

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ «ВИТУМИН» ПУТЕМ ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ ФРУКТОВОГО СЫРЬЯ



В. А. Карлов, студент 2-го курса магистратуры
E-mail: vaden1410@gmail.com
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

О. Я. Мезенова, д-р техн. наук, профессор
E-mail: mezenova@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Обосновано совершенствование технологии функциональной пищевой добавки «ВИТУМИН» на основе ферментолитического расщепления фруктов пониженного качества. Выявлен дисбаланс минерального состава добавки, обусловленный высоким содержанием натрия и недостаточным высвобождением калия, магния и кальция из растительного сырья. Лимитирующими факторами являются полисахаридные комплексы клеточных стенок и полифенольные соединения. Апробирован метод деминерализации сырья с использованием 5%-го раствора лимонной кислоты (рН 2,0) при температуре 49 ± 2 °С в течение 1 ч. Предложена замена при ферментолитическом расщеплении буферного агента карбоната натрия на карбонат аммония для исключения натриевой нагрузки. Усовершенствованная технология позволила снизить массовый выход твердой фракции ферментолитического расщепления фруктов на 65,8 %, увеличить выход жидкой фазы на 39,2 %, повысить содержание в ней сухих веществ на 15,9 % и сахаров на 17,6 %, улучшить органолептические показатели добавки «ВИТУМИН».

Ключевые слова: функциональная пищевая добавка, деминерализация, лимонная кислота, фруктовое сырье, минеральные вещества, ферментативный гидролиз.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из актуальных направлений современной биотехнологии является создание и развитие комплексных технологий переработки вторичного сырья. Данное направление особенно актуально для пищевой промышленности, где ежегодно наблюдается устойчивый рост объема отходов растительного происхождения – фруктов, овощей, трав и т. д. [1, 2].

Среди вторичного растительного сырья наибольшую долю составляют фрукты, что обусловлено особенностями их химического состава – высоким содержанием преимущественно простых сахаров, активной эндогенной ферментной системы, а также свободной влаги ($a_w = 0,95 \dots 0,99$). Все это приводит к быстрой порче подобного сырья даже при незначительном нарушении условий хранения, транспортировки или переработки.

Однако переработка фруктов пониженного качества (ФПК) сопряжена с рядом технологических сложностей: высокая вариабельность сырья в пределах одного сорта и вида, неоднородность химического состава и сложность деструкции основных биополимеров – полисахаридов (пектина, целлюлозы, гемицеллюлозы, крахмала). Эти полисахариды, являясь структурными соединениями, формируют клеточные стенки и прочно удерживают биологически активные вещества (БАВ), что усложняет их извлечение в целевой продукт.

Ранее нами была предложена технология комплексной переработки фруктов с дефектами внешнего вида (рисунок 1), включающая двухстадийную обработку гомогенизированной биомассы фруктов специфическими карбогидразами [3].

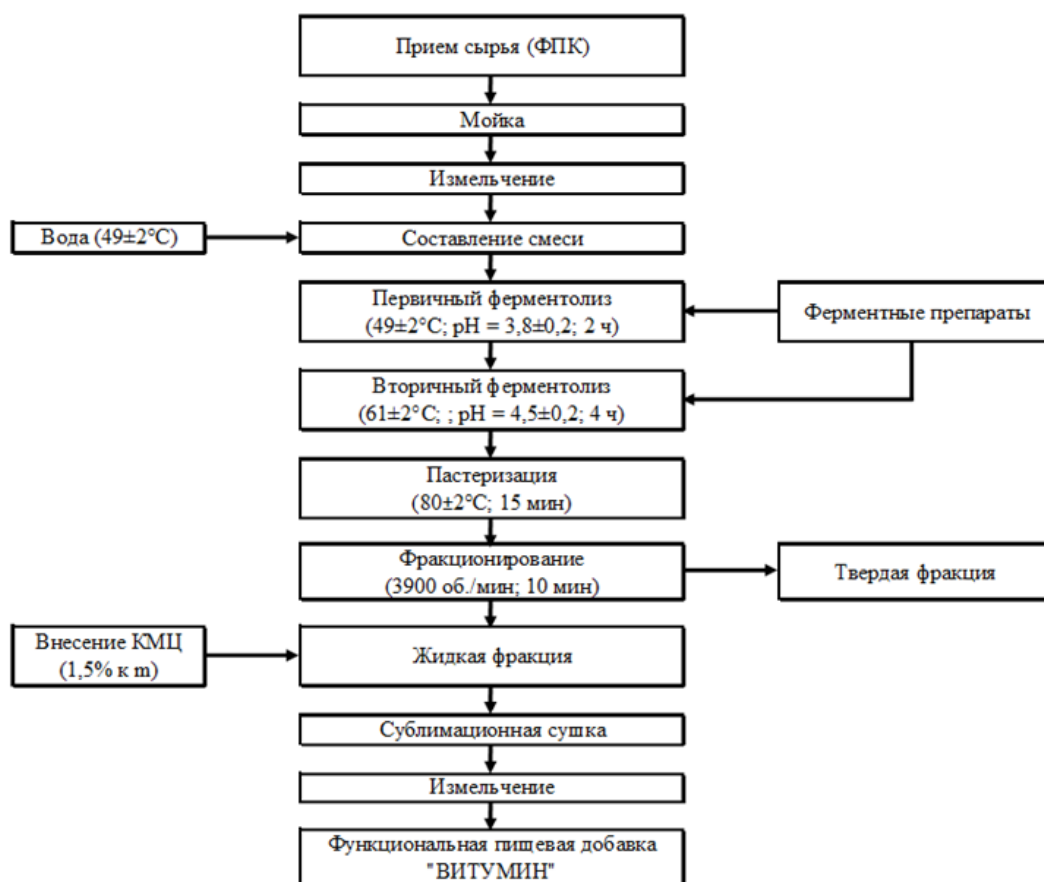


Рисунок 1 – Технологическая схема получения функциональной пищевой фруктовой добавки серии «ВИТУМИН» [3], где КМЦ – карбоксиметилцеллюлоза (антиадгезионный агент)

При апробации разработанной технологии и анализе витаминно-минерального состава полученной готовой продукции был выявлен низкий выход минеральных веществ при завышенном содержании натрия, то есть натриево-калиевый дисбаланс (таблица 1).

Таблица 1 – Экспериментальный витаминно-минеральный состав фруктовой функциональной пищевой добавки серии «ВИТУМИН», полученный по базовой технологии

Название	Единицы измерения	Содержание	Доля от рекомендуемой суточной нормы, %
Витамины			
Витамин В1	мг	3,13	125,2
Витамин В2	мг	1,97	108,9
Витамин В3	мг	6,01	18,5
Витамин В6	мг	5,31	66,4
Витамин С	мг	60,79	67,5
Минеральные вещества			
Натрий	мг	2163,3	48,1
Калий	мг	814,36	17,1
Кальций	мг	190,69	14,1
Магний	мг	55,68	10,1
Фосфор	мг	53,21	4,4
Железо	мг	3,55	20,3

Как следует из представленной таблицы, содержание натрия (2163,3 мг) практически в 3 раза превышает содержание калия (814,36 мг) при физиологически рекомендуемом соотношении 1:1. Подобный минеральный профиль при регулярном употреблении может создавать избыточную нагрузку на сердечно-сосудистую систему и способствовать задержке жидкости в организме. При этом содержание ключевых электролитов (калия, магния и кальция) остается недостаточным для полноценного покрытия суточных потребностей при интенсивных физических нагрузках.

Выявленный дисбаланс имеет технологическую обусловленность: избыток натрия является следствием использования карбоната натрия при ферментализации для корректировки pH, а недостаточное высвобождение калия, магния, кальция и фосфора объясняется неполной деструкцией пектино-целлюлозных комплексов клеточных стенок фруктов.

Для нивелирования указанных технологических недостатков, а также повышения эффективности переработки фруктового сырья и качества конечного продукта необходима модернизация существующей технологической схемы.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является совершенствование технологии получения функциональной пищевой добавки серии «ВИТУМИН» путем введения этапа деминерализации фруктового сырья и оптимизации состава буферной системы.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Провести анализ факторов, лимитирующих выход минеральных веществ из фруктового сырья при ферментативной деструкции растительных тканей.
2. Обосновать выбор деминерализующего агента и определить оптимальные параметры кислотной обработки.
3. Разработать усовершенствованную технологическую схему получения добавки «ВИТУМИН» с дополнительным этапом деминерализации.
4. Экспериментально апробировать предложенные технологические решения и оценить их эффективность по массовым показателям ферментолита (выход жидкой фракции, содержание сухих веществ, сахаров, масса твердого остатка).

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования служили:

- фрукты пониженного качества (яблоки, бананы, апельсины), имеющие дефекты внешнего вида, но сохраняющие пищевую ценность;
- функциональная пищевая добавка «ВИТУМИН», полученная по базовой и новой технологии, включающей гомогенизацию фруктов, их двухстадийный ферментативный гидролиз, пастеризацию, фракционирование и сублимационную сушку жидкой части;
- ферментолиты, полученные на различных этапах усовершенствованной технологической схемы.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования по совершенствованию технологии получения функциональной пищевой добавки «ВИТУМИН» проводились на базе кафедры пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «КГТУ»). Анализ витаминно-минерального состава образцов выполнялся в исследовательско-консультационной лаборатории UBF GMBH (г. Альтландсберг, Германия) и на кафедре пищевой биотехнологии ФГБОУ ВО «КГТУ».

Определение массовой доли витамина С проводили по стандарту ISO 6557-2:1984, витаминов группы В – по методикам AOAC 2015.14 / ISO 21470, витамина Р (биофлавоноидов) – методом перманганатометрии. Содержание минеральных веществ (натрия, калия, кальция, магния, фосфора, железа) определяли по методикам AOAC 2011.14 / ISO 15151 на основе атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой.

Оценку эффективности предлагаемых технологических решений проводили по массовым показателям ферментолизата: выход жидкой фракции (гравиметрическим методом), содержание сухих веществ (рефрактометрическим методом), концентрацию сахаров (в градусах Brix) и массу твердого остатка.

Обработку полученных данных выполняли в трехкратной повторности с использованием стандартных методов вариационной статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первом этапе работы был проведен анализ факторов, ограничивающих выход минеральных веществ из фруктового сырья при ферментативной обработке растительной биомассы. Установлено, что основными компонентами, удерживающими катионы металлов (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+}), являются полисахаридные комплексы клеточных стенок – пектиновые вещества, целлюлоза и гемицеллюлозы, а также полифенольные соединения, проявляющие хелатирующую способность. Данные биополимеры содержат значительное количество свободных карбоксильных и гидроксильных групп, формирующих устойчивые надмолекулярные структуры с двух- и трехвалентными катионами [4].

Для интенсификации высвобождения минеральных компонентов и повышения их биодоступности в качестве деминерализующего агента была выбрана лимонная кислота (E330). Выбор обусловлен ее следующими преимуществами: высокая доступность и низкая себестоимость, способность образовывать с катионами металлов устойчивые и биодоступные цитратные комплексы, а также технологическая эффективность в процессах деструкции полисахаридов [5]. В кислой среде (pH 2,0–2,5) происходит протонирование карбоксильных групп пектиновых веществ, что сопровождается утратой их структурообразующей функции и снижением способности связывать катионы металлов. Одновременно осуществляется кислотный гидролиз гликозидных связей, ведущий к деполимеризации пектина, целлюлозы и гемицеллюлозы. Разрушение полисахаридного матрикса обеспечивает высвобождение удерживаемых минеральных компонентов в жидкую фазу в виде растворимых солей.

Важным преимуществом использования лимонной кислоты является образование цитратов металлов. Цитратные комплексы характеризуются высокой степенью усвояемости организмом человека, поскольку вовлекаются в естественные метаболические пути (цикл Кребса) [6]. Это особенно важно для создания продукта с повышенной пищевой ценностью, ориентированного на потребителей, испытывающих повышенные физические нагрузки.

Кроме того, лимонная кислота проявляет выраженный ингибирующий эффект в отношении полифенолоксидазы (ПФО) – ключевого фермента окислительной порчи фруктового сырья. Оптимум активности ПФО находится в диапазоне pH 6–8, тогда как при снижении pH до 2,0–2,5, создаваемом 5 % раствором лимонной кислоты, активность фермента подавляется практически полностью (рисунок 2).

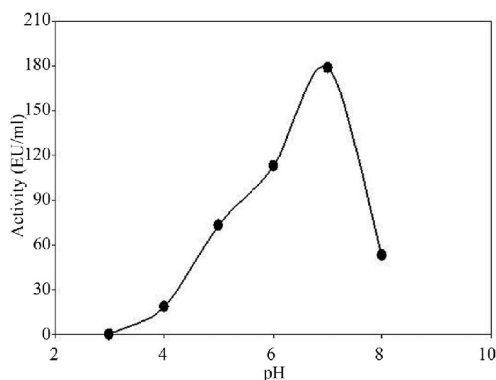


Рисунок 2 – Зависимость активности полифенолоксидазы от реакции среды (pH) [7]

Применение лимонной кислоты предотвращает ферментативное окисление полифенольных соединений до темноокрашенных хинонов и меланиноподобных пигментов, которые негативно влияют на цвет продукта. В результате обеспечивается осветление гидролизатов, жидкая фракция сохраняет светло-желтый цвет на протяжении всего технологического цикла, что подтверждается ее органолептической оценкой (рисунок 3).



Рисунок 3 – Влияние деминерализации на органолептические показатели ферментоллизатов ФПК:
а) без деминерализации; б) после деминерализации

На основании анализа литературных источников были определены рациональные параметры деминерализационной обработки: концентрация лимонной кислоты – 5 % (обеспечивающая значение рН среды на уровне 2,0), продолжительность – 1 ч, температура – 49 ± 2 °С. Выбранный температурный режим коррелирует с оптимумом действия ферментов карбогидраз, используемых на последующей стадии ферментативного гидролиза.

Второй недостаток базовой технологии – это избыточное содержание натрия в целевом продукте, который был обусловлен использованием карбоната натрия для корректировки рН ферментируемой смеси на этапе ферментативного гидролиза. Данный технологический прием, будучи эффективным для создания оптимальных условий действия ферментов (рН 3,8), неизбежно приводил к накоплению натрия в конечном продукте, нарушая физиологически желаемое соотношение натрия и калия.

Для решения этой задачи предложена замена буферного агента: вместо карбоната натрия был использован карбонат аммония $((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3)$. Преимуществом данного соединения является его способность к термической деструкции при нагревании. В процессе пастеризации ферментолизата (80 °С) и на этапе сублимационной сушки соединение разлагается на аммиак (NH_3) и углекислый газ (CO_2), которые удаляются из продукта. Дополнительному газообразованию способствует кислая среда, сохраняющаяся на всех этапах технологического процесса: образующаяся угольная кислота (H_2CO_3) нестабильна и быстро разлагается с выделением диоксида углерода и воды.

Эффективность предложенных технологических решений оценивалась по массовым выходам жидкой и твердой фракций гидролизата при апробации усовершенствованной технологической схемы переработки фруктов. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Массовые показатели полученных фракций фруктового ферментолизата при переработке 250 г фруктов (гидро модуль 1:1)

Показатель	Показатели исходной технологии	Опытные показатели	Прирост, %
Масса жидкой фракции, г	309,3	430,5	39,2
Содержание сухих веществ в жидкой фракции, %	6,9	8,0	15,9
Содержание сахаров в жидкой фракции, °Brix	8,5	10,0	17,6
Масса твердой фракции	190,8	65,3	-65,8

Полученные экспериментальные данные показывают, что введение этапа деминерализации при ферментативной переработке фруктов обеспечило существенное снижение массы твердой фракции (на 65,8 %) относительно базовой технологии при увеличении таких технологически значимых показателей качества, как содержание сухих веществ, концентрация простых сахаров и выход целевой жидкой фракции, направляемой на получение добавки «ВИТУМИН». Улучшенная органолептическая характеристика раствора (насыщенный светло-желтый цвет) свидетельствует об эффективном ингибировании активности полифенолоксидазы и других ферментов окислительной порчи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ факторов, лимитирующих выход минеральных веществ из фруктового сырья в технологии функциональной добавки «ВИТУМИН». Установлено, что полисахариды сырья (пектин, целлюлоза, гемицеллюлозы) и полифенольные соединения сдерживают экстракцию ценных минеральных веществ (калия, натрия, магния и др.).

Предложено использование лимонной кислоты в качестве деминерализующего агента при ферментализации фруктов. Определены рациональные параметры кислотной обработки: концентрация 5 %, pH 2,0, продолжительность 1 ч, температура 49 ± 2 °C. Показано, что лимонная кислота обеспечивает не только перевод связанных минеральных компонентов в растворимую форму с образованием биодоступных цитратов, но и ингибирует активность полифенолоксидазы, способствуя осветлению гидролизатов.

Для устранения избыточного содержания натрия в целевой добавке предложена замена при ферментализации сырья буферного агента карбоната натрия на карбонат аммония, что позволило исключить остаточное содержание реагента в готовом продукте.

Подтверждена технологическая эффективность ферментализации фруктов при введении этапа деминерализации. Показано снижение массы твердой фракции на 65,8 %, увеличение выхода жидкой фракции на 39,2 %, повышение в ней содержания сухих веществ на 15,9 % и концентрации сахаров на 17,6 % относительно показателей базовой технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коптелов, К. И. Проблемы и перспективы технологий утилизации отходов овощей и фруктов / К. И. Коптелов, Е. Д. Горячева, К. С. Кузнецова // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. – 2025. – № 2 (48). – С. 112–122. – DOI: 10.55196/2411-3492-2025-2-48-112-122.
2. Исследование пищевых отходов в России, 2025 / Фонд «Выручаем» (X5 Group) // Агентство социальной информации. – 29.09.2025. – URL: <https://asi.org.ru/news/2025/09/29/ezhegodno-v-rossii-obrazuetsya-okolo-42-millionov-tonn-pishhevyh-othodov-issledovanie-x5-vyruchаем/> (дата обращения: 03.05.2026).
3. Карлов, В. А. Совершенствование технологии / В. А. Карлов, О. Я. Мезенова, А. Г. Булычев // Балтийский морской форум: материалы XII Международного Балтийского морского форума. – Калининград: Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота, Калининградский государственный технический университет, 2025. – С. 53–61.
4. Cosgrove, D. J. Building an extensible cell wall / D. J. Cosgrove // Plant Physiology. – 2022. – Vol. 189, № 3. – P. 1246–1277. – DOI: 10.1093/plphys/kiac184.
5. Chandel V. Current Advancements in Pectin: Extraction, Properties and Multifunctional Applications / V. Chandel, D. Biswas, S. Roy [et al.] // Foods. – 2022. – Vol. 11, № 17. – 2683. – DOI: 10.3390/foods11172683.
6. Naviglio, D. Iron (II) Citrate Complex as a Food Supplement: Synthesis, Characterization and Complex Stability / D. Naviglio, M. M. Salvatore, M. Limatola [et al.] // Nutrients. – 2018. – Vol. 10, № 11. – 1647. – DOI: 10.3390/nu10111647.

7. Cortez, C. Purification and Partial Characterization of Polyphenol Oxidase from Sapodilla Plum (*Achras sapota*) / C. Cortez, E. Mendez, M. Duch // Food and Nutrition Sciences. – 2013. – Vol. 4, № 7. – P. 727–734.

IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY FOR OBTAINING "VITUMIN" FUNCTIONAL FOOD ADDITIVE BY DEMINERALIZATION OF FRUIT RAW MATERIALS

V. A. Karlov, 2nd year Master degree student
E-mail: vaden1410@gmail.com
Kaliningrad State Technical University

O. Ya. Mezenova, Doctor of Technical Sciences, Professor
E-mail: mezenova@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

Improvement of the technology for producing the functional food additive called "VITUMIN" based on the enzymolysis of low-quality fruits has been substantiated. A mineral composition imbalance in the additive has been identified, caused by a high sodium content and insufficient release of potassium, magnesium, and calcium from the plant-derived raw material. The limiting factors are the polysaccharide complexes of cell walls and polyphenolic compounds. A demineralization method using a 5% citric acid solution (pH 2.0) at a temperature of 49 ± 2 °C for 1 hour has been tested and implemented. It is proposed to replace the buffering agent sodium carbonate with ammonium carbonate during enzymolysis in order to eliminate the sodium load. The improved technology has made it possible to reduce the mass yield of the solid fraction of the fruit enzymolysate by 65.8%, increase the yield of the liquid phase by 39.2%, raise the dry matter content in it by 15.9% and the sugar content by 17.6%, and improve the organoleptic characteristics of the "VITUMIN" additive.

Keywords: *functional food additive, demineralization, citric acid, fruit raw material, minerals, enzymatic hydrolysis.*