

На правах рукописи

КУЛИКОВ ДЕНИС СЕРГЕЕВИЧ

**КОМПЛЕКСНАЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ
ПЕРЕРАБОТКА ГОРОХОВОЙ МУКИ С ПОЛУЧЕНИЕМ
БЕЛКОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ**

Специальность: 4.3.5 «Биотехнология продуктов питания и биологически
активных веществ»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2023

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Колпакова Валентина Васильевна

Официальные оппоненты: **Иванова Людмила Афанасьевна,**
доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», кафедра биотехнологии и технологии продуктов биорганического синтеза, профессор

Волкова Галина Сергеевна,
доктор технических наук, ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», лаборатория биотехнологии органических кислот, пищевых и кормовых добавок, заведующая лабораторией

Ведущая организация: РХТУ им. Д.И. Менделеева

Защита диссертации состоится: «05» декабря 2023 г. в 13⁰⁰ ч на заседании Совета по защите диссертаций на соискание степени кандидата наук 24.1.257.01 на базе ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем имени В.М. Горбатова» РАН по адресу: 109316, Москва, ул. Талалихина, 26

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем имени В.М. Горбатова» РАН по адресу: 109316, Москва, ул. Талалихина, 26. Диссертация размещена в сети интернет на официальном сайте ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН (<https://www.vniimp.ru/>).

Автореферат разослан «_____» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.257.01,
кандидат технических наук

Захаров Александр Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Пищевая и перерабатывающая промышленность ежегодно используют 110–115 млн. т растительного сырья, для эффективного использования которого требуются технологии глубокой переработки с выработкой конкурентоспособных пищевых белковых препаратов. Несмотря на то, что структура питания улучшается, потребление белоксодержащих продуктов населением не соответствует нормам. По данным ВОЗ число голодающих достигло трети всего населения Земли при дефиците белка в количестве 25–30 %. Возрастает интерес к белковым препаратам из зернобобовых культур из-за их высокой биологической ценности и относительно низкой стоимости. Бобовые культуры являются вторым по важности источником пищи для человека после злаковых. Концентраты и изоляты в нашей стране используются, в основном, импортного производства и производятся они, как правило, с использованием растворов щелочи, изменяющей структуру и свойства белков, иногда отрицательно влияющих на поведение пищевых систем, здоровье человека и животных. Существуют технологии переработки бобовых культур, например, с растворами солей, требующие мембранных установок, которые, как известно, трудные в обслуживании. Сведений об использовании ферментных препаратов для получения пищевых белковых продуктов недостаточно. Образующиеся побочные продукты также требуют их утилизации с получением безопасных продуктов, включая белковые. Таким образом, дефицит полноценного белка, высокие цены на животные продукты питания и политика импортозамещения белковых продуктов определяют **актуальность** разработок безопасных технологий и способов биотехнологической переработки зернобобового сырья в белковые препараты для пищевой и кормовой продукции.

Цель работы – Разработка комплексной биотехнологической переработки гороховой муки с получением безопасных биологически полноценных пищевых и кормовых белковых концентратов с заданными функциональными и органолептическими свойствами.

Задачи работы:

- научно обосновать использование гороховой муки для биотехнологии белковых концентратов (БК) и кормовых дрожжей (КД) без применения щелочи;

- разработать способ переработки гороховой муки с ферментными препаратами (ФП) различного действия для получения биологически полноценных БК с заданными функциональными и органолептическими свойствами;

- разработать способ биоконверсии вторичных продуктов переработки (ВПП) гороховой муки в белоксодержащие КД;
- исследовать возможность использования БК и КД в пищевом и кормовом продуктах;
- провести апробацию биотехнологических стадий получения БК и КД;
- разработать нормативные документы на комплексную биотехнологию белковых концентратов и рассчитать экономическую эффективность их производства.

Научная новизна:

Впервые установлены:

- закономерности растворимости белков гороховой муки под влиянием гидролитических ФП различного действия в зависимости от гидромодуля, продолжительности реакции, концентрации; разработана математическая модель зависимости растворимости от факторов с выявлением их оптимальных параметров;
- большее сродство к гороховым белкам у ФП Alcalase 2,4, чем ФП Distizym Protacid: константа Михаэлиса для первого – $16,7 \times 10^{-7}$, второго – $10,0 \times 10^{-7}$ моль/дм³, чем можно объяснить более высокий переход белка в раствор с ФП Alcalase 2,4;
- положительное влияние лактата кальция с микробной трансглутаминазой (мТГ) на стадии осаждения белка в изоэлектрической точке на его выход;
- корреляционная взаимосвязь между цветом муки и белковых препаратов с количеством фенолокарбоновых кислот и их производных (ФККиП) в сырье ($r=0,897$). Пенообразующая способность БК взаимосвязана с количеством ФККиП и элементами вторичной структуры белков: чем больше в муке ФККиП, параллельной β -структуры, и всех видов антипараллельных 3_{10} -спиралей, тем показатель выше;
- математическая модель для регулирования оптимальных параметров биоконверсии сыворотки и целесообразность трансформации ВПП (сыворотка, нерастворимый остаток) с симбиозом дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 121 и гриба *Geotrichum candidum* 977 в биологически полноценные КД с усвоением глюкозы, ксилозы, арабинозы, галактозы.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты закономерностей процессов впервые использованы для разработки биотехнологии пищевых белковых концентратов из гороховой муки с ФП без использования щелочи и биоконверсии ВПП в кормовые дрожжи.

Методами математической обработки данных определены оптимальные параметры растворимости белков: температура, концентрация

ФП, гидромодуль, мощность ультразвукового воздействия (УЗВ), амплитуда волны, продолжительность; дозировка лактата кальция и мТГ с выходом до 74,79 % от содержания в сырье и массовой доли белка в препарате – 74,40–83,22 %.

Определены параметры выхода дрожжей *S. cerevisiae* 121 и гриба *G. candidum* 977: температура, рН, количество посевного материала с массовой долей белка в биомассе из сыворотки 61,68±0,47 %, из сыворотки с нерастворимым остатком – 51,43±3,76 %.

Использование КД в новой рецептуре для кормления цыплят-бройлеров кросса «Росс 308» апробировано в НВЦ «Новые биотехнологии»; осуществлена проверка их безопасности на крысах линии «Wistar» – в виварии «ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН. Технологические процессы получения БК апробированы в ООО «Биопрогресс», а культивирование штаммов дрожжей родов *S. cerevisiae* 121 и *G. candidum* 977 на ВПП – в ЦКП «ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН.

Разработана нормативная документация (ТИ, ТУ на пищевой белковый концентрат, кормовые дрожжи), рецептура нового кисломолочного продукта с гороховым БК и рецепт комбикорма для кур-бройлеров с КД. Рассчитана ориентировочная экономическая эффективность комплексной переработки гороховой муки на БК и КД. Получен патент «Способ получения кормового концентрата» RU № 2791226 от 06.03.2023.

Методология и методы исследования. В основе использованы научно-практические основы российских и зарубежных ученых для дальнейшего развития биотехнологий комплексной переработки зернобобового сырья в биологически полноценные БК. Используются стандартные и специальные методы анализа: хроматографические (углеводный, аминокислотный, жирнокислотный составы), кругового дихроизма, электрофореза, функциональных свойств белков, перевариваемости, токсичности, математические методы планирования и обработки данных; результаты получены на современном оборудовании.

Основные положения, выносимые на защиту:

- биокаталитический способ получения из гороховой муки биологически ценных БК пищевого назначения с ФП без использования щелочи;
- кислотно-гидролитический способ подготовки ВПП (нерастворимого остатка, сыворотки) для их биоконверсии;
- биоконверсионный способ получения кормовых дрожжей из ВПП гороховой муки с *S. cerevisiae* 121 и *G. candidum* 977;

- химические и физико-химические характеристики биологически полноценных БК комплексной биотехнологии и их использование на конкретных примерах.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует пунктам 1, 5, 6, 8, 10, 15, 16, 21, 25, 26, 29, 30 Паспорта специальности 4.3.5 «Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ».

Степень достоверности результатов подтверждается использованием современных физико-химических, биохимических, микробиологических методов анализа, актами получения горохового белка в ООО «Биопрогресс», по совместному культивированию *S. cerevisiae* 121 и *G. candidum* 977 ВПП гороховой муки в ЦКП «ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН и кормления цыплят-бройлеров в виварии НВЦ «Новые биотехнологии». Анализы проведены в ВНИИК, часть из них – в Институтах микробиологии им. С.Н. Виноградского и биохимии им. А.Н. Баха, Поволжском НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН. Результаты экспериментов представлены как средние при 3–5-кратной повторности. Использованы методы математической статистики и программы TableCurve 2D 5.1, TableCurve 3D 4.0, Mathematica 10.3 и Statistica 10 с определением доверительного интервала среднего арифметического для $p = 0,05$.

Личный вклад диссертанта заключается в сборе и анализе литературных данных, планировании и выполнении эксперимента, обобщении результатов и представлении их в виде докладов и научных публикаций в стране и за рубежом.

Апробация результатов. Результаты доложены в виде устных докладов и обсуждены на международных конференциях: «Перспективные исследования и новые подходы к производству и переработке сельскохозяйственного сырья и продуктов питания» (г. Углич, 2019 г.); «Перспективные ферментные препараты и биотехнологические процессы в технологиях продуктов питания и кормов» (г. Москва, 2019 г.); GEOLINKS Conference International Conference on Geo Sciences (г. Афины, 2019 г., г. Пловдив, 2020 г.); смотре-конкурсе лучших инновационных разработок (AGRITECH III-2020, Красноярск–Волгоград); «Современные пищевые тенденции глазами молодых ученых: перспективы, инновации и прогрессивные технологии» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.) и др.

Публикации материалов исследований. По материалам диссертации опубликована 31 статья, в том числе 9 – в журналах, рекомендованных ВАК

Минобрнауки РФ, 11 – в журналах и сборниках международных баз WoS и Scopus, 11 – в сборниках научных трудов, материалов конференций.

Объем и структура работы. Диссертация включает введение, 3 главы, заключение, список литературы, 8 приложений. Основной текст работы изложен на 136 страницах, содержит 40 таблиц и 31 рисунок. Список литературы включает 253 источника, из них 147 – иностранных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность темы, сформулированы цель, задачи исследования, определены основные направления их реализации, приведена научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов.

ГЛАВА 1 Обзор литературы

Изложены современные проблемы переработки зернобобовых культур с получением пищевых и кормовых белковых продуктов. Проанализирован рынок производства зернобобовых культур, описан состав, особенности структуры белков, пищевая, биологическая ценность, функциональные свойства белковых продуктов из гороха и сферы их применения. Выполнен анализ технологий производства растительных белковых концентратов, их преимущества и недостатки. Рассмотрен процесс микробиологической трансформации вторичных продуктов переработки растительного сырья в пищевые и кормовые белковые препараты, выполнен анализ и сформулированы цели и задачи.

ГЛАВА 2 Объекты и методы исследований

Объектами исследований служили: гороховая мука из зерна сорта «Ямал» (Алтайский край); товарная нативная и экструдированная гороховая мука (ООО «Юг России»); сортовая нутовая нативная и экструдированная мука (сорт зерна «Волжанин», Волгоградская область); изоляты Roquette Nutralys S85F (Франция) и Cosucra Pisane C9 (Бельгия). Использовали уксусную, соляную кислоты, хлорид натрия, этанол, гидроксид натрия, реактивы – химически чистые. ФП компании "Novozymes" (Дания): Shearzym 500 L с ксиланазной активностью 500 ед/г, Viscoferm L с целлюлолитической активностью 600 ед/г; Fungamyl 800 L – источник α -амилазы; AMG 300 L 2500 – источник глюкоамилазы; Alcalase 2,4 L FG – источник протеаз и Distizym Protacid – протеаза фирмы «Erbslon». Гидролиз белков проводили с ФП Protamex и Flavourzyme 500 MG с активностью 125 ед/г и 85 ед/г, соответственно. Для осаждения белков использовали трехзамещенный цитрат кальция, лактат кальция и транsgлютаминазу (Фарма Ингредиентс) с

активностью 100 ед. Для биоконверсии вторичных продуктов переработки (ВПП) гороха использовали дрожжи *S. cerevisiae* 121 и микромицет *G. candidum* 977 из коллекции Института микробиологии им. С.М. Виноградского. Кисломолочный напиток готовили из пастеризованного коровьего молока «Эковакино» с массовой долей жира 2,5 %, масла подсолнечного «Кубанское» (ГОСТ 1129-2013); комплекса пробиотиков «Эвиталия» из *Lactococcus lactis*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Propionibacterium freudenreichii ssp. shermanii*. Исследования кормовых дрожжей проводили на 20 крысах-самцах «Wistar» весом 40 г в виварии Института биохимии им. А.Н. Баха и на 30 цыплятах-бройлерах кросса «Росс 308» в виварии НВЦ «Новые биотехнологии». Применялись химические, физико-химические, биохимические и микробиологические методы исследования с математической обработкой данных.

ГЛАВА 3 Результаты и их обсуждение

Схема исследований представлена на рисунке 1. Для выбора сырья из бобовых культур исследован химический состав гороховой и нутовой муки. Массовая доля белка в нативной муке – 23,67–25,70 %, в экструдированной –



Рисунок 1 – Схема проведения исследования

меньше на 2,03 %, крахмала – меньше на 6,98 %, что объясняется деструкцией полимеров в процессе ее обработки.

Нутовая мука содержала на 3,43–5,0 % больше жира, чем гороховая. Экструдированная мука содержала в 2–2,5 раза меньше водо-, солерастворимой фракций и в 1,6 раза – меньше спирторастворимой, по сравнению с нативной мукой, тогда как фракции, растворимой в щелочи, наоборот, было почти в 8 раз больше (Рисунок 2).

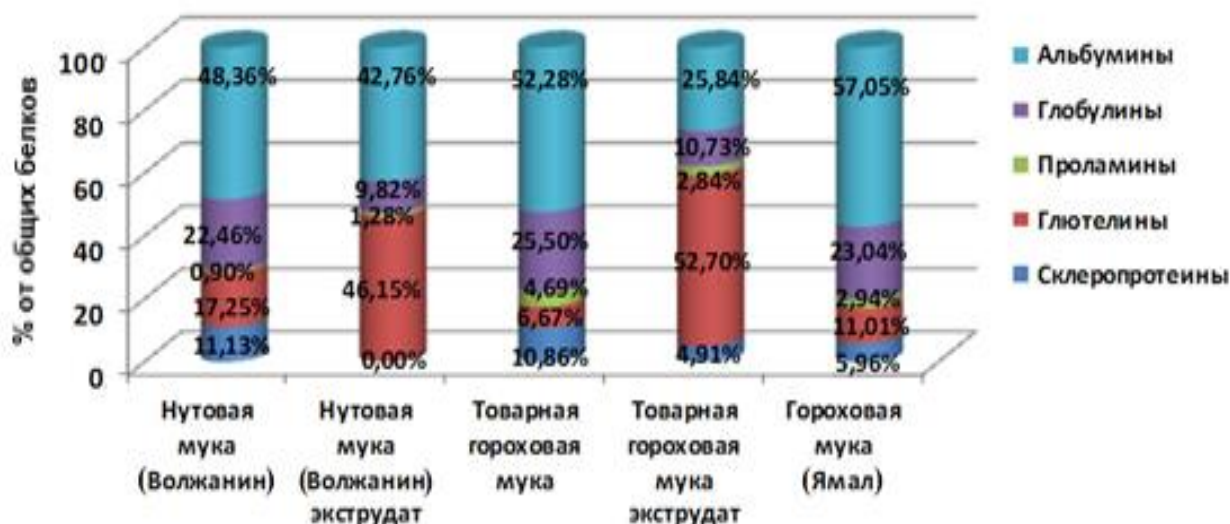


Рисунок 2 – Фракционный состав белков нативной и экструдированной муки

В процессе экструзии, независимо от вида муки, альбумины и глобулины, вероятно, агрегировались с образованием труднорастворимых белковых фракций. Поэтому, такой вид муки не имел преимущества перед нативной, так как он требовал бы для выделения белков использование растворов щелочи. В качестве альтернативы щелочи исследовано влияние гидролитических ФП подкласса карбогидраз на растворимость белков. Белки из муки со средневзвешенным размером частиц 102 ± 8 мкм растворялись на 37 % больше, чем с частицами 237 ± 10 мкм. Составлена матрица планирования эксперимента для растворимости, как выходного параметра с факторами: концентрация ФП, гидромодуль мука:вода, продолжительность ферментации. Выявлены их оптимальные значения для максимальной растворимости белков: концентрация ФП – 1,5 %/г белка, продолжительность – 4,2 ч, гидромодуль – 1:15 (Рисунок 3). На стадиях обработки с карбогидразами параметры обеспечили $42 \pm 0,5$ % растворимости белков.

Для повышения выхода белков в растворе обоснован выбор протеолитического ФП. Для этого определены константы Михаэлиса для

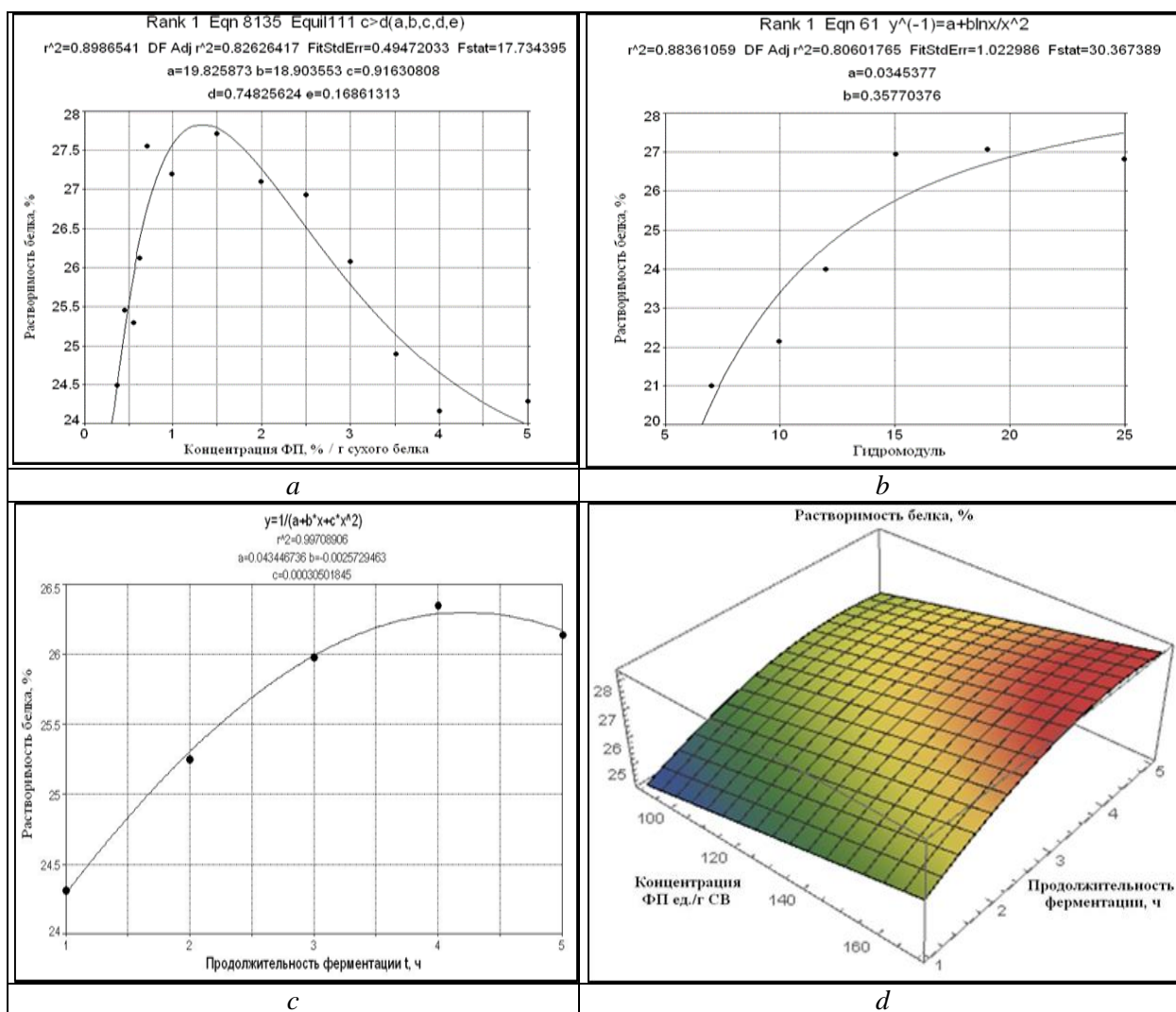


Рисунок 3 – Зависимость растворимости белка от: *a* – концентрации ФП, *b* – гидромодуля, *c* – продолжительности; *d* – концентрации ФП и продолжительности ферментации (3D)

Alcalase 2,4 и Distizym Protacid из кривых зависимости массовой доли белка в растворе от массовой доли белка в субстрате. Константа Михаэлиса для Alcalase 2,4 выше на 67 %, чем для Distizym Protacid ($16,7 \times 10^{-7}$ моль/дм³ и $10,0 \times 10^{-7}$ моль/дм³, соответственно), поэтому далее установлены дозировка Alcalase 2,4 (1,0 %/г белка) и продолжительность реакции с ним (2 ч) для повышения растворимости – до $60 \pm 1,3$ %.

Дальнейшее повышение растворимости белков обеспечено УЗ воздействием на мучную суспензию при 3-х минутах обработки и амплитуде волны 10 мкм. Растворимость истинных белков при этом повышалась на $19,42 \pm 0,9$ %, общих – на $20,16 \pm 1,3$ %. Итоговая растворимость составила $84 \pm 1,0$ %.

Изоэлектрическая точка (pH_i) белков определена по коэффициенту светопропускания (T , %) сыворотки, остающейся после их осаждения из

раствора, при D_{650} нм. Значение pH_1 гороховых белков – 4,0–4,2 при коэффициенте светопропускания – 92,8–96,3 %, степень осаждения белков – 42 ± 2 %. Процесс осаждения белков из растворов мог зависеть от величины молекулярных масс (ММ), поэтому для повышения степени осаждения анализировали ММ белков по стадиям обработки и после осаждения в изоэлектрической точке (pH 4,2) в сыворотке. В её состав входили компоненты с ММ 10–19 кДа, которые после воздействия на них меркаптоэтанола имели те же ММ, что свидетельствовало о наличии в ней одноцепочечных трудноосаждаемых полипептидов.

После осаждения белков из раствора в сыворотке оставалось 37–44 % низкомолекулярных белков. Для повышения степени осаждения белков использовали кальциевые соли лимонной и молочной кислоты, учитывая, что последние могут адсорбироваться на белках, либо образовывать с ними ионные связи при участии групп $-COOH$, $-OH$ и кальция. С цитратом кальция при дозировках 0,5–5,0 % к массе раствора количество белка в сыворотке и в составе препарата оставалось таким же, как и в контроле. С 1 %-ным лактатом кальция белка выпадало на 38,2 % больше, чем в контроле, общий выход достигал 64,95 %, от содержания в сырье. При концентрации выше 2 % выход белков уменьшался, вероятно, из-за их перезарядки и растворения.

Добавление мТГ к раствору с содержанием СВ $3,0 \pm 0,2$ % увеличивало количество белков в осадке на 7,2–27,9 %. Наибольшее увеличение наблюдалось при концентрации ФП 14,88 ед./г СВ до их выхода 60,11 %. Предполагая, что ионы Ca^{2+} могли выступать в роли активаторов мТГ, установили, что при совместном использовании 1 % лактата кальция и 4,29 ед./г СВ мТГ выход белка из раствора повышался на 30 %, по сравнению с лактатом кальция. В итоге, к 40–47 % осажденного белка с лактатом кальция добавилось 17,95 %, а с 1 %-ным лактатом и 4,29 ед./г СВ мТГ – 37,44 % до 71,86–84,44 % от общего количества белка в сырье.

Химический состав, органолептические и функциональные свойства БК определены в сравнении с гороховыми изолятами иностранных фирм и БК, полученных с использованием 0,05 н NaOH (pH 11). По массовой доле белка (74,40–86,07 % на СВ) продукты без горохового запаха и привкуса отнесены к группе «Концентраты».

БК, полученные из двух партий муки сорта гороха «Ямал», имели разный цвет: из муки урожая зерна 2018 г – темно-коричневый, урожая 2021 г – кремовый. Концентраты из гороховой муки, как и нутовой, выделенные с раствором щелочи, имели более темный цвет, по сравнению с БК, полученных биокатализом. Коммерческие гороховые изоляты также имели

более темный цвет, чем БК, полученный с ФП из гороховой муки 2021 года, но более светлый, чем БК из муки 2018 года, который имел темно-коричневый цвет, что могло бы ограничить сферы его применения. Установлено, что разница в окраске БК была взаимосвязана с окислительными реакциями фенолокарбоновых кислот и их производных (ФККиП). Массовая доля ФККиП, выраженная в мг/г белка, высоко коррелировала с цветом БК. Чем меньше в муке содержалось ФККиП, тем меньше их обнаружено в кремовом концентрате БК-2. В БК-2 и БК с лактатом Са и мТГ кремового цвета из муки 2, которая содержала в 5,6 раза меньше ФККиП, по сравнению с мукой 1, количество ФККиП также в 5,4 раза содержалось меньше, чем в темно-коричневом БК-1 (Таблица 1).

Таблица 1 – Массовая доля ФККиП в муке и белковых концентратах

| Мука, концентраты | Цвет продукта | D ₅₉₀ нм | Белок, % на СВ | ФККиП, мг/г белка |
|--|-------------------|---------------------|----------------|-------------------|
| Гороховая мука и концентраты | | | | |
| Мука - 1 | светло-желтый | 0,390 | 20,38±0,81 | 56,00±0,2 |
| Обработка ФП+осаждение в рН ₁ – 1 | темно-коричневый | 0,080 | 71,78±0,53 | 15,05±0,31 |
| Мука - 2 | светло-желтый | 0,080 | 20,20±0,69 | 9,89±0,14 |
| Обработка ФП+осаждение в рН ₁ – 2 | кремовый | 0,040 | 72,80±0,63 | 2,78±0,24 |
| Обработка ФП+осаждение в рН ₁ с лактатом Са и мТГ | кремовый | 0,040 | 86,07±0,19 | 1,28±0,28 |
| Обработка 0,05 н NaOH | темно-желтый | 0,075 | 84,28±0,54 | 13,1±0,22 |
| Коммерческие гороховые «изоляты» | | | | |
| Roquette Nutralys S85F | светло-коричневый | 0,115 | 77,58±0,22 | 14,3±0,46 |
| Cosucra Pisane C9 | светло-коричневый | 0,105 | 78,23±2,05 | 13,9±0,22 |

Гороховый БК, как и нутовый, полученный с 0,05 н NaOH из тех же сортов муки, имел более темный цвет, по сравнению с БК, полученным с ФП. Оптическая плотность их водных растворов при D₅₉₀ нм была выше, как и содержание ФККиП. Коэффициент корреляции плотности раствора с содержанием ФККиП мг/г белка (r) равнялся 0,897. В щелочной среде могли протекать процессы с образованием темноокрашенных комплексов хинонов. Коммерческие гороховые «изоляты» также имели более темный цвет и большую оптическую плотность, что указывало на повышенное содержание в них ФККиП.

Значения аминокислотного сора для незаменимых аминокислот составили 100 % и выше. С поправкой на усвояемость белка (PDCAAS) (88 %) показатель биологической ценности у горохового БК – 96 %, у нутового – 76 %. В БК, по сравнению с мукой, содержалось больше Na, Са, Fe, К, Mg, тяжелых металлов – в пределах нормы. Активность уреазы,

коррелирующая с содержанием ингибиторов протеаз, в гороховых БК равнялась 0–0,01 ед. рН, что указывало на их безопасность.

Для определения сферы применения БК определены функционально-технологические свойства (ФТС) 3-х продуктов, в сравнении с коммерческими «изолятами» (Таблица 2). ВСС была выше у светлого БК на 12,5–14,3 %, по сравнению с темным БК и концентратом, полученным с лактатом кальция. Темный БК и коммерческие изоляты, с повышенным содержанием ФККиП, имели более высокую ПОС. Учитывая, что ФТС БК могли зависеть от особенностей структуры белков, методом кругового дихроизма определили элементы вторичной структуры и их взаимосвязь с ФТС.

Таблица 2 – Функционально-технологические свойства концентратов

| Образец | ВСС, г/г | ПОС, % | СП, % | ЖСС, г/г | ЖЭС, % | СЭ, % | Р, % | ФККиП, мг/г белка |
|----------------------------------|-------------|-----------|----------|-------------|-----------|----------|------|----------------------|
| Гороховые концентраты | | | | | | | | |
| БК (темный) | 2,44±0,03 | 91±1 | 10±1 | 2,25±0,03 | 56±3 | 51±3 | 13±1 | 15,05±0,71 |
| БК (светлый) | 2,79±0,04 | 48±1 | 35±1 | 2,24±0,01 | 52±2 | 53±3 | 11±1 | 2,78±0,24 |
| БК + лактат Са и мТГ (светлый) | 2,48±0,03 | 63±1 | 45±1 | 2,14±0,08 | 56±2 | 57±1 | 14±1 | 1,28±0,28 |
| Коммерческие гороховые «изоляты» | | | | | | | | |
| Roquette Nutralys | 5,47±0,11 | 81±3 | 75±2 | 2,59±0,08 | 52±1 | 51±1 | 30±1 | 14,3±0,46 |
| Cosucra Pisane C9 | 6,16±0,03 | 109±3 | 82±2 | 1,88±0,06 | 48±2 | 47±2 | 20±1 | 13,9±0,22 |

Примечание: ВСС – водосвязывающая способность; ЖСС – жиросвязывающая способность; ПОС – пенообразующая способность; СП – стабильность пены; ЖЭС – жироземльгующая способность; СЭ – стабильность эмульсии; Р – растворимость

Измерения вторичной структуры БК из гороха и нута проводились в растворе 0,05 М уксусной кислоты при 20 °С и концентрации белков от 0,10 до 0,16 мг/см³. В горохом БК содержалось в 7 раз больше регулярной и нерегулярной α -спиралей и в 2 раза больше параллельной β -структуры. В нутовом БК присутствовало в 1,26–6,0 раз больше белков с антипараллельными 3_{10} -спиралями: левозакрученной, правозакрученной и релаксированной. Следовательно, более низкая ПОС и высокая СП горохового БК была обусловлена большим количеством параллельной β -структуры, регулярной и нерегулярной α -спиралями и меньшим количеством ФККиП.

Исследование перевариваемости горохового и нутового БК *in vitro*, в сравнении с яичным альбумином в буферном растворе с пепсином (рН 2,2) и с панкреатином (рН 8,4), показало, что БК подвергались гидролизу интенсивнее в 1,5–1,7 раза (Рисунок 4). Таким образом, обладая надлежащими ФТС и хорошей перевариваемостью, БК можно рекомендовать для производства хлебобулочных, кондитерских, молочных, макаронных и других пищевых изделий.

С целью улучшения ФТС БК осуществляли его ферментативную

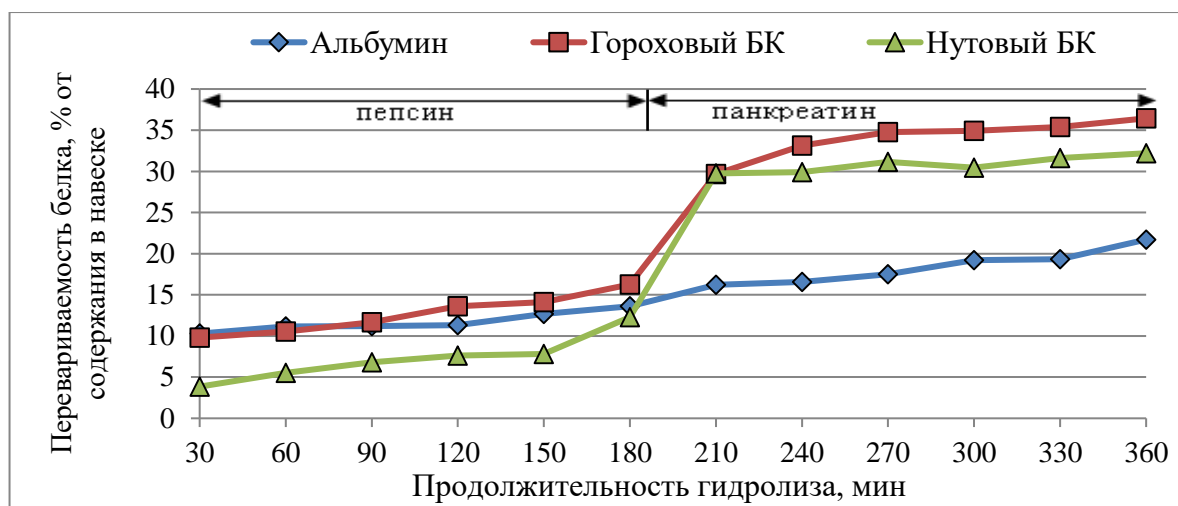


Рисунок 4 – Перевариваемость БК в сравнении с яичным альбумином

модификацию со степенью протеолиза 4 %. После гидролиза в 6 ч на 87 % увеличивалась ПОС, в 2 раза – СП, на 15 % – ЖСС, на 27 % – растворимость.

Для комплексной переработки гороховой муки на БК исследована биоконверсия сыворотки, остающейся после осаждения белков из раствора в изоэлектрической точке. Для исследований отобрали *S. cerevisiae* 121 и *G. candidum* 977 в соотношении 1:1, из которых уже на 2-х сутки роста формировался консорциум. Составлена матрица планирования эксперимента и построены графики зависимости рН субстрата, температуры и количества посевного материала на рост биомассы в течение 4 суток (Рисунок 5). Из решения уравнения вытекали значения факторов для максимального выхода биомассы: рН среды – 6,03, температура – 25,7 °С, количество посевного материала – 4 %. В процессе роста микроорганизмы полностью усваивали глюкозу, ксилозу, арабинозу, галактозу; сумма их в культуральной жидкости снизилась более чем в 10 раз.

Для утилизации нерастворимого крахмал-белкового остатка (НКБО), образующегося после отделения белкового раствора от мучной суспензии, определен химический состав, параметры гидролиза и условия микробной биоконверсии. Гидролиз НКБО выполнен с HCl при гидромодуле 1:8, температуре 95 °С. Наибольшее количество восстанавливающих сахаров и растворимого белка образовалось при рН 1,8. Для биоконверсии к сыворотке вносили НКБО в количестве 2–10 % к ее массе и проводили гидролиз при рН 1,8–2,0, температуре 110–129 °С, давлении 1 атм в течение 25–30 мин. рН суспензии доводили до 6,5–6,7, выдерживали 15–20 мин при температуре 110–120 °С и охлаждали. Добавляли штаммы микроорганизмов в количестве 3–5 % к массе среды и ферментировали 3–4 суток. Высушенные дрожжи представляли собой порошок светло-кремового цвета с приятным запахом. Образец КД-1, полученный из сыворотки, содержал почти на 10 % больше

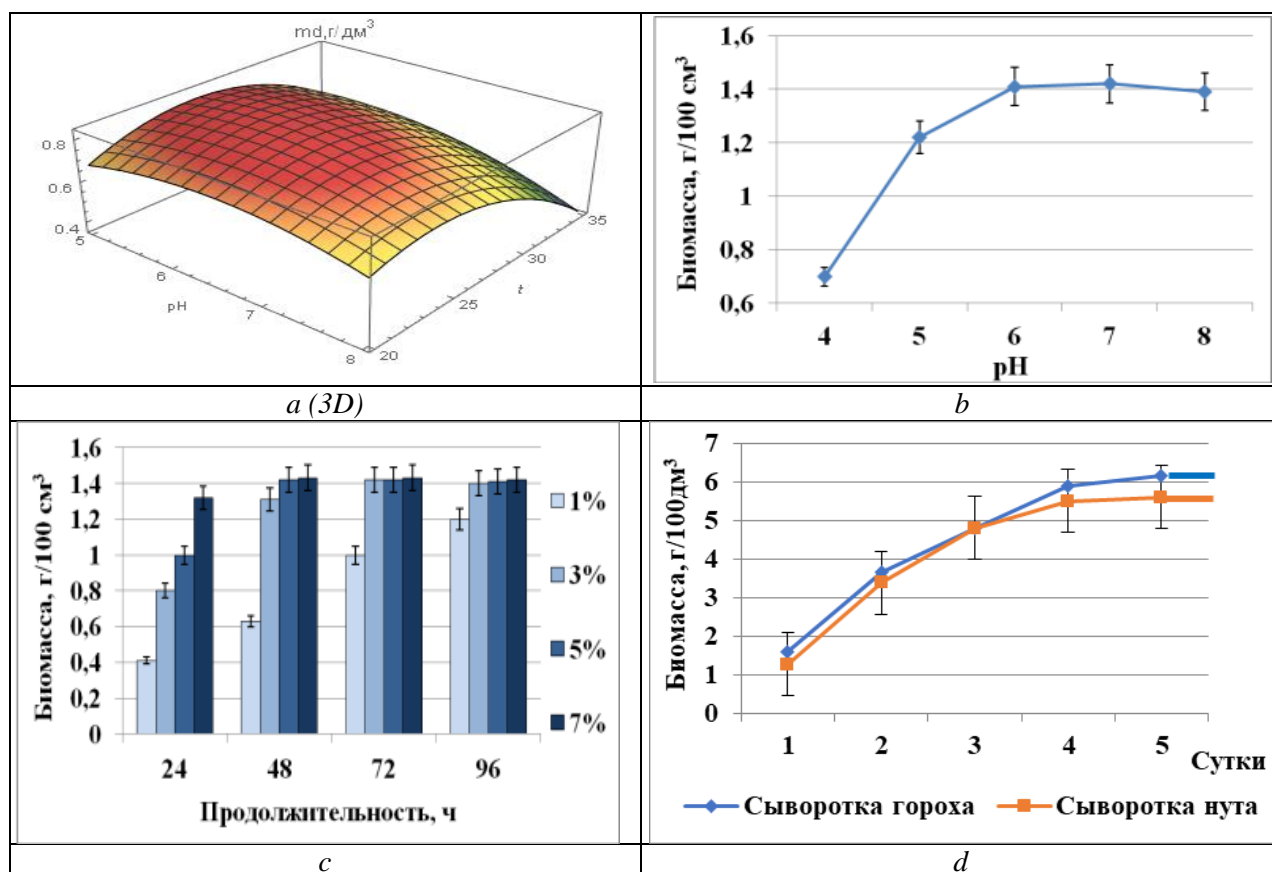


Рисунок 5 – Зависимость массовой доли биомассы от: *a* (3D), *b* – pH и температуры среды; *c* – продолжительности и количества посевного материала; *d* – при оптимальных параметрах роста

белка (61,09 %) и меньше на 41–47 % растворимых и нерастворимых волокон (7,13 и 14,27 %), по сравнению с КД-2, полученным из сыворотки и НКБО, отличающимся меньшим содержанием жира и белка.

Для кормовых дрожжей подтверждена зависимость цвета препаратов от массовой доли ФККиП, обнаруженная для пищевых БК. Гороховый образец КД-1 светло-желтого цвета содержал меньше в 13,7 раза фенольных соединений, чем светло-коричневый КД-2, полученный из сыворотки с НКБО. Высокое содержание в нутовой муке ФККиП также сопровождалось большим их количеством в КД-2 с темно-желтым цветом.

Аминокислотный скор указывал на высокую биологическую ценность КД-1 из сыворотки (107–226 %), из сыворотки с НКБО (КД-2) скор составлял 81–128 %. Жирнокислотный состав КД-2 из ВПП гороховой муки был представлен 19 соединениями, среди которых на долю жирных кислот, входящих и в состав растительных масел и животных жиров, приходилось 90,0 %. Соотношение в КД-2 суммы насыщенных (26,2 %) и ненасыщенных жирных кислот (72,75 %) равнялось 1:3, содержание омега-6 жирных кислот – 20,64 %. Массовая доля транс-изомеров менее 5,0 %.

Минеральный состав КД-2 включал 14 макро- и микроэлементов и, по сравнению с пищевыми БК, дрожжи в 11 раз больше содержали Na, в 7 раз – K, в 9 раз – Ca, в 12 раз – Mg, в 4,5 раза – Zn, но меньше – Fe. Массовая доля нуклеиновых кислот содержалась в КД до 0,072 % к массе продукта. Активность уреазы в КД, как и в БК, практически отсутствовала (0,02–0,03 ед. рН), перевариваемость КД составила 85,73–89,74 %.

Схема комплексной биотехнологической переработки гороховой муки на белковый концентрат и кормовые дрожжи приведена на рисунке 6. Баланс сухих веществ и массовой доли белка по стадиям процесса переработки муки

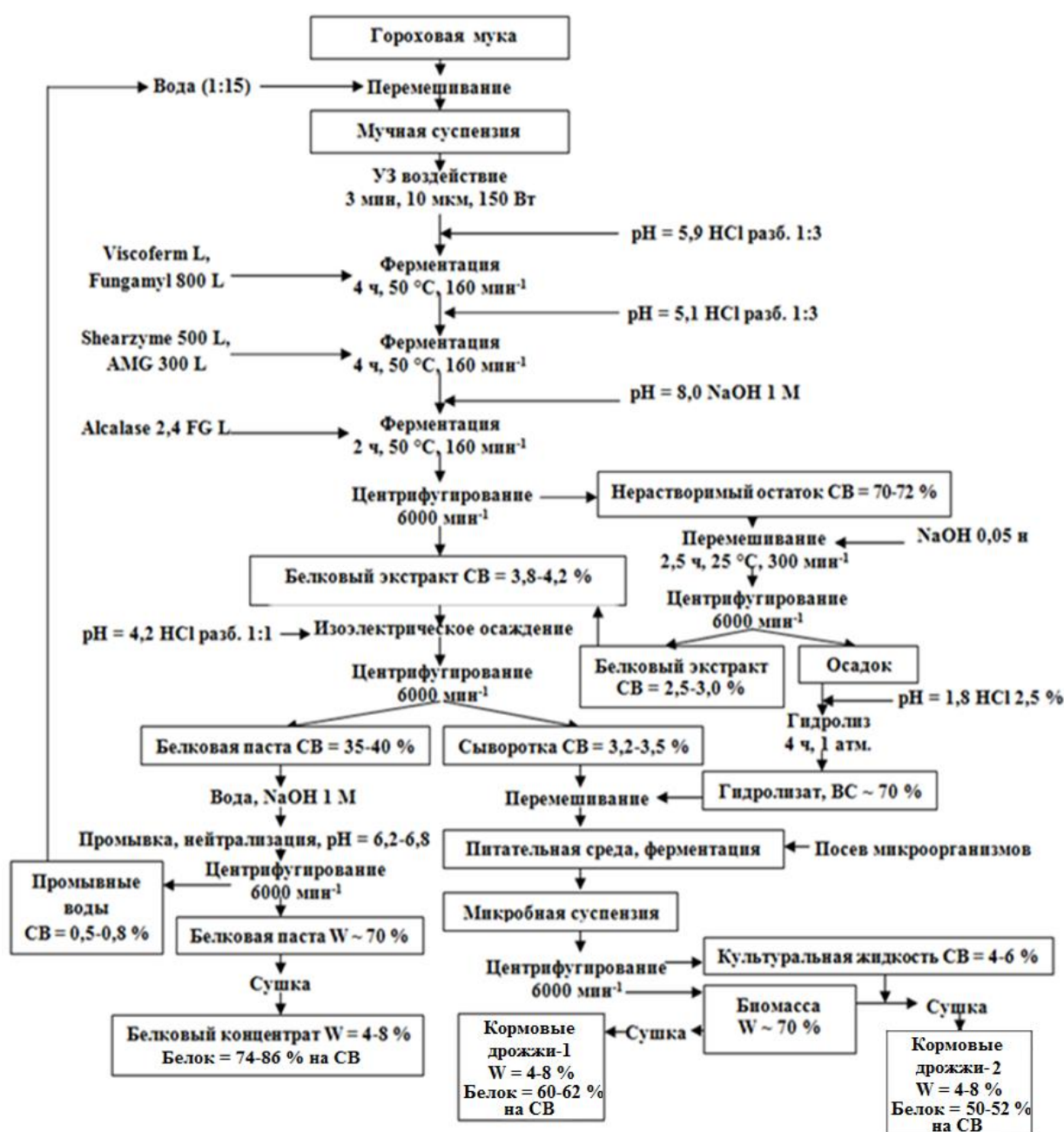


Рисунок 6 – Технологическая схема переработки гороховой муки на пищевой белковый концентрат и кормовые дрожжи

показал, что выход белка после осаждения с лактатом кальция и ФП мТГ – 74,79 %, что выше показателя, известного из практики работы технологий (~ 60 %). С учетом постадийного выхода белков и биоконверсией ВПП в дрожжи общий выход белков составил 98,43 %, который использован при экономическом расчете. Расчет производства 1 т БК и 1,25 т КД из гороховой муки показал, что себестоимость концентрата составила 850 руб/кг, дрожжей – 58,3 руб/кг, чистая прибыль – 211,73 тыс. руб, рентабельность – 22,94 %, окупаемость производства – 6,1 месяцев.

Учитывая ВСС, ЖЭС и химический состав горохового БК разработан новый способ приготовления кисломолочного продукта. Цель – обогащение напитка растительным полноценным белком и минеральными веществами. По органолептическим и физико-химическим показателям продукт отвечал требованиям на момент изготовления и на конец срока годности. Консистенция продукта однородная, вкус – кисломолочный, без постороннего запаха и привкуса. Цвет молочно-белый, равномерный по всей массе. Активная кислотность, рН – 4,92. Микробиологические показатели: КМАФАнМ, КОЕ/см³ не менее 3×10^7 , плесени и дрожжи – отсутствовали. Срок годности – 7 суток. На конец хранения - рН 5,03, КМАФАнМ, КОЕ/см³ – $7 \times 10^7 \pm 2 \times 10^7$, плесени и дрожжи не обнаружены.

Напиток содержал на 87 % больше полноценного белка, в 2,5 раза – биологически эффективного жира с ω -6 жирной кислотой, Са – на 12 %, К – на 14 %, Zn – в 1,5 раза, Cu – в 4 раза и почти в 112 раз больше Fe, по сравнению с контролем (ГОСТ 32981-2013). При употреблении 100 г продукта суточная потребность в Fe будет покрываться на 63–100 %. Кисломолочный напиток может быть рекомендован для функционального питания, лицам с ослабленным здоровьем и анемией.

Безопасность дрожжей определена при кормлении крыс. Введение КД-2 в количестве 5 % в состав комбикорма не изменило его цвет, запах, однородность. Использование дрожжей в течение 25 суток не выявило различия во внешнем виде крыс контрольной и опытной групп, состоянии их кожных покровов, шерсти, глаз, поведении, микробиоценозе фекалий. Общая бактериальная обсемененность, БГКП и МКБ в составе фекалий обеих групп была идентичной.

При кормлении цыплят-бройлеров кросса «Росс 308» с заменой в опытных рационах 5 % соевого шрота на КД-2 в комбикормах ПК 5-1, ПК 5-2, ПК 6 через 35 кормления установлена разница по живой массе 112,9 г (5,53 %) по отношению к контролю. За счет большей массы и снижения затрат корма на единицу продукции в опытной группе ЕАЭ был выше на 33,15 ед. и составил 402,28 ед. Масса грудных мышц превышала контроль на

44,5 г (7,15 %), выход тушек I сорта в опытной группе составил 68,4 %, что на 3,7 выше контрольных. Установлена тенденция к уменьшению относительной массы органов пищеварения, что подтвердило безопасность добавки для пищеварения бройлеров. Анализ мясной продуктивности позволил положительно оценить влияние КД-2 на показатели и рекомендовать их для кормления цыплят-бройлеров.

С учетом положительных результатов применения БК для кисломолочного продукта и КД-2 для кормления цыплят-бройлеров, разработаны: «Технологическая инструкция по производству концентрата белкового горохового пищевого и дрожжей кормовых из зернобобового сырья» – ТИ 00334735-129-2022; Технические условия «Концентрат белковый гороховый пищевой» – ТУ 10.89.19-166-00334735-2022; Технические условия «Дрожжи кормовые из зернобобового сырья» – ТУ 10.91.10-167-00334735-2022.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана комплексная биотехнология БК и КД из ВПП нативной гороховой муки с карбогидразами (Viscoferm L, Shearzym 500 L, Fungamyl 800 L, AMG 300 L 2500) и протеазой Alcalase 2,4 L FG, без применения щелочи, с итоговым выходом белков до 98,43 %.

1. Для разработки биотехнологии БК научно обосновано использование нативной гороховой муки без применения растворов щелочи: мука, по данным фракционного состава, содержала в своем составе 83,03 % водо-, солерастворимых фракций белков, что позволило обеспечить их общий выход не менее 60 %.

2. Разработан способ получения БК с ФП различного действия:

- создана математическая модель взаимосвязи растворимости белков при участии карбогидраз с технологическими факторами; выявлены оптимальные параметры (гидромодуль мука:вода 1:10÷1:15, концентрация ФП 1,0–1,5 %/г белка, рН 5,0–7,5, экстракция 2–4 ч), увеличивающие растворимость белков до 60,0±1,3 %. УЗ обработка повышала растворимость до 84,0±1,0 %.

- совместное использование 1 %-ного лактата Са и мТГ при осаждении белков в изоэлектрической точке увеличивало их выход до 71,86–84,44 %.

Концентрат содержал 74,40–86,07 % на СВ белков с аминокислотным скором 109–212 %, минеральные вещества (железо, кальций и др.), липиды, углеводы. Перевариваемость концентрата *in vitro* выше в 1,5–1,7 раза, чем у альбумина. Активность уреазы – 0–0,01 ед. БК обладал основными ФТС, без горохового запаха и привкуса. Выявлена корреляционная взаимосвязь ФТС с

элементами вторичной структуры белков, количеством ФККиП и цветом концентратов. Пониженная ПОС светлых БК, но высокая их СП, обусловлена большим количеством параллельных α -спиралей, β -структуры и меньшим содержанием антипараллельных 3_{10} -спиралей. По оптической плотности (D_{560}) водных растворов муки и содержанию в ней ФККиП рекомендуется определять цвет БК и их ФТС ($r = 0,897$).

3. Разработан способ биоконверсии сыворотки и НКБО в кормовые дрожжи с ассоциацией культур *S. cerevisiae* и *G. candidum* 977 (1:1) с массовой долей белка в них 51,09–61,68 %:

- создана математическая модель зависимости роста биомассы на сыворотке от технологических факторов с усвоением глюкозы, ксилозы, арабинозы, галактозы, фруктозы; определены его оптимальные параметры (рН 6,0–6,5, температура 25–28 °С, количество посевного материала 3–4 %.

- установлены параметры гидролиза НКБО и условия его совместной микробной биоконверсии с сывороткой (2–10 % НКБО, рН 1,8–2,0, температура 110–129 °С, 25–30 мин, давление 1 атм.). При этом усваивались стахиоза, мальтоза, сахароза, арабиноза, глюкоза, фруктоза, галактоза, ксилоза. Кормовые дрожжи содержали 51,09–61,68 % белка, 2–8 % липидов, 8–9 % – зольность. Аминокислотный скор – 90–247 %, соотношение насыщенных и ненасыщенных жирных кислот 1:3, омега-6 жирные кислоты – 19,73 %, транс-изомеры – до 5,0 %, минеральные элементы Na, K, Ca, Mg, Zn и др. Массовая доля нуклеиновых кислот – 0,005–0,072 %, перевариваемость – 85,73–89,74 %.

4. Разработан способ приготовления кисломолочного напитка продукта с гороховым БК. Продукт обогащен белком, кальцием, калием, цинком, медью и железом. Создан рецепт комбикорма с КД-2 для цыплят-бройлеров. Замена соевого шрота (5 %) на КД-2 повышала привес бройлеров и качественные показатели мяса. Соотношение жир:белок в нем снизилось на 20,8 %.

5. Процессы апробированы в условиях ООО «Биопрогресс», ЦКП «ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН и НВЦ «Новые биотехнологии». Расчет производства 1 т БК и 1,25 т КД из гороховой муки показал, что себестоимость концентрата – 850 руб/кг, дрожжей – 58,3 руб/кг, чистая прибыль – 211,73 тыс. руб, рентабельность – 22,9 %.

6. Разработана нормативная документация: ТИ 00334735-129-2022 «Технологическая инструкция по производству концентрата белкового горохового пищевого и дрожжей кормовых из зернобобового сырья», ТУ 10.89.19-166-00334735-2022 «Концентрат белковый гороховый пищевой», ТУ 10.91.10-167-00334735-2022 «Дрожжи кормовые из зернобобового сырья».

Список основных работ, опубликованных по материалам диссертации
Статьи в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных журналов ВАК РФ

1. **Куликов, Д. С.** Биокаталический и биосинтетический способы получения белковых концентратов из гороха и нута / **Д. С. Куликов**, М. А. Арюзина // Пищевые системы. – 2021. – Т. 4. – № 3S. – С. 160-167. DOI: 10.21323/2618-9771-2021-4-3S-160-167

2. **Куликов, Д. С.** Биотехнологические процессы получения белковых продуктов из зерна нута с высокой биологической ценностью / **Д. С. Куликов**, В. А. Гулакова, В. В. Колпакова, Р. В. Уланова // Пищевая промышленность. – 2021. – № 9. – С. 38-40.

3. Горлов, И. Ф. Новый кормовой микробно-растительный концентрат в комбикормах для цыплят-бройлеров кросса "РОСС 308" / И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина, З. Б. Комарова, Е. Н. Тарасов, М. В. Фролова, В. В. Колпакова, **Д. С. Куликов**, В. А. Гулакова, Р. В. Уланова // Птица и птицепродукты. – 2021. – № 6. – С. 21-24. DOI: 10.30975/2073-4999-2021-23-6-21-24

4. Уланова, Р. В. Аминокислотный состав белковых концентратов из вторичных продуктов пищевых производств и альтернативного сырья / Р. В. Уланова, В. В. Колпакова, **Д. С. Куликов**, Е. Г. Евлагина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2020. – № 4. – С. 89-103. DOI: 10.36107/spfr.2020.330

5. Колпакова, В. В. Микробная утилизация вторичных продуктов производства зерновых белковых композитов и рутин / В. В. Колпакова, Р. В. Уланова, **Д. С. Куликов**, В. А. Гулакова, Ш. И. Хакимова // Все о мясе. – 2020. – № 5S. – С. 137-144. DOI: 10.21323/2071-2499-2020-5S-137-144

6. **Куликов, Д. С.** Получение белковых концентратов и кормовой микробной биомассы из экстракта тритикале и гороховой муки с использованием ферментов / **Д. С. Куликов**, В. А. Гулакова, В. В. Колпакова, Р. В. Уланова // Пищевая промышленность. – 2019. – № 4. – С. 49-51.

7. Колпакова, В. В. Зерновые композиты с комплементарным аминокислотным составом для пищевых и кормовых целей / В. В. Колпакова, Р. В. Уланова, **Д. С. Куликов**, В. А. Гулакова, А. Т. Кадиева // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49. – № 2. – С. 301–311. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-2-301-311

8. Андреев, Н. Р. Современные тенденции развития технологии крахмала и крахмалопродуктов / Н. Р. Андреев, **Д. С. Куликов** // Пищевая промышленность. – 2018. – № 10. – С. 26-30.

Статьи в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science

9. Уланова, Р. В. Химический состав биопрепаратов, полученных биоконверсией гороховой и нутовой сыворотки / Р. В. Уланова, В. В. Колпакова, Д. С. Куликов, В. А. Гулакова, Л. В. Васильева, Ю. Ю. Берестовская, А. А. Ашихмин // Химия растительного сырья. – 2023. – № 2. – С. 279-288. DOI: 10.14258/jcprm.20230211966

10. Kolpakova, V. Comparative characteristics of quality indicators of food and feed protein concentrates from leguminous crops / V. Kolpakova, R. Ulanova, **D. Kulikov**, V. Bessonov // In: Beskopylny, A., Shamtsyan, M., Artiukh, V. (eds) XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022” Lecture Notes in Networks and Systems, V. 575, pp. 1255–1266, Springer, Cham., 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-21219-2_141

11. Колпакова, В. В. Физико-химические показатели гороховых и нутовых пищевых и кормовых белковых концентратов / В. В. Колпакова, Р. В. Уланова, Д. С. Куликов, В. А. Гулакова, Г. В. Семёнов, Л. В. Шевякова // Техника и технология пищевых производств. – 2022, № 4, С. 649–664. DOI: 10.21519/0234-2758-2020-36-4-49-58

12. Колпакова, В. В. Использование экологически безопасного микромицета рода *Rhodotorula* для получения кормового каротинсодержащего концентрата / В. В. Колпакова, Р. В. Уланова, Д. С. Куликов, В. А. Гулакова, Л. В. Васильева, Ю. Ю. Берестовская, Е. Г. Черемных, А. А. Ашихмин // Юг России: экология, развитие. – 2022. – Т. 17. – № 4 (65). – С. 61-78. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-61-78

13. Kolpakova, V. Comparative characteristics of quality indicators of food and feed protein concentrates from leguminous crops / V. Kolpakova, R. Ulanova, **D. Kulikov**, V. Bessonov, L. Chumikina // BIO Web of Conferences, 52, 00007 FIES. – 2022. DOI: 10.1051/bioconf/2022520000 07

14. Колпакова, В. В. Пищевые и кормовые белковые препараты из гороха и нута: производство, свойства, применение / В. В. Колпакова, Д. С. Куликов, Р. В. Уланова, Л. В. Чумикина // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51. – № 2. – С. 333-348. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-2-333-348

15. Ulanova, R. V. Ecological approach to the use of secondary products of pea flour and rice grain processing into protein concentrates and phytin / R. V. Ulanova, **D. S. Kulikov**, V. A. Gulakova, A. G. Ahremko, M. I. Slozhenkina, V. V. Kolpakova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering. Krasnoyarsk, Russian Federation. – 2021. – Article number: 12106. DOI: 10.1088/1755-1315/848/1/012106

16. Kolpakova, V. V. Technological solutions and prospects for obtaining protein preparations and composites from legumes / V. V. Kolpakova, **D. S. Kulikov**, R. V. Ulanova, I. S. Gaivoronskaya, L. V. Chumikina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 659. – Article number: 012139. DOI: 10.1088/1755-1315/659/1/012139

17. **Куликов, Д. С.** Биологическая переработка зерна гороха и вторичного сырья крахмального производства с получением пищевых и кормовых белковых концентратов / **Д. С. Куликов**, В. В. Колпакова, Р. В. Уланова, Л. В. Чумикина, В. В. Бессонов // Биотехнология. – 2020. – Т. 36. – № 4. – С. 49-58. DOI: 10.21519/0234-2758-2020-36-4-49-58

18. Kolpakova, V. V. Modification of secondary products of processing triticale into starch with a new strain of the fungus *Geotrichium candidum* / V. V. Kolpakova, R. V. Ulanova, **D. S. Kulikov**, V. A. Gulakova, N. D. Lukin // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 224. – Article number: 04032. DOI: 10.1051/e3sconf/202022404033

19. **Kulikov, D. S.** Biotechnological process for producing protein products from chickpeas with a high biological value / **D. S. Kulikov**, V. V. Kolpakova, M. I. Slozhenkina, R. V. Ulanova, L. V. Chumikina // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. Sofia, Bulgaria. – 2020. – P. 175-182. DOI: 10.5593/sgem2020/6.1/s25.023

Патенты на изобретения

20. Патент RU № 2791226 Способ получения кормового концентрата. В.В. Колпакова, Р.В. Уланова, **Д.С. Куликов**, В.А. Гулакова.

Статьи в сборниках научных трудов, материалов конференций

21. Колпакова В.В., Уланова Р.В., **Куликов Д.С.**, Гулакова В.А. Биоконверсия вторичных продуктов переработки гороха с получением кормовых белковых концентратов. / В сборнике: Основные направления развития технологии глубокой переработки крахмалсодержащего и инулинсодержащего сырья. – 2022. – С. 91-99.

22. Колпакова В.В., Уланова Р.В., **Куликов Д.С.**, Гулакова В.А., Биотрансформация компонентов зерна гороха в пищевые и кормовые белковые препараты. / Сб. материалов VII международной научной конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки» Симферополь, 5-9 октября 2022 г. / науч. ред. В. С. Паштецкий. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2022. – С.159-161.

23. **Kulikov, D.** Comprehensive biotechnological approach to processing of pea flour for food and fodder purposes / **D. Kulikov**, R. Ulanova, V. Kolpakova //

GEOLINKS International Conference on geosciences. Conference proceedings. – 2021. – Book 1. – P. 65-73. DOI: 10.32008/GEOLINKS2021/B1/V3/06

24. **Куликов, Д. С.** Биотехнологические процессы переработки зерна гороха с получением концентрированных белковых препаратов / **Д. С. Куликов, В. В. Колпакова, В. А. Гулакова, Р. В. Уланова, Л. В. Чумикина** // «Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки». Материалы V международной научно-практической конференции. Научный редактор В.С. Паштецкий. – 2020. – С. 181-183. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-5-9-10-92

25. **Куликов, Д. С.** Биотрансформация компонентов зерна гороха в пищевые и кормовые белковые концентраты / **Д. С. Куликов, Р. В. Уланова, В. А. Гулакова, В. В. Колпакова** // «Биотехнология: состояние и перспективы развития». Материалы международного форума. Москва. – 2020. – С. 409-411.

26. Kolpakova, V. V. Bioconversion of cereal serum - a secondary product for producing protein concentrates from pea and chick peas / V. V. Kolpakova, **D. S. Kulikov**, R. V. Ulanova, N. D. Lukin, I. S. Gaivoronskaya // GEOLINKS International Conference on geosciences. Conference proceedings. 23-25 march, Imperial Hotel, Plovdiv, Bulgaria. – 2020. – Book 1. – Vol. 2. – P. 59-68. DOI: 10.32008/GEOLINKS2020/B1/V2/06

27. **Куликов, Д. С.** Энзиматический способ выделения белковых двухкомпонентных концентратов из экстракта тритикале и гороховой муки / **Д. С. Куликов, В. В. Колпакова, Р. В. Уланова, В. А. Гулакова** // В сборнике: Инновационные технологии обработки и хранения сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов. Сборник научных трудов ученых и специалистов к 90-летию ВНИХИ. Москва. – 2020. – С. 229-236.

28. **Куликов, Д. С.** Белковые концентраты из вторичных продуктов переработки зерновых и бобовых культур на крахмал / **Д. С. Куликов, Р. В. Уланова, В. А. Гулакова, В. В. Колпакова** // Сборник научных трудов XIII МНПК молодых ученых и специалистов организаций в сфере сельскохозяйственных наук / ВНИИМС – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН. – 2019. – С. 181-184.

29. Колпакова, В. В. Биотехнологические процессы переработки вторичных продуктов производства крахмала с получением пищевых и кормовых белковых концентратов / В. В. Колпакова, Р. В. Уланова, **Д. С. Куликов, В. А. Гулакова, Л. В. Чумикина** // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки. Материалы IV

международной научно-практической конференции. Научный редактор В.С. Паштецкий. – 2019. – С. 346-348. DOI: 10.33952/09.09.2019.175

30. Kolpakova, V. Obtaining protein concentrates from triticale extract and pea flour with application of enzymes / V. Kolpakova, **D. Kulikov**, R. Ulanova, I. Kravchenko // GEOLINKS International Conference on geosciences. Conference proceedings. 26-29 march, Novotel, Athens, Greece. – 2019. – Book 2. – Vol. 1. – P. 17-24. DOI: 10.32008/GEOLINKS2019/B2/V1/02

31. **Куликов, Д. С.** Двухкомпонентные белковые композиты из вторичных продуктов переработки зерна тритикале и гороховой муки / **Д. С. Куликов**, В. А. Гулакова, В. В. Колпакова // Биотехнология: состояние и перспективы развития. Материалы международного конгресса. – 2019. – С. 523-525.

Сокращения

СВ – сухие вещества, БК – белковый концентрат, ФП – ферментный препарат, КД – кормовые дрожжи, ВПП – вторичные продукты переработки, мТГ – микробная трансглютаминаза, ФККиП – Фенолокарбоновые кислоты и их производные, ФТС – функционально-технологические свойства, ММ – молекулярная масса, ВСС – водосвязывающая способность, ЖСС – жиросвязывающая способность, ЖЭС – жирозэмульгирующая способность, СЭ – стабильность эмульсии, ПОС – пенообразующая способность, СП – стабильность пены, УЗВ – ультразвуковое воздействие, НКБО – нерастворимый крахмало-белковый остаток, ЕИЭ – европейский индекс эффективности.

SUMMARY

In this dissertation work, the biotechnology of pea flour has been developed using enzyme preparations, without alkali solutions, with bioconversion of secondary products of processing into biologically complete safe protein concentrates and fodder yeast. The parameters of solubility and sedimentation of proteins were determined with their yield up to 84.44%. The parameters of hydrolysis of the insoluble residue and bioconversion of the residue and serum for the yield of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* 121 and the fungus *Geotrichum candidum* 977 with a mass fraction of protein in preparations of 51.43-61.68% were revealed. Feed yeast derived from whey (FY-1) and whey with insoluble residue (FY-2) differed in terms of mass fraction of fat, soluble and insoluble fibers, minerals and fatty acids.