Соколова Ю.Д., Щербакова А.Н., Челнакова П.Н., Рекунова Д.В.
Исследование коллоидных явлений в водных растворах
красителя свекольного красного

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального
исследовательского ядерного университета «МИФИ»
(Россия, Обнинск)*

doi: 10.18411/lj-05-2019-11

idsp: lj-05-2019-11

Аннотация

Водный раствор, полученный из сухих чипсов корнеплода свеклы столовой, является коллоидным раствором. Ярко окрашенные водные растворы свекольного красного быстро обесцвечиваются при хранении на свету из-за гидролиза бетанина – молекулы красителя. При хранении происходит помутнение и выпадает осадок вследствие коагуляции белка. Белки связаны с красителем водородными связями, при коагуляции которых высвобождается краситель и инициируется процесс гидролиза красителя. Это подтверждается принудительным осаждением белка, краситель выпадает вместе с ним в осадок. Использование природного высокомолекулярного загустителя позволило снизить скорость коагуляции и окрашенный раствор сохранялся длительное время. В качестве высокомолекулярного соединения использовалась гуаровая камедь.

Ключевые слова: краситель свекольный красный, водные растворы, бетанин, гидролиз, коагуляция, белки, гуаровая камедь.

Abstract

Aqueous solution produced out of Beta vulgaris chips is a colloid solution. Vividly colored aqueous solutions of Beetroot Red quickly fade, when kept in daylight, due to betanin (the colorant molecule) hydrolysis. Protein coagulation results in turbidity and residuum in the solution under storage conditions. Proteins and the colorant form hydrogen bonds. Under coagulation of these bonds, the colorant is released, and colorant hydrolysis is initiated. It is proved by the fact that forced protein settling leads to the colorant precipitate together with the protein. The use of high-molecular densifier helped reduce the coagulation speed, and the solution retained its color longer. Guar gum was used as the high-molecular compound.

Keywords: Colorant of Beetroot Red, aqueous solution, betanin, coagulation, protein, guar gum.

Введение

Интерес к натуральным красителям связан с тем, что применяемые в пищевой промышленности и фармацевтике яркие синтетические красители, вредны для здоровья. Известно множество натуральных красителей, производимых из природного сырья, это куркумин, кармин, антоциановые красители, беталаины. Многие из них имеют не стабильную окраску, поэтому актуальной задачей является поиск условий и стабилизаторов, которые позволят использовать их продолжительное время. Одним из таких красителей является свекольный красный.

Свекольный красный содержит пигмент природного происхождения, относящийся к группе беталаинов [1]. Группа этих пигментов имеет ограниченное распространение в природе, она хорошо известна по окраске корнеплодов свеклы столовой (*Beta vulgaris*). Изначально идеально прозрачный раствор свекольного красного через сутки на свету начинает мутнеть, в результате выпадает белый осадок, и через некоторое время раствор обесцвечивается. Вследствие таких явлений растворы свекольного красного тяжело использовать. В водном растворе молекула бетанина подвергается гидролизу и распадается по альдиминовой связи [2]. И соответственно, раствор красителя теряет свои спектральные свойства.

2. Методы и приборы

Для исследований использовались чипсы, приготовленные из корнеплодов свеклы столовой сорта «Цилиндра» – толщиной 1 мм и размером во весь корнеплод, высушенные при температуре 70°C. Такая форма приготовления натурального продукта, выбрана для уменьшения попадания твердых включений в раствор. Водный раствор настаивался в течение 30-40 минут при комнатной температуре и фильтровался с помощью фильтров «Белая лента». Содержание красящих веществ в красителе определили сравнением интенсивности окраски с раствором сернокислого кобальта [3] и составляла 0.007 моль/л.

Изменение окраски раствора контролировалось по изменению оптической плотности с помощью КФК-3М. Длина волны измерений составляла $\lambda_{\text{max}}=540$ нм, что соответствует максимуму поглощения бетанина.

В качестве стабилизатора использовалась пищевая гуаровая камедь, с концентрацией 0.05 г/мл.

3. Результаты и обсуждения

Водный раствор, полученный из сухих чипсов корнеплода свеклы столовой, является коллоидным раствором. Несмотря на первоначальную, идеальную прозрачность, раствор соответствует всем характеристикам коллоидных систем, имеет конус Тиндаля, разделялся при электрофорезе.

В растворе после хранения на свету образуется небольшое количество белого осадка, который был проверен качественными реакциями на белки, биуретовой и нингидриновой. Обе реакции дали положительный результат. Поэтому можно утверждать, что при комнатной температуре в осадок выпадает белок. Изначально в растворе находятся водорастворимые белки, имеющие гидрофильные группы, находящиеся снаружи глобул. При малых концентрациях глобулы разворачиваются, образуют более крупные агрегаты и коагулируют.

Белок, выпадающий в осадок, примерно через сутки после приготовления раствора, имеет белый цвет. При принудительном осаждении ацетатом свинца осадок окрасился в красно-фиолетовый цвет. Известно, что комплекс белков с солями свинца имеет белую окраску, следовательно, краситель осаждается вместе с белком. Таким образом, белок в растворе находится в связанном состоянии с красителем посредством водородных связей. Соответственно, белок является инициатором гидролиза красителя. Образуя большие агрегаты, происходит разрыв водородных связей между белком и красителем, что облегчает атаку молекул воды на молекулу бетанина.

Для выяснения момента начала реакции гидролиза были проведены измерения оптической плотности в течение первых трех часов после приготовления раствора. Из рисунка 1 видно, что изменения в структуре раствора начинаются сразу после его приготовления. Раствор при этом остается прозрачным в течение этого времени, и только при достижении определенной концентрации, начинается видимый процесс коагуляции, приводящий к помутнению раствора, наблюдаемый человеческим глазом. При этом, процесс сопровождается помутнением раствора, что наблюдается повышением оптической плотности/мутности (рис. 2).

Рис. 1 Изменение интенсивности окраски раствора свеклового красного за первые три часа хранения раствора на свету при комнатной температуре.

Для стабилизации цвета и уменьшения скорости гидролиза в водном растворе свеклового красного был использован природный высокомолекулярный гидроколлоид, в качестве которого была предложена гуаровая камедь, применяемая в пищевой промышленности. Ее растворы дают структурированные жидкости, при больших концентрациях превращая водные растворы в гель. При очень малых концентрациях молекула камеди не способна образовывать трехмерную сетку связей, но может образовывать водородные связи с белком и красителем, за счет множества гидроксильных групп, тем самым препятствуя коагуляции белка и, соответственно, разрушению бетанина. При этом стоит отметить, что сохранение цвета при добавлении гуаровой камеди наблюдается даже при выпадении в осадок некоторого количества белка и образовании устойчивой мути раствора. Что говорит о том, что краситель остается связанным с гуаровой камедью, и эта связь более сильная, чем с белком.

Добавление очень небольшого количества гуаровой камеди стабилизировало раствор красителя на длительное время. Раствор сохранял окраску в течение трех месяцев, для сравнения обычный раствор обесцвечивается полностью за 120 -500 часов, в зависимости от сорта свеклы.

Рис. 2 Влияние содержания гуаровой камеди в водных растворах свеклового красного на цветовую стабильность раствора при его хранении на свету при комнатной температуре. 1 – водный раствор свеклового красного (0.007 моль/л); добавка гуаровой камеди: 2 – 1 г/л; 3 – 0.2 г/л; 4 – 0.1 г/л.

На рисунке 2 представлены зависимости оптической плотности/мутности от времени выдержки раствора на свету при комнатной температуре. Для эксперимента использовались растворы с разным содержанием камеди. Изгиб на кривых раствора красителя связан с коагуляцией белка и помутнением раствора. Видно, что при

добавлении камеди 0.1 г/л, кривая сохраняет геометрию исходного раствора, что говорит о достаточно сильных взаимных влияниях белка и красителя. При концентрации 1 моль/л (кривая 2) виден эффект, быстрой коагуляции не происходит, интенсивность раствора увеличивается.

Для предотвращения брожения раствора красителя была добавлена аскорбиновая кислота, обладающая антиоксидантными, антибактериальными свойствами. После добавления кислоты было отмечено сохранение прозрачности, отсутствие брожения, мутности и осадка. Изменение рН раствора изменило заряд белка, поскольку белки являются амфолитами, и, теряя заряд, выпадают в осадок (изоэлектрическая точка). Поэтому добавление кислоты, делает белки заряженными и растворимыми в воде. Кислая среда положительно влияет на бетанин, известно, что при рН 3-5 краситель более стабилен [4]. Аскорбиновая кислота, являясь антиоксидантом, замедляет процессы окисления бетанина. Но кислая среда отрицательно влияет на камедь, так как в кислых растворах она гидролизует до моносахаридов.

Рис. 3 Сравнение времени деградации красителя свекольного красного в водных растворах с различными добавками. 1 – водный раствор свекольного красного (0.007 моль/л); добавки: 2 – гуаровая камедь 1 г/л; 3 – гуаровая камедь 1 г/л и аскорбиновая кислота 0.06 моль/л.

Из рисунка 3 видно снижение интенсивности окраски при добавлении аскорбиновой кислоты. Однако раствор после 250 часов остается достаточно окрашенным. Данный эксперимент показал, что изменение рН в сторону кислых значений благоприятно влияет на стабильность окраски раствора. Поиск эффективных кислых добавок, позволяющих не разрушать камедь и замедлять процесс коагуляции и, соответственно гидролиз, задача будущих исследований.

1. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. 1986. М.: Мир. 422 с.
2. Herbach K., Stintzing F.C., Carle R. // J. of food sci. 2006.V. 4. N. 71(4). P. 41–50.
3. Харламова О.А., Кафка Б.В. Натуральные пищевые красители – М.: Пищевая промышленность. – 1979 – 191 с.
4. Henriette M.C. Azeredo// International J. of food sci. & technology.V.12. N.44. P. 2365 – 2376.