

ВЛИЯНИЕ pH СРЕДЫ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ БЕТАЛАИНОВЫХ ПИГМЕНТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

¹Валеева Д.И., ¹Саттиходжаев Хожакбархон, ¹Швинк К.Ю., ¹Гумеров Т.Ю.,
¹Решетник О.А., ²Уткин А.В.

¹ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Российская Федерация, Республика Татарстан (г. Казань, К. Маркса, 68, 420015), *e-mail: tt-timofei@mail.ru*

²ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ.

Аннотация: Пигменты растений – беталаины, в настоящее время набирают огромную популярность из-за того, что их используют как натуральные красители в пищевой промышленности. Сейчас все больше растет интерес потребителей к растительным безопасным аспектам питания, который увеличивает спрос на натуральные пигменты и использование их в качестве альтернативных красителей в пищевых продуктах. Самыми известными являются азотсодержащие пигменты, встречающиеся в разнообразных продуктах. Их количество в некоторых овощах и фруктах может превышать 50 мг / кг из-за их сильной окраски пигмента. Большинство беталаиновых структур основаны на молекуле беталаминовой кислоты. Две очень сходные структуры с беталаминовой кислотой – бетанидин и индикаксантин. Подобно тому, как пролин добавляется к беталаминовой кислоте с образованием бетанидина, аминокислота глицин присоединяется к ней с образованием портулаксантина. То есть пролин, тирозин и глицин являются предшественниками этих веществ при биосинтезе в растениях. В работе изучена динамика изменения беталаиновых пигментов свеклы сорта «Красный шар» при изменении температуры, времени варки и pH среды. Кроме того, определены оптимальные условия кулинарной и тепловой обработки.

Ключевые слова: беталаины, свекла, кулинарная обработка, pH, натуральные пигменты

EFFECT OF pH PHARMACEUTION ON CONCENTRATION OF BETALAIN PIGMENTS OF PLANT ORIGIN

¹Valeeva D.I., ¹Sattihodzhaev Khozhakbarkhon, ¹Shvink K.Yu., ¹Gumerov T.Yu., ¹Reshetnik O.A., ²Utkin A.V.

¹Kazan National Research Technological University, Russian Federation, Republic of Tatarstan (420015, Kazan, K. Marx, 68).

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI»

Abstract: Plant pigments - betalains, are now gaining immense popularity due to the fact that they are used as natural dyes in the food industry. Consumer interest in the plant-safe aspects of nutrition, which increases the demand for natural pigments and their use as alternative dyes in food, is growing more and more. The most famous are nitrogen-containing pigments found in a variety of products. Their amount in some fruits and vegetables may exceed 50 mg / kg due to their strong pigment color. Most betalainic structures are based on a betalamic acid molecule. Two very similar structures with betalamic acid are betanidin and indicaxanthin. Just as proline is added to betalamic acid to form betanidin, the amino acid glycine joins it to form portulaxanthin. That is, proline, tyrosine, and glycine are precursors of these substances during biosynthesis in plants. In this work, the dynamics of changes in betalain pigments of the “Red Ball” beet variety with temperature, cooking time and pH of the medium was studied. In addition, optimal conditions for culinary and heat treatment were determined.

Keywords: betalains, beets, culinary processing, pH, natural pigments

Свекла - традиционный осенний овощ, который в кулинарии считается незаменимым. Ее универсальность позволяет создать огромное количество блюд из свеклы, где каждый будет вкуснее предыдущего. В составе свеклы обнаружены самые полезные и необходимые компоненты: йод, магний, медь, калий, натрий, бор, цинк, фосфор, кальций, витамин Р, бета-каротин, фолиевая и аскорбиновая кислоты. Свекла благоприятно влияет на работу сердца и сосудов, помогает снизить риск высокого уровня холестерина. Помогает избавиться от насморка, провести профилактику атеросклероза. Кроме того, свекла обладает мочегонным свойством, помогает очистить организм от токсинов и кишечника. Свекла достаточно диетический продукт. Она часто появляется в качестве ключевого ингредиента для эффективных диет. Калорийность 100 грамм свеклы составляет всего 40 ккал.

Несмотря на то, что свекла – достаточно полезный продукт, не стоит с ней перебарщивать. Избыточное употребление свеклы может привести к расстройству желудка и диарее. Для тех, кто страдает гастритом или язвой желудка категорически нельзя употреблять сырую свеклу – она раздражает стенки желудка, а вот вареную можно. Такая привычная в наших широтах, обязательный атрибут борщей, винегретов и свекольников, свекла была завезена к нам еще во времена Киевской Руси из Византии. Уже античные исследователи полезной еды оценили лечебные свойства свеклы как исключительные. Современные ученые не только подтвердили наблюдения своих предшественников, но доказали, что свекла является уникальной овощной культурой и не может быть заменена другими аналогами в рационе питания.

Свеклу употребляют в сыром и в вареном виде. Термическая обработка позволяет избавиться от нитратов и кислот, которые раздражают желудок, но при этом сохранить весь состав микроэлементов. Установлено, что печеная или вареная свекла в равной степени полезна, как и сырая. Защитить от радиоактивного влияния позволит регулярное употребление овоща. Хорошим противовоспалительным эффектом обладает свежесжатый свекольный сок. Свекла – отличная защита от вирусов и простудных заболеваний, особенно важно ее употреблять в зимний период, так как в ней содержатся все необходимые витамины.

Кроме всего, свекла приводит к улучшению аппетита, помогает при анемии, обладает защитными свойствами от раковых заболеваний и повышает работоспособность.

Беталаминовые пигменты обнаружены в самых ярких представителях – свекла, мангольд, плоды кактусов, особенно опунция индийская; фрукты питаия, гомфрена шаровидная, амарант, квиноа, а также в некоторых родах высших грибов (мухомора красного, гигроцибе и гигрофор).

Беталаины – это растительные пигменты, использующиеся в качестве натуральных красителей в пищевой промышленности. Особый интерес вызван безопасными аспектами питания. Одними из популярных считаются беталаины красной столовой свеклы, проявляющие антиоксидантные, противораковые, антилипидемические и антимикробные свойства. Наиболее ценными при этом выделяют беталаинов амаранта, красной свеклы, красной пихахайи и груши. Пигменты – беталаины в настоящее время характеризуются большой популярностью, хотя и не так хорошо изучены по сравнению с другими природными пигментами, как каротиноиды, хлорофил и антоцианы.

Функция беталаинов в растениях разнообразна. Они предназначены для распространения растений путем переноса пыльцы или семян животными, которых привлекает яркая окраска цветов и плодов.

Эти соединения могут быть и отпугивающим сигналом для сдерживания травоядных животных. Они экранируют ткани от ультрафиолетового излучения, повышают устойчивость к патогенам и вирусам.

Помимо окрашивания эти беталаины обладают полезными биологическими свойствами для организма человека. Это противовоспалительное, антиоксидантное действия, положительный эффект при метаболических, сердечно-сосудистых и желудочно-кишечных заболеваниях.

Недавний интерес к свекле был обусловлен открытием того, что источники диетического нитрата могут иметь важные последствия при лечении сердечнососудистых заболеваний. Приблизительное содержание нитрата в свекле – 250 мг / кг свежего веса. Сам по себе нитрат не считается особенным, но он необходим для восстановления оксида азота (NO). Он является многообразной молекулой-посланником с важными сосудистыми и метаболическими функциями. Однако свекла богата и другими биологически активными соединениями, полезными для организма в целом. Некоторые исследования доказывают, что свекла улучшает здоровье больных гипертонией, атеросклерозом и диабетом 2 типа.

Однако, как уже упоминалось ранее, нитрат не является единственной составляющей свеклы для благотворного воздействия на здоровье. Свекла – богатый источник аскорбиновой кислоты, каротиноидов, фенольных кислот, флавоноидов и, конечно, беталаинов.

Последние вещества проявляют высокие антиоксидантные и противовоспалительные способности не только у животных, но и у людей. Они имеют большой потенциал при лечении болезней, сопровождающихся окислительным стрессом и хроническим воспалением.

Свекла и некоторые экзотические продукты вроде пихахайи, амаранта или киноа в последние годы привлекают все большее внимание из-за высокой концентрации в них мощного соединения, называемого беталаином. Беталаины это целый класс красных и

желтых пигментов. В свекле и плодах некоторых кактусов было обнаружено 24 различных вида беталаина, в то время как другие растения богаты только 6-12 видами. Термин «беталаин» происходит от латинского названия свеклы, *Beta vulgaris*, где он и был обнаружен впервые. В течение многих лет беталаин использовался в качестве натурального пищевого красителя. Однако сейчас появляется все больше исследований, в которых беталаину приписываются мощные антиоксидантные свойства и способность бороться с опухолями и другими заболеваниями.

Кроме того, они помогают сбалансировать количество минералов внутри и вне клетки, поддерживая ее целостность. Все вместе это способствует снижению хронического воспаления, улучшению здоровья и увеличению продолжительности жизни.

Как работает беталаин? Высокоактивная группа красных, желтых и пурпурных пигментов, называемых беталаином, проявляет антигипертензивную, противоопухолевую, химиопрофилактическую и гипогликемическую активность. Как отмечают ученые, есть убедительные доказательства того, что употребление свеклы оказывает благоприятные физиологические эффекты, способные привести к улучшению клинических исходов для нескольких патологий, таких как: гипертония, атеросклероз, диабет 2 типа и слабоумие. Кроме того, беталаин обладает хорошей биодоступностью. После употребления в пищу, он быстро всасывается в желудочно-кишечном тракте и попадает в систему кровообращения. Беталаин способствует преобразованию нитратов в нитриты и выделению оксида азота. Оксид азота – один из важнейших биологических медиаторов, вовлеченный во множество процессов в организме. Одна из его наиболее важных его функций – в обеспечении функционирования эндотелиальных клеток (которые выстилают внутреннюю поверхность кровеносных и лимфатических сосудов). Истощение выработки оксида азота является основной причиной дисфункции эндотелия.

С возрастом кровоток через мозг часто снижается, однако образование дополнительного оксида азота благодаря употреблению свеклы может улучшить кровообращение и притормозить снижение когнитивной функции. Борьба с воспалением и окислительным стрессом связано с началом и прогрессированием нескольких клинических расстройств, таких как ожирение, заболевания печени, рак и сердечно-сосудистые заболевания. Беталаин из свеклы является мощным противовоспалительным и антиоксидантным средством. Дополнительные исследования в университете Калифорнии показали, что беталаин из свеклы благоприятно влияет на мышцы. Тринадцать 25-летних мужчин-бегунов в течение шести дней принимали 50 мг беталаина. Через 2,5 часа после приема добавки добровольцам было предложено пробежать пятикилометровый марафон на беговой дорожке. Ученые зафиксировали снижение сердечного ритма на 3%,

воспринимаемого напряжения (RPE) на 15 % и концентрации лактата в крови на 14% по сравнению с контрольными замерами. В результате спортсмены после приема бетаина пробежали дистанцию быстрее. То есть, у бетаина множество полезных свойств. Причем все его преимущества можно получить практически бесплатно – и в прямом, и в переносном смысле. Свекла – один из самых дешевых и доступных овощей. Кроме того, ее употребление абсолютно безопасно практически в любых разумных количествах.

Бетаины экстрактов свеклы представлены в виде фиолетовых или розовых пигментов, широко используются в пищевой промышленности как добавка E-162 (бетанин) в Европейском союзе и 73.40 – Сушеная свекла (свекольный порошок) / (Dehydrated beets – beet powder) в *Food and Drug Administration; Subpart A–Foods* / Раздел 21 - еда и лекарства; Глава 1 - управление продовольствием и наркотиками, Отдел здравоохранения и человеческих услуг, Часть 73 - список цветных добавок, Подраздел A – Продукты).

Краситель E-162 применяется главным образом для придания приятной окраски джемов, мороженого, йогуртов фруктовых, жевательных резинок, супов и соусов.

Особый интерес к свекле обусловлен тем, что степень её окраски в процессе кулинарной и тепловой обработки зависит от концентрации пигментов, pH среды, продолжительности нагревания и других технологических факторов.

В условиях хранения отварной свеклы в условиях холодильных камер (0–8°C) или комнатной температуры, могут наблюдаться процессы частичного восстановления красной окраски свеклы из-за регенерации бетанина. Через 2 часа хранения свеклы можно наблюдать заметное восстановление цвета. Особенно интересным является изучение механизма действия высоких температур и pH среды на изменение макроструктуры молекулы бетанина. В качестве образцов были взяты корнеплоды столовой свеклы сорта «Красный шар». Этот сорт относится к раннему и диетическому, мякоть сочная, тёмно-красного цвета. Образцы нарезались в виде брусочков 20–25 мм.

Для эксперимента были взяты три химических стакана, вместимостью 150–250 мл. В каждый стакан было налито по 100 мл горячей воды. В один из стаканов добавляли 9%-ую уксусную кислоту (0,4 мл), а в другой кристаллическую лимонную кислоту (0,4 г). В каждый стакан помещалось по 22 г подготовленных ломтиков свеклы. Затем отмечался уровень жидкости в стаканах, которые в дальнейшем накрывались часовыми стеклами или чашками Петри. Таким образом, были подготовлены 9 образцов свеклы, которые подвергались тепловой обработке в течение 20, 40 и 60 минут с добавлением лимонной и уксусной кислот в разных количествах. По мере выкипания жидкости в стаканы добавлялась горячая вода, доводя уровень жидкости до первоначального. Обозначение образцов представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние тепловой и кулинарной обработки на образцы свеклы

Образцы	Особые условия
В ²⁰ _{вода} В ²⁰ _{лим.к-та} В ²⁰ _{уксус}	20 минут: с добавлением лимонной кислоты (0,4 гр); с добавлением 9% столового уксуса (0,4 мл);
В ⁴⁰ _{вода} В ⁴⁰ _{лим.к-та} В ⁴⁰ _{уксус}	40 минут: с добавлением лимонной кислоты (0,4 гр); с добавлением 9% столового уксуса (0,4 мл);
В ⁶⁰ _{вода} В ⁶⁰ _{лим.к-та} В ⁶⁰ _{уксус}	60 минут: с добавлением лимонной кислоты (0,4 гр); с добавлением 9% столового уксуса (0,4 мл).

После окончания варки каждый образец извлекался из раствора и охлаждался при температуре 16 °С в течение 20 минут. Затем свеклу, сваренную при различных условиях, исследовали на мягкость консистенции путем разламывания ломтиков рукой, прокалывания иглой и определения усилий сопротивления при резании ножом. При этом образцы свеклы исследовались по 10 бальной шкале на степень проваренности и консистенцию ломтиков, а растворы анализировались на спектрофотометре при длине волны 535 нм (зеленый светофильтр). После чего рассчитывали массовую долю красящих пигментов X , мг/мл в растворах свеклы по формуле 1 [1].

$$X = \frac{0,022 \cdot D_2 \cdot M \cdot 1000}{D_1 \cdot a}, \quad (1)$$

где D_1 и D_2 – оптическая плотность стандартного раствора сернокислого кобальта и исследуемого раствора; 0,022 - концентрация красящих веществ в стандартном растворе сернокислого кобальта, мг/мл; a - количество воды, мл; M – масса навески свеклы, г. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальные данные при исследовании образцов

Образцы	Массовая доля красящих пигментов, мг/мл	Степень проваренности, баллы
В ²⁰ _{вода}	91,4	7
В ²⁰ _{лим.к-та}	190,28	6
В ²⁰ _{уксус}	195,88	5
В ⁴⁰ _{вода}	142,65	7

$B^{40}_{\text{лим.к-та}}$	209,97	8
$B^{40}_{\text{уксус}}$	211,65	9
$B^{60}_{\text{вода}}$	187,13	8
$B^{60}_{\text{лим.к-та}}$	132,20	8
$B^{60}_{\text{уксус}}$	208,88	8

Таким образом, установлено, что рН-среды и время варки по-разному влияет на концентрацию беталаиновых пигментов свеклы и консистенцию образцов. Лучшая сохраняемость пигментов наблюдается для образцов с добавлением 9 %-го уксуса при различном времени тепловой обработки. При этом степень проваренности и консистенция образцов заметно отличается, так для $B^{20}_{\text{вода}}$, $B^{40}_{\text{вода}}$ и $B^{60}_{\text{вода}}$ наблюдается излишняя водянистость и неустойчивость образцов. Наилучшие результаты характерны для образцов $B^{40}_{\text{лим.к-та}}$ и $B^{40}_{\text{уксус}}$.

Образцы $B^{20}_{\text{вода}}$, $B^{40}_{\text{вода}}$ и $B^{60}_{\text{вода}}$ проявили ослабление интенсивности окраски и приобрели характерный желтоватый и буроватый оттенки. Это объясняется разрушением бетанина с образованием циклодифенилаланина и беталамовой кислоты, которые подверглись окислению и вступили в реакции с другими веществами свеклы и отдельными аминокислотами (гидролиз бетанина), образовав новые окрашенные соединения – меланоидины. Полученные результаты позволяют подобрать наиболее благоприятные условия рН-среды и тепловой обработки, что существенно повлияет на их антиоксидантную, противораковую, антилипидемическую и антимикробную активность готовых блюд из свеклы.

Необходимо отметить, что окраска свеклы при хранении может определенным образом восстанавливаться за счет процессов регенерации бетанина. Изменение температурной обработки свеклы приводит к существенному разрушению бетанина, так например, в очищенной и сваренной свеклы в воде, содержится 35 % бетанина, а в отваре 12-13 %, что свидетельствует о термической деградации изучаемого пигмента. Разрушение бетанина свеклы при тепловой обработки зависит от рН среды, температуры и концентрации пигмента. В работе установлено, чем выше температуры обрабатываемой среды, тем быстрее разрушается пигмент. Лучшая сохраняемость бетанина наблюдается при его бóльшей концентрации и в связи с этим целесообразнее варить или запекать свеклу не очищенной.

Также экспериментально установлено, что при варке в подкисленной уксусной кислотой воде наблюдается более яркая и интенсивная окраска агликона бетанидина из-за изменения рН среды. При рН меньше двух, раствор приобретает фиолетово-сиреневую окраску, а при бóльших значениях рН – красно-огненную.

Полученные данные эффективно использовались в процессе изучения особенностей тепловой обработки блюд, содержащих отварную свеклу сорта «Красный шар». Таким образом, были проанализированы рецептуры следующих блюд: винегрет с растительным маслом; салат из отварной свеклы с чесноком с растительным маслом; борщ на мясном бульоне со сметаной; борщ с фасолью со сметаной; суп свекольный на мясном бульоне со сметаной; свекла тушеная; салат из отварной свеклы с яблоком с соусом салатным.

Каждое из этих блюд можно включать в рационы питания детей, подростков и лиц любой возрастной категории, особенно работающих при вредных условиях труда, так как содержат пищевые и растительные волокна, которые имеют очень большое значение в питании, регулируя работу кишечника. Растительные волокна способны сорбировать на своей поверхности различные вредные вещества, поступающие с пищей (тяжелые металлы), или образующиеся в организме, такие как холестерин, и выводить их.

Литература:

1. Технология продукции общественного питания. В 2-х т. Т.1. Физико-химические процессы, протекающие в пищевых продуктах при их кулинарной обработке / под ред. А.С. Ратушного и др. - М.: Мир, 2004.- 351 с.
2. Meat Productivity of Cattle Depending on the Composition of the Ration /Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – №9(4), p.1247-1251 /SmolentsevS.Yu. VolkovA.Kh., PapunidiE.K., Yusupova G.R.,Nikolaev N.V., LarinaYu.V, Romanova N.K.
3. Романова, Н.К. Оптимизация процесса экстракции ягод клюквы в роторно-пульсационном аппарате / Романова Н.К., Китаевская С.В., Решетник О.А. // Журнал «Вестник КГТУ». – 2018. – Т.21№10, С. 166-171.
4. Романова, Н.К. Сравнительный анализ качественных показателей красных вин, реализуемых на предприятиях общественного питания / Романова Н.К. // Журнал «Вестник КГТУ». – 2011. – №22, с 75-83.
5. Использование солей янтарной кислоты в пивоварении / М.О.Бакшаева, Н.К.Романова // Журнал «Вестник КГТУ». – 2014. – №2, с 217-219.
6. Мингалеева, З.Ш. Определение оптимальной концентрации добавок антиоксидантного действия при производстве мучной кондитерской продукции во фритюре / З.Ш. Мингалеева, Л.И. Агзамова, О.В. Старовойтова и др. // Естественные и технические науки. –№ 5 (83). – 2015. - С. 171-177.

7. Агзамова, Л.И. Изучение влияния глюкозно-фруктозного сиропа на потребительские свойства готового изделия / Л. И. Агзамова, З.Ш. Мингалеева // Вестник Казанского технологического университета. – Т. 17.- № 21. – 2015. - С. 229-231.

8. Муравьева, Е.В. Техносферный риск-менеджмент селитебных зон / Е.В.Муравьева, В.Л. Романовский, А.В. Кузьмин, Д.Ш. Сибгатулина // Качество и жизнь. – №2 (10), – 2016. – С. 52-60.

9. Risk-Thinking Forming In The Aspect Of The Sendai Program Requirements / Modern Journal of Language Teaching Methods. – 2018. – Vol. 8, Issue 5, p.1247-1251 / Kadriya I. Sibgatova, Elena V. Muravyova, Alina T. Khismatova, Marina V. Golovko, Nadezhda N. Maslennikova, Ella I. Biktemirova