224–225), 28–30. [Nechaev, A. P., Dubtsova, G. N., Kolpakova, V. V. (1995). Wheat proteins. Production technology and application (state, problems, ways of development). *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 1–2(224–225), 28–30. (In Russian)]
10. Day, L. (2011). Wheat gluten: Production, properties and application. Chapter in a book: *Handbook of Food Proteins*. Sawston, Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. <http://doi.org/10.1533/9780857093639.267>
11. Kolpakova, V. V., Lukin, N. D., Gaivoronskaya, I. S. (2018). Interrelation of functional properties of protein products from wheat with the composition and physicochemical characteristics of their proteins. Chapter in a book: *Global Wheat Production*. London: IntechOpen, 2018. <http://doi.org/10.5772/intechopen.75803>
12. Колпакова, В. В., Куликов, Д. С., Уланова, Р. В., Чумикина, Л. В. (2021). Пищевые и кормовые белковые препараты из гороха и нута: производство, свойства, применение. *Техника и технология пищевых производств*, 51(2), 333–348. [Kolpakova, V. V., Kulikov, D. S., Ulanova, R. V., Chumikina, L. V. (2021). Food and feed protein preparations from peas and chickpeas: Production, properties, application. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(2), 333–348. (In Russian)] <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-333-348>
13. Gao, Z., Shen, P., Lan, Y., Cui, L., Ohm, J.-B., Chen, B., Rao, J. (2020). Effect of alkaline extraction pH on structure properties, solubility, and beany flavor of yellow pea protein isolate. *Food Research International*, 131(4), Article 09045. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109045>
14. Shen, Y., Hong, S., Li, Y. (2022). Pea protein composition, functionality, modification, and food applications: A review. *Advances in Food and Nutrition Research*, 101, 71–127. <http://doi.org/10.1016/bs.afnr.2022.02.002>
15. Patil, N. (2023). Chickpea protein: A comprehensive review on nutritional properties, processing, functionality, applications, and sustainable impact. *The Pharma Innovation Journal*, 12(7), 3424–3434.
16. Funke, M., Loeffler, M., Winkelmeyer, C., Krayner, M., Boom, R., Weiss, J. (2022). Emulsifying properties of lentil protein preparations obtained by dry fractionation. *European Food Research and Technology*, 248, 381–391. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03883-y>
17. Vogelsang-O'Dwyer, M., Petersen, I. L., Joehnk, M.S, Sorensen, J. C., Bez, J., Detzel, A. et al. (2020). Comparison of faba bean protein ingredients produced using dry fractionation and isoelectric precipitation: Techno-functional, nutritional and environmental performance. *Foods*, 9(3), Article 322. <https://doi.org/10.3390/foods9030322>
18. Колпакова, В. В., Фан, Ч. К., Гайворонская, И. С., Чумикина, Л. В. (2023). Свойства и структурные особенности белков нативных и модифицированных концентратов из белого и коричневого риса. *Пищевые системы*, 6(3), 317–328. [Kolpakova, V. V., Fan, C. K., Gaivoronskaya, I. S., Chumikina, L. V. (2023). Properties and structural features of proteins of native and modified concentrates from white and brown rice. *Food systems*, 6(3), 317–328. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-3-317-328>
19. Östbring, K., Malmqvist, E., Nilsson, K., Rosenlind, I., Rayner, M. (2020). The effects of oil extraction methods on recovery yield and emulsifying properties of

- proteins from rapeseed meal and press cake. *Foods*, 9(1), Article 19. <https://doi.org/10.3390/foods9010019>
20. Dabbour, M., He, R., Ma, H., Musa, A. (2018). Optimization of ultrasound assisted extraction of protein from sunflower meal and its physicochemical and functional properties. *Journal of Food Process Engineering*, 41(5), Article e12799. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12799>
  21. Mondor, M., Hernández-Álvarez, A. J. (2022). Processing technologies to produce plant protein concentrates and isolates. Chapter in a book: *Plant Protein Foods*. London-Berlin: Springer Nature, 2022. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-91206-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91206-2_3)
  22. Joshi, V.K., Kumar, S. (2015). Meat analogues: Plant based alternatives to meat products — A review. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 5(2), 107–119. <https://doi.org/10.5958/2277-9396.2016.00001.5>
  23. Kumar, P., Sharma, B., Kumar, R.R., Kumar, A. (2012). Optimization of the level of wheat gluten in analogue meat nuggets. *Indian Journal of Veterinary Research*, 21(1), 54–59.
  24. Onwezen, M. C., Bouwman, E. P., Reinders, M. J., Dagevos, H. (2021). A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. *Appetite*, 159, Article 105058. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.105058>
  25. Xia, W., Botma, T.E., Sagis, L.M.C., Yang, J. (2022). Selective proteolysis of  $\beta$ -conglycinin as a tool to increase air-water interface and foam stabilising properties of soy proteins. *Food Hydrocolloids*, 130(3), Article 107726. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107726>
  26. Yolandani, Y., Ma, H., Li, Y., Liu, D., Zhou, H., Liu, X. et al. (2023). Ultrasound-assisted limited enzymatic hydrolysis of high concentrated soy protein isolate: Alterations on the functional properties and its relation with hydrophobicity and molecular weight. *Ultrasonics Sonochemistry*, 95, Article 106414. <https://doi.org/10.1016/j.ulsonch.2023.106414>
  27. Di, A., Li, L. (2020). The effect of limited proteolysis by trypsin on the formation of soy protein isolate nanofibrils. *Journal of Chemistry*, 4–5, Article 185037. <https://doi.org/10.1155/2020/8185037>
  28. Kolpakova, V. V., Chumikina, L. V., Arabova, L. I., Lukin, D. N., Topunov, A. F., Titov, E. I. (2016). Functional technological properties and electrophoretic composition of modified wheat gluten. *Foods and Raw Materials*, 4(2), 48–57. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-48-57>
  29. Pourmohammadi, K., Elahe, A. (2021). Hydrolytic enzymes and their directly and indirectly effects on gluten and dough properties: An extensive review. *Food Science and Nutrition*, 9(12), 3988–4006. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2544>
  30. Kolpakova, V. V., Chumikina, L. V., Vasil'ev, A. V., Arabova, L. I., Topunov, A. F. (2014). Wheat gluten proteolysis by enzyme preparations of directional action. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 5(2), 72–86.
  31. Merz, M., Kettner, L., Langolf, E., Appel, D., Blank, I., Stressler, T. et al. (2016). Production of wheat gluten hydrolysates with reduced antigenicity employing enzymatic hydrolysis combined with downstream unit operations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(10), 3358–3364. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7515>
  32. Mika, M., Wiekiera, A. (2024). Enzymatic hydrolysis as an effective method for obtaining wheat gluten hydrolysates combining beneficial functional properties with health-promoting potential. *Molecules*, 29(18), Article 4407. <https://doi.org/10.3390/molecules29184407>
  33. Kieliszek, M., Misiewicz, A. (2014). Microbial transglutaminase and its application in the food industry. A review. *Folia Microbiologica*, 59(3), 241–250. <https://doi.org/10.1007/s12223-013-0287-x>
  34. Akbari, M., Razavi, S.H., Kieliszek, M. (2021). Recent advances in microbial transglutaminase biosynthesis and its application in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*, 110, 458–469. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.036>
  35. Kolotylo, V., Piwowarek, K., Kieliszek, M. (2023). Microbiological transglutaminase: Biotechnological application in the food industry. *Open Life Science*, 18(1), Article 20220737. <https://doi.org/10.1515/biol-2022-0737>
  36. Sorapukdee, S., Tangwatcharin, P. (2018). Quality of steak restructured from beef trimmings containing microbial transglutaminase and impacted by freezing and grading by fat level. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(1), 129–137. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0170>
  37. Lesiow, T., Rentfrow, G. K., Xiong, Y. L. (2017). Polyphosphate and myofibrillar protein extract promote transglutaminase-mediated enhancements of rheological and textural properties of PSE pork meat batters. *Meat Science*, 128, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.02.002>
  38. Santhi, D., Kalaikannan, A., Malairaj, P., Prubhu, A. (2017). Application of microbial transglutaminase in meat foods: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(10), 2071–2076. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.945990>
  39. Carballo, J., Ayo, J., Colmenero, F.J. (2006). Microbial transglutaminase and caseinate as cold set binders: Influence of meat species and chilling storage. *LWT — Food Science and Technology*, 39(6), 692–699. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.03.020>
  40. Abou-Soliman, N. H. I., Sakr, S. S., Awad, S. (2017). Physico-chemical, microstructural and rheological properties of camel-milk yogurt as enhanced by microbial transglutaminase. *Journal of Food Science and Technology*, 54(6), 1616–1627. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2593-9>
  41. Gharibzadeh, S. M. T., Koubaa, M., Barba, F. J., Greiner, R., George, S., Roohinejad, S. (2018). Recent advances in the application of microbial transglutaminase cross linking in cheese and ice cream products: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107(Pt B), 2364–2374. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.115>
  42. D'Alessandro, A. G., Martemucci, G., Faccia, M. (2021). Effects of microbial transglutaminase levels on donkey cheese production. *Journal of Dairy Research*, 88(3), 351–356. <https://doi.org/10.1017/S0022029921000601>
  43. Darnay, L., Miklós, G., Lórinç, A., Szakmár, K., Pásztor-Huszár, K., Laczay, P. (2022). Possible inhibitory effect of microbial transglutaminase on the formation of biogenic amines during Trappist cheese ripening. *Food Additives and Contaminants: Part A*, 39(3), 580–587. <https://doi.org/10.1080/19440049.2021.2005851>
  44. Palmeira, K. R., Rodrigues, B. L., Gaze, L. V., Freitas, M. Q., Teixeira, C. E., Marisco, E. T. et al. (2014). Use of transglutaminase, soybean waste and salt replacement in the elaboration of trout (*Oncorhynchus mykiss*) meatball. *International Food Research Journal*, 21(4), 1597–1602.
  45. Yuan, F., Lv, L., Li, Z., Mi, N., Chen, H., Lin, H. (2017). Effect of transglutaminase-catalyzed glycosylation on the allergenicity and conformational structure of shrimp (*Metapenaeus ensis*) tropomyosin. *Food Chemistry*, 219, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.139>
  46. Bellido, G., Hatcher, D. W. (2011). Effects of a cross-linking enzyme on the protein composition, mechanical properties, and microstructure of Chinese-style noodles. *Food Chemistry*, 125(3), 813–822. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.08.008>
  47. Niu, M., Hou, G. G., Kindelspire, J., Krishnan, P., Zhao, S. (2017). Microstructural, textural, and sensory properties of whole-wheat noodle modified by enzymes and emulsifiers. *Food Chemistry*, 223, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.021>
  48. Ogilvie, O., Roberts, S., Sutton, K., Larsen, N., Gerrard, J., Domigan, L. (2020). The use of microbial transglutaminase in a bread system: A study of gluten protein structure, deamidation state and protein digestion. *Food Chemistry*, 340, Article 127903. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127903>
  49. Escamilla-García, M., Ríos-Romo, R. A., Melgarejo-Mancilla, A., Díaz-Ramírez, M., Hernández-Hernández, H. M., Amaro-Reyes, A. et al. (2020). Rheological and antimicrobial properties of chitosan and quinoa protein filmogenic suspensions with thyme and rosemary essential oils. *Foods*, 9(11), Article 1616. <https://doi.org/10.3390/foods9111616>
  50. Uresti, R.M., Téllez-Luis, S.J., Ramírez, J.A., Vázquez, M. (2004). Use of dairy products and microbial transglutaminase to obtain low-salt fish products from filleting waste from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Food Chemistry*, 86(2), 257–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.033>
  51. Martínez, B., Miranda, J.M., Franco, C.M., Cepeda, A., Vázquez, M. (2011). Evaluation of transglutaminase and caseinate for a novel formulation of beef patties enriched in healthier lipid and dietary fiber. *LWT — Food Science and Technology*, 44(4), 949–956. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.026>
  52. Giosafatto, C. V. L., Al-Asmar, A., Mariniello, L. (2018). Transglutaminase protein substrates of food interest. Chapter in a book: *Enzymes in food technology*. Singapore: Springer, 2018. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1953-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1953-4_15)
  53. Jaros, D., Heidig, C., Rohm, H. (2007). Enzymatic modification through microbial transglutaminase enhances the viscosity of stirred yogurt. *Journal of Texture Studies*, 38(2), 179–198. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2007.00093.x>
  54. Fenoll, L. G., Rodríguez-López, J. N., García-Sevilla, F., García-Ruiz, P. A., Varón, R., García-Cánovas, F. et al. (2001). Analysis and interpretation of the action mechanism of mushroom tyrosinase on monophenols and diphenols generating highly unstable o-quinones. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Protein Structure and Molecular Enzymology*, 1548(1), 1–22. [https://doi.org/10.1016/s0167-4838\(01\)00207-2](https://doi.org/10.1016/s0167-4838(01)00207-2)
  55. Ito, S., Sugumaran, M., Wakamatsu, K. (2020). Chemical reactivities of ortho-quinones produced in living organisms: Fate of quinonoid products formed by tyrosinase and phenoloxidase action on phenols and catechols. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(17), Article 6080. <https://doi.org/10.3390/ijms21176080>
  56. Kumar, C. M., Sathisha, U.V., Dharmesh, S., Rao, A.G.A., Singh, S.A. (2011). Interaction of sesamol (3,4-methylenedioxyphenol) with tyrosinase and its effect on melanin synthesis. *Biochimie*, 93(3), 562–569. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2010.11.014>
  57. Arias, S., Amini, S., Horsch, J., Pretzler, M., Rompel, A., Melnyk, I. et al. (2020). Toward artificial mussel-glu proteins: Differentiating sequence modules for adhesion and switchable cohesion. *Angewandte Chemie, International Edition*, 59(42), 18495–18499. <https://doi.org/10.1002/anie.202008515>
  58. Krüger, J. M., Börner, H. G. (2021). Accessing the next Generation of synthetic mussel-glu polymers via mussel-inspired polymerization. *Angewandte Chemie, International Edition*, 60(12), 6408–6413. <https://doi.org/10.1002/anie.202015833>
  59. Fernandes, M. S., Kerkar, S. (2017). Microorganisms as a source of tyrosinase inhibitors: A review. *Annals of Microbiology*, 67, 343–358. <https://doi.org/10.1007/s13213-017-1261-7>
  60. Virginia, B.A., Apetrei, C. (2023). Tyrosinase immobilization strategies for the development of electrochemical biosensors — A review. *Nanomaterials*, 13(4), Article 760. <https://doi.org/10.3390/nano13040760>
  61. Семенов, Г. В., Краснова, И. С. (2021). Сублимационная сушка. М.: ДеЛи, 2021. [Semenov, G. V., Krasnova, I. S. (2021). Freeze-drying. Moscow: DeLi, 2021. (In Russian)]
  62. Ванин, С. В., Колпакова, В. В. (2007). Функциональные свойства сухой пшеничной клейковины разного качества. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 1(296), 21–24. [Vanin, S. V., Kolpakova, V. V. (2007). Functional properties of dry wheat gluten of different quality. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 1(296), 21–24. (In Russian)]
  63. Колпакова, В. В., Крикунова, Л. Н., Кононенко, В. В. (2001). Исследование возможности получения белковых препаратов из дифференцированных фракций зерна ржи и ячменя. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 5–6(264–265), 35–39. [Kolpakova, V. V., Krikunova, L. N., Kononenko, V. V. (2001). Study of the possibility of producing protein preparations from differentiated fractions of rye and barley grain. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 5–6(264–265), 35–39. (In Russian)]
  64. Андреев, Н. Р., Колпакова, В. В., Гольдштейн, В. Г. (2018). К вопросу глубокой переработки зерна тритикале. *Пищевая промышленность*, 9, 30–33. [Andreev, N. R., Kolpakova, V. V., Goldstein, V. G. (2018). To the question of profound triticale grain processing. *Food Industry*, 9, 30–33. (In Russian)]
  65. Buchert, J., Erccili-Cura, D.E., Ma, H., Gasparetti, C., Monogioudi, E., Faccioet, G. al. (2010). Crosslinking food proteins for improved functionality. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1(1), 113–138. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100841>
  66. Zimoch-Korzycka, A., Krawczyk, A., Król-Kilińska, Ż., Kulig, D., Bobak, Ł., Jarmluk, A. (2024). Influence of microbial transglutaminase on the formation of physico-chemical properties of meat analogs. *Foods*, 13(24), Article 4085. <https://doi.org/10.3390/foods13244085>
  67. Zo, S. M., Sood, A., Won, S. Y., Choi, S. M., Han, S. S. (2025). Structuring the future of cultured meat: Hybrid gel-based scaffolds for edibility and functionality. *Gels*, 11(8), Article 610. <https://doi.org/10.3390/gels11080610>

68. Baugreet, S., Kerry, J. P., Brodtkorb, A., Gomez, C., Auty, M., Allen P. et al. (2018). Optimisation of plant protein and transglutaminase content in novel beef restructured steaks for older adults by central composite design. *Meat Science*, 142, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.024>
69. Partanen, R., Torkkeli, M., Hellman, M., Permi, P., Serimaa, R., Buchert, J. et al. (2011). Loosening of globular structure under alkaline pH affects accessibility of  $\beta$ -lactoglobulin to tyrosinase-induced oxidation and subsequent cross-linking. *Enzyme and Microbial Technology*, 49(2), 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2011.04.010>
70. Madsen, M., Khan, S., Kunstmann, S., Aachmann, F. L., Ipsen, R., Westh, P. et al. (2022). Unaided efficient transglutaminase cross-linking of whey proteins strongly impacts the formation and structure of protein alginate particles. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 5, Article 100137. <https://doi.org/10.1016/j.fchms.2022.100137>
71. Nivala, O., Mäkinen, O.E., Kruus, K., Nordlund, E., Ercili-Cura, D. (2017). Structuring colloidal oat and faba bean protein particles via enzymatic modification. *Food Chemistry*, 231, 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.114>
72. Marco, C., Pérez, G., Ribotta, P., Rosell, C.M. (2007). Effect of microbial transglutaminase on the protein fractions of rice, pea and their blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(14), 2576–2582. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3006>
73. Tang, C. H., Sun, X., Yin, S. W., Ma, C. Y. (2008). Transglutaminase induced cross-linking of vicilin-rich kidney protein isolate: Influence on the functional properties and in vitro digestibility. *Food Research International*, 41(10), 941–947. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.07.015>
74. Queirós, R.P., Moreira, N., Pinto, C.A., Fidalgo, L.G., Saraiva, J.A., Lopes da Silva, J.A. (2024). Influence of high-pressure processing and microbial transglutaminase on the properties of pea protein isolates. *Macromol*, 4(2), 213–226. <https://doi.org/10.3390/macromol4020011>
75. Glusac, J., Isaschar-Ovdat, S., Fishman, A. (2020). Transglutaminase modifies the physical stability and digestibility of chickpea protein-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, 315, Article 126301. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126301>
76. de Barros Soares, L.H., Albuquerque, P.M., Assmann, F., Ayub, M.A.Z. (2004). Physical properties of three food proteins treated with transglutaminase. *Ciencia Rural*, 34(4), 1219–1223. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000400039>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
<b>Принадлежность к организации</b>	<b>Affiliation</b>
<p><b>Колпакова Валентина Васильевна</b> — доктор технических наук, профессор, заведующий отделом биотехнологии комплексной переработки крахмалсодержащего сырья, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья — филиал «Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха» 140051, Московская область, Люберцы, п. Красково, ул. Некрасова, 11 E-mail: Val-kolpakova@rambler.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-7288-8569">https://orcid.org/0000-0002-7288-8569</a> * автор для контактов</p> <p><b>Гайворонская Ирина Сергеевна</b> — соискатель, отдел биотехнологии комплексной переработки крахмалсодержащего сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья — филиал «Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха» 140051, Московская область, Люберцы, п. Красково, ул. Некрасова, 11 E-mail: irina_ivahnenko@bk.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-4036-1316">http://orcid.org/0000-0002-4036-1316</a></p> <p><b>Гулакова Валентина Андреевна</b> — научный сотрудник, отдел биотехнологии комплексной переработки крахмалсодержащего сырья, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья — филиал «Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха» 140051, Московская область, Люберцы, п. Красково, ул. Некрасова, 11 E-mail: gulakovava@mail.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8393-9256">https://orcid.org/0000-0001-8393-9256</a></p> <p><b>Семенов Геннадий Вячеславович</b> — доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник, лаборатория композитных материалов, ЦКП «Перспективные упаковочные решения и технологии рециклинга», Российский биотехнологический университет 125080, Москва, Волоколамское шоссе, 11 E-mail: sgv47@yandex.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0003-2320-9985">http://orcid.org/0000-0003-2320-9985</a></p> <p><b>Цурикова Нина Васильевна</b> — кандидат технических наук, заведующая лабораторией биотехнологии новых продуцентов гидролитических ферментов, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи 111033, Москва, Самокатная ул., 4-Б E-mail: nina.tsurikova@gmail.com ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-9609-0818">https://orcid.org/0000-0002-9609-0818</a></p> <p><b>Синицын Аркадий Пантелеймонович</b> — доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией биохимии ферментов, Федеральный исследовательский центр «Фундаментальные основы биотехнологии» Российской академии наук 111033, Москва, Ленинский проспект, 33, кор. 2 заведующий лабораторией физико — химии ферментативной трансформации полимеров, кафедре химической энзимологии, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова 119991, Москва, Ленинские горы, 1, строение 3 E-mail: apsinityn@gmail.com ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6234-5395">https://orcid.org/0000-0001-6234-5395</a></p>	<p><b>Valentina V. Kolpakova</b>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Biotechnology for the Complex Processing of Starch-Containing Raw Materials, Chief Researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing — Branch of Russian Potato Research Centre 11, Nekrasov str., 140051, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russia E-mail: Val-kolpakova@rambler.ru ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-7288-8569">https://orcid.org/0000-0002-7288-8569</a> * corresponding author</p> <p><b>Irina S. Gaivoronskaya</b>, Graduate Applicant, Department of Biotechnology for the Complex Processing of Starch-Containing Raw Materials, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing — Branch of Russian Potato Research Centre 11, Nekrasov str., 140051, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russia E-mail: irina_ivahnenko@bk.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0002-4036-1316">http://orcid.org/0000-0002-4036-1316</a></p> <p><b>Valentina A. Gulakova</b>, Scientific Researcher, Department of Biotechnology for the Complex Processing of Starch-Containing Raw Materials, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing — Branch of Russian Potato Research Centre 11, Nekrasov str., 140051, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russia E-mail: gulakovava@mail.ru, ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-8393-9256">https://orcid.org/0000-0001-8393-9256</a></p> <p><b>Gennadiy V. Semenov</b> — Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Laboratory of Composite Materials, Center for Collective Use “Advanced Packaging Solutions and Recycling Technologies”, Russian Biotechnological University 11, Volokolamskoe highway, 125080, Moscow, Russia E-mail: sgv47@yandex.ru ORCID: <a href="http://orcid.org/0000-0003-2320-9985">http://orcid.org/0000-0003-2320-9985</a></p> <p><b>Nina V. Tsurikova</b> — Candidate of Technical sciences, Head of the Laboratory of Biotechnology of New Producers of Hydrolytic Enzymes, All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology — branch of the Federal State Budgetary Institution “Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety” 4-B, Samokatnaya str., Moscow, 111033, Russia E-mail: nina.tsurikova@gmail.com ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0002-9609-0818">https://orcid.org/0000-0002-9609-0818</a></p> <p><b>Arkady P. Sinityn</b>, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Enzyme Biochemistry, Federal Research Center “Fundamentals of Biotechnology” of the Russian Academy of Sciences 33, Building 2, Leninsky Prospect, 111033, Moscow, Russia Head of the Laboratory of Physical Chemistry of Enzymatic Transformation of Polymers, Department of Chemical Enzymology, Lomonosov Moscow State University 1, building 3, Leninskiye Gory, 119991, Moscow, Russia E-mail: apsinityn@gmail.com ORCID: <a href="https://orcid.org/0000-0001-6234-5395">https://orcid.org/0000-0001-6234-5395</a></p>
<b>Критерии авторства</b>	<b>Contribution</b>
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
<b>Конфликт интересов</b>	<b>Conflict of interest</b>
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest