

УДК: 641.13

КАРАМЕЛИЗАЦИЯ И ИНВЕРСИЯ ПРОСТЫХ САХАРОВ

**Сергаченко С.Н., кандидат биологических наук, доцент,
тел. 8(8422) 55-95-16, ssergstenko@yandex.ru**
Сергаченко М.А., студент, тел. 89020012306, sergatenkom@mail.ru
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Ключевые слова: карамелизация, фруктоза, сахароза, лимонная кислота, инверсия, способы карамелизации, инвертный сахар, вкус продуктов.

Работа посвящена изучению способов карамелизации и инверсии сахарозы и фруктозы. Выявлена зависимость скорости протекания стадий карамелизации от вида и концентрации простых сахаров, степени их инвертирования. Установлено, что наиболее предпочтительным для кондитерской промышленности является влажный способ карамелизации 25% раствора сахарозы и фруктозы с добавлением 1% раствора лимонной кислоты.

Введение. Карамелизация является одним из основных процессов, применяемых в пищевой промышленности, и представляет собой распад молекул сахаров при воздействии температуры выше 100 °С с последующей полимеризацией [1,2]. Особенно важна ее роль в кондитерском производстве. Сахара в процессе карамелизации теряют кристаллическую структуру и переходят в конденсированное состояние. Продукты конденсации имеют различный химический состав, строение и молекулярную массу. Окраска меняется от светло-жёлтой до тёмно-коричневой, а вкус - от сладкого до горького в зависимости от продолжительности и характера нагрева приготавливаемого изделия [2,3]. Благодаря процессу карамелизации получают не только различные виды конфет, но и целый спектр кондитерских изделий и различных продуктов питания. Этому процессу мы обязаны сладким вкусом овощей и фруктов при их тепловой обработке, появлением аромата и золотистой корочки хлеба, хлебобулочных изделий и жареного мяса, усилением вкуса добавленных специй и многому другому [2, 4, 5].

Карамелизация может происходить в 2 формах: дегидратация сахаров и разложение моносахаридов. Основные стадии карамелизации, используемые в пищевом производстве, включают карамелан, карамелен и карамелин [6,7]. В литературе имеются сведения о влиянии на скорость карамелизации вида сахара и pH среды [7, 8, 9]. Однако динамика и особенности

протекания стадий карамелизации, а также их зависимость от вида и концентрации простого сахара изучены недостаточно и требуют детализации.

Материалы и методы исследований. Опыты проводились в лаборатории химии и биохимии 1 корпуса УлГАУ. Материалом для исследования процесса карамелизации являлись растворы сахарозы и фруктозы в концентрации 25 %, 50 % и 100 % в нейтральной и слабокислой среде с добавлением лимонной кислоты. Для инверсии сахаров использовали 1% раствор лимонной кислоты. В ходе эксперимента фиксировали начало и продолжительность стадий и этапов карамелизации, вкус и цвет получаемого продукта. Опыты проводились в трехкратной повторности.

Результаты исследований и их обсуждение. Карамелизация по своей химической природе относится к пиролизическим реакциям, в ходе которых углеводные соединения разрушаются или соединяются, полимеризуются и превращаются в различные по своей природе продукты [9,10]. Природа и свойства образующихся веществ определяется видом и концентрацией сахара [9, 11].

В наших исследованиях использовалась сахароза, которая является основным пищевым сахаром, относится к дисахаридам и состоит из глюкозы и фруктозы [12,13]. В ходе эксперимента применялся сухой и влажный способ карамелизации. При влажном способе карамелизации готовили 25% и 50 % растворы сахарозы (таблица). Для инвертирования сахаров добавляли 1 % раствор лимонной кислоты.

Таблица - Карамелизация простых сахаров.

Вариант опыта	Стадии карамелизации								
	карамелан			карамелен			карамелин		
	цвет	длительность, с	вкус	цвет	длительность, с	вкус	цвет	длительность, с	вкус
Сахароза 100 %	Белый, светложелтый	155	Сладкий	Желто-рубиновый	28	Горько-сладкий	Темно-коричневый	25	Горький
Сахароза 50%	Кремовый	159	Сладкий	Желто-красный	49	Сладко-горьк	Коричневый	30	Горький
Сахароза 25%	Кремовый	172	Сладкий	Желто-красный	76	Сладко-горьк	Коричневый	48	Горький
Сахароза 50%+ лимонная кислота	Кремовый	170	Сладкий	Желто-красный	62	Сладкий	Красно-коричневый	42	Горький
Сахароза 25%+ лимонная кислота	Кремовый	185	Сладкий	Желтый, рубиновый	90	Сладкий	Красно-коричневый	52	Горький
Фруктоза 100%	Белый, светложелтый	175	Сладкий	Рубиновый	72	Сладко-горьк	Темно-коричневый	32	Горький
Фруктоза 50%	Кремовый	182	Сладкий	Желто-красный	85	Сладкий	Коричневый	50	Горький
Фруктоза 25%	Кремовый	189	Сладкий	Желто-рубиновый	104	Сладкий	Коричневый	56	Горький
Фруктоза 50%+ лимонная кислота	Кремовый	192	Сладкий	Желто-рубиновый	100	Сладкий	Красно-коричневый	56	Горький
Фруктоза 25%+ лимонная кислота	Кремовый	203	Сладкий	Рубиновый	112	Сладкий	Красно-коричневый	62	Горький

При карамелизации водного раствора сахароза подвергается гидролизу до мономеров фруктозы и глюкозы, а при дальнейшем распаде – до ангидридов фруктозана и глюкозана [1, 4]. При разложении моносахаров в процессе дальнейшего нагревания, образующиеся ангидриды взаимодействуют между собой и простыми сахарами, конденсируются и дают соединения с большим числом глюкозных единиц в молекуле, чем в исходном

сахаре. Наряду с этим продолжается обезвоживание с образованием оксиметилфурфура, который в дальнейшем распадается на муравьиную и леволиновую кислоты. Последние являются катализаторами протекающего процесса и усиливают реакцию полимеризации и уплотнения молекул, что приводит к появлению окрашенных веществ, отражающих этапы карамелизации [2, 5]. В ходе этого процесса наблюдался плавный переход окраски от светло-желтого цвета (стадия карамелана) к желто-красному (стадия карамелена) и далее до темно-коричневого цвета (стадия карамелина) [12, 13].

Скорость смены стадий и продолжительность каждого этапа карамелизации в нашей работе были прямо пропорциональны концентрации сахарозы (таблица). Самая плавная смена стадий и длительное течение каждого этапа наблюдались в опыте с 25 % раствором сахарозы. В этой серии опытов продолжительность стадии карамелана была на 11 % выше сухого способа карамелизации (100 % сахарозы), а длительность этапа карамелена превышала сухой способ в 2,73 раза. Карамель, получавшаяся на данных стадиях, имела сладкий вкус и красивый внешний вид. Длительное течение фазы карамелана и карамелена наиболее ценно в кондитерском производстве. Добавление в качестве инверсирующего агента 1 % раствора лимонной кислоты дополнительно увеличивало продолжительность данных стадий и улучшало внешний вид и вкус получаемой карамели. Особенно заметна данная тенденция в варианте 25 % сахарозы и 1 % раствором лимонной кислоты.

При сухом способе карамелизации все стадии протекали быстро, особенно этап карамелена, и горький вкус проявлялся уже в середине данной стадии. Фаза карамелина наступала очень скоро, полученная карамель имела отвратительные вкусовые качества, цветовые и растворимые фазы были плохо выражены. При нагревании сухой сахарозы наблюдалось плавление дисахарида и быстрое появление темно-жёлтой окраски, резко переходящей в коричневую, ощущался специфический запах пережженного сахара. Наблюдаемая динамика окраски свидетельствовала о скором наступлении стадии карамелена $C_{36}H_{50}O_2$, быстро переходящей в карамелин и гуминовые кислоты. После сильного прокаливания сахара оставался почти чистый углерод и ощущался запах гари [9, 11, 13].

Фруктоза относится к моносахаридам, а именно к кетозам и редуцирующим сахарам, встречается в ягодах, фруктах, мёде и других продуктах, является ценным источником энергии, особенно в диабетическом питании [5, 9]. Данный простой сахар кроме процесса карамелизации может вступать в реакции Майяра с аминокислотами и белками с образованием меланоидиновых соединений, усиливающих вкус и цвет продуктов [2,5] . В нашем исследовании наилучший процесс карамелизации наблюдался в опытах с 25 %

раствором фруктозы в слабокислой среде с добавлением лимонной кислоты. Стадия карамелена, наиболее необходимая для производства карамели, была выражена отчетливо, имела большую продолжительность. Карамель, получаемая на этом этапе, обладала прекрасным нежным сладким вкусом и красивым рубиновым цветом. В целом длительность процесса карамелизации фруктозы на всех вариантах опытов превышала аналогичные концентрации сахарозы

Заключение. Таким образом, для создания качественной карамели наиболее подходил влажный способ карамелизации 25 % раствора сахарозы или фруктозы с добавлением 1 % лимонной кислоты.

Библиографический список

1. Бочков, А.Ф. Углеводы./ А.Ф. Бочков, В.А. Афанасьев, Г.Е. Заиков// М.: Химия. – 1983. – 720 с.
2. Де Векки, А.В. Оптическая активность и химия углеводов./ А.В. Де Векки, А.В. Курзин// Учебное пособие – Санкт-Петербург, СПбГТУРП. – 2011. – 153 с.
3. Процесс карамелизации в пищевой промышленности. Справочник химика 21. Химия и химическая технология [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.chem21.info/info/784015>.
4. Процесс карамелизации (презентация) [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://present5.com/process-karamelizacii-vypolnila-studentka-gr1491-ryabuxina-a-v>.
5. Карамелизация [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.hmong.press/wiki/Caramelization>.
6. Карамелизация сахаров [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://helpiks.org/5-107895.html>.
7. Рацимба, В. Качественная и количественная оценка моно- и дисахаридов в карамелях D-фруктозы, D-глюкозы и сахарозы с помощью газожидкостной хроматографии. -масс-спектрометрии. Диангидриды ди-D-фруктозы как индикаторы подлинности карамели / Рацимба, В., Джардиа Фернандес Дж. М., Дж. Дефай, Нигай Х., А. Войли // Journal of Chromatography A. - 1999 г. - vol. 844. - № 1-2. - С. 283-293 (DOI 10.1016 / s0021-9673 (99) 00322-2).
8. Кочетков, Н.К. Химия углеводов /Н.К. Кочетков, А.Ф. Бочков, Б.А. Дмитриев, А.И. Усов, О.С. Чижов, В.Н. Шибяев// 1967
9. Физико-химические изменения сахаров при термической обработке. Карамелизация [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://studopedia.su/10_35128_karamelizatsiya.html.

10. Резервы повышения эффективности производства сахара на ОАО «Ульяновский сахарный завод / В.И. Костин, Ф.А. Мударисов, А.Л. Игнатов, С.Н. Сергатенко// Сахарная свекла. – 2017. - №10. – С.30-35.

11. Лабутина, В.А., Кудряшева А.Р. Особенности карамелизации сахарозы и фруктозы для получения карамели /Сборник В мире научных открытий, Материалы III Международной студенческой научной конференции. - Ульяновск, УлГАУ, 2019. - С. 370-373.

12. Молекула карамелизации: структура и методика обнаружения и оценок /Жак Defaye, Хосе Мануэль Гарсия Фернандес, Valérie Ratsimba, // Chemical News .- 2000. - № 24. - С. 24-27

13. Карамелизация сахара: особенности, этапы и рекомендации [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://yandex.ru/turbo/fb.ru/s/article_/384170/karamelizatsiya-sahara-osobennosti-etapy-i-rekomendatsii.

CAMELIZATION AND INVERSION OF SIMPLE SUGARS

Sergatenko S.N., Sergatenko M. A.

Keywords: *caramelization, fructose, sucrose, citric acid, inversion, methods of caramelization, invert sugar, taste of products.*

The work is devoted to the study of methods of caramelization and inversion of sucrose and fructose. The dependence of the rate of caramelization stages on the type and concentration of simple sugars, the degree of their inversion is revealed. It has been established that the most preferred method for the confectionery industry is the wet caramelization of a 25% sucrose and fructose solution with the addition of a 1% citric acid solution.