

EDN: BFJTFG

УДК 664.121

BEET POWDER AS A NATURAL DYE AND FUNCTIONAL COMPONENT IN THE PROTEIN-ERYTHRITOL SYSTEM FOR CANDY PRODUCTS

Rada D. Bruskova*, Julia A. Snurnikova

South Ural State University (national research university), Chelyabinsk, Russian Federation

Received 14.05.2026, approved after reviewing 11.06.2026, accepted 20.08.2026

Abstract. The article discusses the possibility of using beetroot powder as both a natural dye and a functional additive in the egg white-erythritol system for the production of meringue. It has been shown that the complete replacement of sucrose with erythritol leads to changes in the rheological properties and stability of the foam. The hypothesis suggests that the betalains and pectins found in beetroot can precipitate at the interfacial boundary and influence the process of foam formation. Based on a literature review, possible types of interactions between components are described: preferential hydration, hydrogen bonds, electrostatic attraction, and competitive adsorption. Additionally, safety aspects related to microbiological risks, nitrates, and HACCP critical point control are considered. It has been noted that when using beetroot powder, it is necessary to monitor the level of nitrates in the raw materials, as beetroot can accumulate these compounds from the soil. It is also important to control the moisture content of the finished meringues, as excessive moisture can lead to the development of mold. By following proper hygiene practices at all stages of production, these risks can be minimized. It is concluded that beetroot powder can be used not only for coloring, but also as a structure modifier in low-calorie confectionery products, provided that safety requirements are met.

Keywords: beetroot powder, erythritol, egg albumin, meringue, betalains, pectins, structure formation, food safety, HACCP.

Citation: Bruskova, R. D., Snurnikova, Ju. A. (2026). Beet powder as a natural dye and functional component in the protein-erythritol system for candy products. In: Trade, service, food industry. Vol. 6(3). Pp. 405–412. EDN: BFJTFG



СВЕКОЛЬНЫЙ ПОРОШОК КАК НАТУРАЛЬНЫЙ КРАСИТЕЛЬ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ В СИСТЕМЕ «БЕЛОК-ЭРИТРИТОЛ» ДЛЯ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Рада Денисовна Брускова*, Юлия Александровна Снурникова

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Российская федерация

Аннотация. В статье разбирается вопрос о том, можно ли применять свекольный порошок одновременно как натуральный краситель и как функциональную добавку в системе «яичный белок – эритритол» при создании меренги. Показано, что полная замена сахарозы на эритритол ведет к изменению реологических свойств и снижению устойчивости пены. Согласно предположению, беталаины и пектины, содержащиеся в свекле, способны осаждаться на межфазной границе и влиять на процесс структурообразования. На основании обзора литературы описаны возможные типы взаимодействий между компонентами: предпочтительная гидратация,

водородные связи, электростатическое притяжение и конкурентная адсорбция. Дополнительно рассмотрены аспекты безопасности, связанные с микробиологическими рисками, нитратами и контролем критических точек по системе ХАССП. Отмечено, что при использовании свекольного порошка необходимо отслеживать уровень нитратов в сырье, поскольку столовая свекла способна накапливать эти соединения из почвы. Также важно контролировать влажность готовых меренг – при ее превышении возможно развитие плесени. Соблюдение гигиенических требований на всех стадиях производства позволяет свести риски к минимуму. Сделан вывод, что свекольный порошок может использоваться не только для окраски, но и в роли модификатора структуры в низкокалорийных кондитерских изделиях при условии соблюдения требований безопасности.

Ключевые слова: свекольный порошок, эритритол, яичный альбумин, меренга, беталаины, пектины, структурообразование, безопасность пищевой продукции, ХАССП.

Цитирование: Брускова, Р. Д. Свекольный порошок как натуральный краситель и функциональный компонент в системе «белок-эритритол» для кондитерских изделий / Р. Д. Брускова, Ю. А. Снурникова // Торговля, сервис, индустрия питания. – 2026. – № 6(3). – С. 405–412. – EDN: BFJTFG



Введение / Introduction. Современное пищевое производство все больше ориентируется на выпуск продуктов, подходящих для здорового рациона. Это подразумевает уменьшение доли сахара и отказ от синтетических добавок в пользу натуральных компонентов. Одна из главных задач здесь – переработка рецептур взбитых кондитерских изделий, в частности меренг. В таких изделиях сахароза работает не только как подсластитель. Она также участвует в создании структуры, удерживает белковую пену и задает ее реологические характеристики [1, 2].

Полная замена сахарозы на сахарозаменители, особенно на полиолы, – это непростая научно-техническая проблема. Каждый заменитель по-своему меняет свойства пищевой смеси. Эритритол считается очень перспективным подсластителем, так как в нем нет калорий, а организм обычно переносит его хорошо [3]. Однако физико-химические параметры – иная молекулярная масса, другая растворимость, гигроскопичность – значительно меняют обстановку в белково-углеводной дисперсии. Это может плохо сказаться на пенообразовании и устойчивости пены [2].

Одновременно существует потребность обогащать еду функциональными ингредиентами. Порошок из столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.) – это многокомпонентная система. В ней есть беталаиновые пигменты, пектины, фенольные соединения и минеральные соли [4]. Беталаины, будучи полярными соединениями, способны воздействовать на свойства поверхности раздела фаз. А пектины – из-за высокой гидрофильности и склонности к комплексообразованию – могут менять реологию среды и связываться с белками [5, 6]. Получается, что свекольный порошок – это комплексный агент, который активно влияет на свойства пищевой матрицы.

После изучения литературы была сформулирована гипотеза: в системе «белок + эритритол» свекольный порошок работает как многофункциональный модификатор. Предполагается, что он не только дает окраску, но и благодаря составным частям может исправлять структурные недостатки, которые возникают после полной замены сахарозы эритритолом. Он способствует тому, чтобы пена держалась дольше, и влияет на конечную текстуру.

Материалы и методы / Materials and Methods. В рамках исследования были применены следующие методы: сбор информации посредством изучения научной и учебной литературы по теме, сравнение и сопоставление, выделение общего и различного.

Полученные результаты / Results. Сывороточные белки куриного яйца, главным образом овальбумин, относятся к глобулярным. Их природная форма и функциональные свойства (растворимость, способность к пенообразованию, термостабильность) сильно зависят от контакта с низкомолекулярными соединениями, включая углеводы [2]. Обычная сахароза в больших концентрациях работает как стабилизатор белка. Она повышает температуру денатурации за счет механизма, который называют «предпочтительная гидратация». Молекулы сахарозы вытесняются с поверхности белка в раствор, тем самым создавая невыгодные условия для разворачивания белковой глобулы, в итоге белок становится устойчивее [7].

Эритритол ($C_4H_{10}O_4$) – это четырехатомный спирт (тетрит). У него совсем другие свойства. Молекулярная масса меньше (122,12 г/моль против 342,3 г/моль у сахарозы), растворимость выше, а вязкость водных растворов заметно ниже. Согласно данным [3], эритритол тоже дает эффект предпочтительной гидратации, но насколько сильно и как именно он работает – может отличаться от сахарозы. Причина – другое пространственное строение молекулы и иное количество гидроксильных групп. Теоретически это способно менять степень гидратации белка, его поверхностную гидрофильность и, как следствие, процессы адсорбции на границе воздух-вода при взбивании [3, 4]. Кроме того, из работы [8] следует, что полиолы, в том числе эритритол, могут слабо связываться с белками напрямую через водородные связи с пептидными группами и боковыми цепями аминокислот. Это тоже может сказываться на конформации белка.

Свекольный порошок вносит в смесь два главных класса соединений: беталаиновые пигменты и пектиновые полисахариды.

Беталаины (бетацианины и бетаксантины) – это пигменты, которые растворяются в воде и содержат азот. В их молекулах есть гидрофильные (карбоксильные) группы и гидрофобные ароматические фрагменты. Благодаря этому они ведут себя как поверхностно-активные вещества (ПАВ) [5]. В работе [5] показано, что беталаины могут осаждаться на межфазных границах. При сочетании с белком и эритритолом они способны конкурировать за место на поверхности воздушных пузырьков. Теоретически это может и улучшить, и ухудшить устойчивость пены – в зависимости от того, сколько их и в каком соотношении находятся они с другими компонентами. Кроме того, беталаины чувствительны к уровню pH. Их стабильность в присутствии белка и полиола надо изучать отдельно, потому что изменение электростатики системы может сказаться на окраске [5].

Пектины свеклы – это высокомолекулярные гетерополисахариды. Они в основном низкоэтерифицированы и содержат много галактурановой кислоты [8]. Если есть катионы (например, Ca^{2+} , которые могут быть и в яичном белке, и в минеральной части свеклы), пектины образуют гели по механизму «яичной коробки» [9]. В белковой системе пектины могут контактировать с белками двумя основными путями. Первый – электростатическое притяжение между отрицательно заряженными карбоксильными группами галактурановой кислоты и положительно заряженными группами белка (это работает при pH ниже изоэлектрической точки белка). Второй путь – водородные связи и гидрофобные взаимодействия [6]. Если добавить пектины в смесь белка с эритритолом, реология может сильно измениться: вязкость вырастет, появится смешанный белково-полисахаридный каркас. Такой каркас способен удерживать пену не только за счет белковой пленки, но и за счет того, что водная фаза становится структурированной [8].

При внедрении любого нового ингредиента в пищевое производство необходимо оценивать не только его технологическую эффективность, но и возможные риски для здоровья потребителей. Свекольный порошок не является исключением. Ниже

рассмотрены основные факторы, которые следует контролировать в рамках системы ХАССП (табл. 1).

Таблица 1. Факторы контроля в системе ХАССП

Table 1. Control factors in the HACCP system

Факторы	Обоснование факторов
Микробиологические риски	Свекольный порошок получают из корнеплодов, которые в процессе роста контактируют с почвой. На поверхности свеклы могут присутствовать спорообразующие бактерии (<i>Bacillus spp.</i>), плесневые грибы, а также патогенная микрофлора. При недостаточно жестких режимах сушки микроорганизмы сохраняют жизнеспособность. Внесение такого порошка в меренги без последующей высокотемпературной обработки (температура сушки меренг обычно не превышает 80–90°C) может привести к размножению остаточной микрофлоры. Поэтому на этапе производства свекольного порошка необходимо контролировать температуру и время сушки, а также проводить периодический микробиологический анализ готовой партии. В плане ХАССП это относится к критическим контрольным точкам (ККТ), связанным с термической обработкой сырья
Содержание нитратов	Свекла относится к культурам, способным накапливать нитраты из почвы, особенно при избыточном внесении азотных удобрений. Нитраты сами по себе относительно малотоксичны, но в организме они могут восстанавливаться до нитритов, которые образуют метгемоглобин и N-нитрозоамины – соединения с канцерогенным действием. Для пищевых продуктов установлены предельно допустимые уровни нитратов. При производстве свекольного порошка необходимо требовать от поставщика сопроводительные документы с результатами анализов на содержание нитратов. Входной контроль сырья является еще одной критической точкой
Безопасность эритритола	Эритритол признан безопасным пищевым ингредиентом во многих странах, включая Россию, США и страны Евросоюза. Его допустимое суточное потребление не ограничено, поскольку он почти полностью выводится почками в неизменном виде. Однако при разовом употреблении в количестве более 50 г у некоторых людей возможен слабительный эффект. В рецептурах меренг содержание эритритола обычно не превышает 30–40 г на порцию, поэтому риск минимален. Тем не менее производитель обязан указывать на этикетке предупреждение о возможных последствиях при чрезмерном употреблении
Аллергенность	Свекольный порошок редко вызывает аллергию, но теоретически возможны перекрестные реакции у лиц с аллергией на пыльцу маревых растений (к которым относится свекла). Яичный белок – известный аллерген. В системе «белок-эритритол-свекольный порошок» наибольшую опасность с точки зрения аллергии представляет именно белок. На маркировке готового изделия должно быть указано наличие яичного белка
Химические показатели	В свекольном порошке дополнительно следует контролировать содержание тяжелых металлов (свинец, кадмий, мышьяк, ртуть) и пестицидов. Эти показатели нормируются техническими регламентами Таможенного союза (ТР ТС 021/2011, ТР ТС 029/2012). Производитель конечного продукта должен запрашивать у поставщика порошка протоколы испытаний на соответствие этим нормативам

Разработка системы ХАССП для производства низкокалорийных меренг включает следующие этапы: анализ опасностей (биологических, химических, физических); определение критических контрольных точек; установление предельных значений для каждой ККТ; формирование системы мониторинга.

В данном случае возможными ККТ являются: входной контроль свекольного порошка (нитраты, микробиологические показатели, тяжелые металлы); температура и время сушки меренг (должны обеспечивать снижение влажности до уровня, при котором прекращается рост микроорганизмов, обычно ниже 10%); условия хранения готовых изделий (влажность воздуха не выше 65%, чтобы избежать отсыревания и плесневения).

При соблюдении этих требований свекольный порошок может использоваться безопасно.

В табл. 2 перечислены возможные типы контактов между компонентами. Всего их шесть. Они различаются по механизму и тому, что лежит в их основе.

Таблица 2. Анализ трехкомпонентной системы взаимодействия
Table 2. Analysis of a three-component interaction system

Компоненты	Тип взаимодействия	Физико-химическая основа
Сывороточный белок – Эритритол	Предпочтительная гидратация	Вытеснение молекул эритритола с поверхности белка в объем раствора
Сывороточный белок – Эритритол	Водородные связи	Взаимодействие между -ОН группами эритритола и пептидными группами/амино- и карбоксильными группами боковых цепей белка
Сывороточный белок – Беталаины	Конкурентная адсорбция на границе раздела фаз	Амфифильность молекул беталаинов. Конкуренция с белком за место на поверхности пузырька воздуха
Сывороточный белок – Пектины	Электростатическое взаимодействие	Взаимодействие между отрицательно заряженными карбоксильными группами галактуроновой кислоты (пектин) и положительно заряженными группами белка (при $pH < pI$)
Сывороточный белок – Пектины	Водородные связи и гидрофобные взаимодействия	Взаимодействие между полярными/неполярными группами обоих полимеров
Эритритол – Водная фаза	Изменение термодинамической активности воды (a_w)	Высокая растворимость и гидратация эритритола

Рассмотрим подробнее. Белок и эритритол взаимодействуют двумя способами: через предпочтительную гидратацию и через водородные связи. Эритритол уходит с поверхности белка в раствор, и одновременно его гидроксильные группы соединяются с пептидными и боковыми цепями белка. В этом его отличие от сахарозы.

Беталаины – пигменты из свеклы. У них есть и гидрофильные, и гидрофобные участки, поэтому они работают как ПАВ. Они могут осаждаться на границе воздух-вода, где уже есть белок. Возникает соревнование, а чей слой будет прочнее – зависит от концентраций.

Пектины – это полисахариды с множеством карбоксильных групп. С белком они связываются по-разному. Первый способ – электростатическое притяжение (если pH ниже изоэлектрической точки белка). Второй – водородные связи и гидрофобные контакты. Кроме того, пектины в присутствии ионов кальция создают гели. Кальций есть и в яичном белке, и в свекле. Все вместе это повышает вязкость смеси.

Последний тип – эритритол и вода. Эритритол отлично растворяется и удерживает воду. Он понижает активность воды, а это сказывается на всех остальных процессах.

Свекольный порошок – это не просто краситель. Его составные части участвуют в создании структуры. Беталаины воздействуют на поверхностные свойства. Пектины – на вязкость и устойчивость пены. Вместе они могут устранить негативные последствия от того, что сахарозу заменили на эритритол.

Однако любое изменение рецептуры требует проверки на соответствие нормам безопасности. С точки зрения ХАССП, добавление свекольного порошка вводит в технологическую цепочку несколько новых критических контрольных точек. Главные из них – это контроль нитратов в исходном сырье и соблюдение режимов сушки, исключающих микробиологическую порчу. При правильной организации входного контроля и соблюдении санитарных норм свекольный порошок не создает дополнительных рисков по сравнению с традиционными ингредиентами.

Обсуждение / Discussion. В работе была рассмотрена трехкомпонентная дисперсная система «яичный альбумин – эритритол – порошок столовой свеклы». Эта система является моделью основы для меренг, где сахароза полностью заменена на эритритол и добавлен натуральный краситель. Проведен теоретический разбор литературных данных по каждому типу взаимодействий. Получилось следующее.

Эритритол контактирует с белком двумя путями. Первый – предпочтительная гидратация, когда полиол вытесняется с поверхности белка в раствор. Второй – прямые водородные связи с пептидными группами и боковыми цепями аминокислот. Оба механизма отличают эритритол от сахарозы. Это означает, что замена подсластителя меняет поведение белка: его гидратацию, устойчивость и способность давать пену.

Выводы и дискуссионные вопросы / Conclusion. Свекольный порошок добавляет в систему два активных компонента – беталаины и пектины. Беталаины обладают поверхностно-активными свойствами. Пектины – высокомолекулярные полисахариды – соединяются с белком через электростатические и водородные контакты. При наличии ионов кальция пектины формируют гели, и вязкость возрастает.

Важно подчеркнуть: в данной системе свекольный порошок выполняет не только функцию красителя. Он активно вмешивается в процесс структурообразования. Беталаины влияют на поверхностные характеристики, а пектины – на вязкость и устойчивость пены. Вместе они могут компенсировать те структурные дефекты, которые возникают после замены сахарозы на эритритол.

Механизмы, рассмотренные в работе, составляют теоретический фундамент для дальнейших исследований. Они опираются на литературные данные, но не подкреплены собственными опытами. Поэтому окончательно судить о том, как именно свекольный порошок действует на систему в реальных условиях, можно будет только после физико-химических экспериментов. Помимо этого нужно изучить, как именно образуется пена во времени, какие реологические свойства у системы на разных стадиях процесса и насколько стабилен цвет в готовом продукте. Параллельно следует провести микробиологические испытания готовых меренг с разной концентрацией свекольного порошка, чтобы подтвердить безопасность продукции в течение заявленного срока годности.

Библиографический список

1. Лисицын, А. Б. Современные тенденции развития индустрии функциональных пищевых продуктов в России и за рубежом [Текст] / А. Б. Лисицын, И. М. Чернуха, О. И. Лунина // Теория и практика переработки мяса. – 2018. – Т. 3, №1. – С. 29–45.

2. Обеспечение безопасности и функциональности пищевых систем на основе сорбционных свойств коллагеновых белков [Текст] / Л. В. Антипова, М. И. Чубирко, Н. Г. Кульнева, С. А. Сторублёвцев // Гигиена и санитария. – 2018. – № 97(8). – С. 772–777.
3. Штерман, С. В. Эритол – натуральный сахарозаменитель XXI века [Текст] / С. В. Штерман, В. И. Тужилкин, Ю. В. Манеров // Пищевая промышленность. – 2008. – № 8. – С. 24–26.
4. Использование и получение фруктовых и овощных добавок в производстве мучных, кондитерских и хлебобулочных изделий [Текст] / И. В. Иванова, Т. В. Белкина, М. В. Белоглазова [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2016. – № 1(9). – С. 43–47.
5. Панасюк, А. Л. Производство и применение натуральных антоциановых пищевых красителей (обзор) [Текст] / А. Л. Панасюк, Е. И. Кузьмина, О. С. Егорова // Пищевая промышленность. – 2021. – № 10. – С. 13–19.
6. Пищевая химия [Текст] / А. П. Нечаев, С. Е. Траубенберг, А. А. Кочеткова [и др.]. – 4-е изд., испр. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2008. – 640 с.
7. Красноштанова, А. А. Получение и оценка функциональных свойств белковых изолятов и гидролизатов из растительного сырья [Текст] / А. А. Красноштанова, Л. В. Шульц // Химия растительного сырья. – 2022. – № 4. – С. 299–309.
8. Лурье, И. С. Технология кондитерского производства [Текст] / И. С. Лурье. – Москва : Агропромиздат, 1992. – 399 с.
9. Донченко, Л. В. Анализ современного рынка пектина и пектинопродуктов [Текст] / Л. В. Донченко // Сахар. – 2019. – № 8. – С. 50–53.

References

1. Lisitsyn, A. B., Chernukha, I. M., Lunina, O. I. (2018). Modern trends in the development of the functional food industry in Russia and abroad. Theory and practice of meat processing, Vol. 3, No. 1, 29–45.
2. Antipova, L. V., Chubirko, M. I., Kulneva, N. G., Storablevtsev, S. A. (2018). Ensuring the safety and functionality of food systems based on the sorption properties of collagen proteins. Hygiene and sanitation, 97(8), 772–777.
3. Shterman, S. V., Tuzhilkin, V. I., Manerov, Yu. V. (2008). Erythol is a natural sugar substitute of the XXI century. Food industry, 8, 24–26.
4. Ivanova, I. V., Belkina, T. V., Beloglazova, M. V., Filippova, L. A., Radchuk, A. A. (2016). The use and production of fruit and vegetable additives in the production of flour, confectionery and bakery products. Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex – healthy food products, 1(9), 43–47.
5. Panasyuk, A. L., Kuzmina, E. I., Egorova, O. S. (2021). Production and use of natural anthocyanin food dyes (review). Food industry, 10, 13–19.
6. Nechaev, A. P., Trautenberg, S. E., Kochetkova, A. A. [et al.] (2008). Food chemistry St. Petersburg: GIORД, 640.
7. Krasnoshtanova, A. A., Schultz, L. V. (2022). Obtaining and evaluating the functional properties of protein isolates and hydrolysates from plant raw materials. Chemistry of plant raw materials, 4, 299–309.
8. Lurie, I. S. (1992). Technology of confectionery production. Moscow: Agropromizdat, 399.
9. Donchenko, L. V. (2019). Analysis of the modern market of pectin and pectin products. Sugar, 8, 50–53.

Сведения об авторах:

Брускова Рада Денисовна – студент, Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)
e-mail: rada.bruskova10@mail.ru

Снурникова Юлия Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)
ORCID: 0000-0001-9352-381X
e-mail: snurnikovaya@susu.ru

Information about the authors:

Bruskova Rada Denisovna – Student, South Ural State University (national research university)
e-mail: rada.bruskova10@mail.ru

Snurnikova Julia Aleksandrovna – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department “Food and Biotechnology”, South Ural State University (national research university)
ORCID: 0000-0001-9352-381X
e-mail: snurnikovaya@susu.ru