

Разработка гранулированных антиоксидантных продуктов на основе сахарозы

А.А. СЛАВЯНСКИЙ, д-р техн. наук, профессор (*anatoliy4455@yandex.ru*)

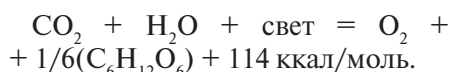
Д.П. МИТРОШИНА, аспирант (*d_mitr96@mail.ru*)

В.А. ГРИБКОВА, канд. техн. наук, доцент (*vera_gribkova@list.ru*)

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)»

Введение

Одним из важнейших элементов, обеспечивающих жизнедеятельность человека, является молекулярный кислород (O_2), который необходим для эффективного извлечения запасённой в поступающих с пищей углеводах, липидах и белках химической энергии. В начале развития жизни на Земле кислород в атмосфере отсутствовал, а живые организмы вырабатывали необходимую для обеспечения жизнедеятельности энергию в процессе анаэробного окисления [17]. Появление в атмосфере планеты кислорода обусловлено фотосинтетической деятельностью зелёных растений. При фотохимическом разложении воды в процессе фотосинтеза образуется важнейший химический окислитель — молекулярный кислород, а также синтезируется ведущий восстановитель — водород, который необходим для восстановления углерода с образованием органических соединений. В основном процесс фотосинтеза протекает в листьях растений в специфических биосинтетических центрах клетки — хлоропластах [18]. Процесс фотосинтеза в общем виде может быть описан уравнением



В результате постоянно протекающих на Солнце термоядерных реакций образуется солнечное излучение, поэтому энергия Солнца является постоянным и неограниченным источником энергии на Земле. Расстояние между Солнцем и Землёй составляет примерно 149,6 млн км, при этом поток солнечного излучения, приходящегося на единицу направленной к Солнцу поверхности, составляет 1400 Вт/м². Примерно 7–8 % достигшей верхних слоёв атмосферы солнечной энергии приходится на долю растений, тогда как большая часть энергии затрачивается на процессы дыхания, испарения, теплообмена и отражается от поверхности океанов и др. В процессе фотосинтетической деятельности растений при воздействии ферментов в их клетках солнечная энергия преобразуется в энергию химических соединений, которые накапливаются в растительных организмах в виде сахарозы ($C_{12}H_{22}O_{11}$) (рис. 1). Накопленные соединения передаются с пищей от растений к животным — консументам первого порядка, а от них — к консументам второго и высших порядков, а по мере гибели организмов или выделения ими продуктов жизнедеятельности — к редуцентам.

Образующийся в процессе фотосинтеза молекулярный кислород довольно инертен в химическом

отношении, однако он служит источником активных форм кислорода (АФК), которые являются неизбежными участниками аэробного метаболизма. У живых организмов АФК возникают спонтанно, как побочный продукт протекающих с участием молекулярного кислорода процессов, а также ферментным путём. АФК необходимы для регуляции роста и развития живых организмов, участия в защитных реакциях на неблагоприятные воздействия окружающей среды, заживления повреждений. Важнейшие присутствующие в живых организмах АФК представлены в табл. 1.

В группу АФК входят ионы кислорода, свободные радикалы и перекиси как неорганического, так и органического происхождения. Благодаря наличию неспаренного электрона на внешнем электронном уровне АФК обладают высокой реакционной способностью. Данные молекулы стремятся восстановить свою электронную структуру за счёт изъятия недостающих электронов у соседних молекул. Отдавшая свой электрон молекула превращается в свободный радикал. Действие АФК на биомолекулы (белки, липиды, углеводы, нуклеиновые кислоты и др.) способствует их необратимым окислительным повреждениям. Для живых организмов наибольшую опасность представляет

Таблица 1. Основные активные формы кислорода в организме человека

Активная форма кислорода	Название
$\cdot\text{OH}$	Гидроксил-радикал
$\text{O}_2\cdot$	Супероксид-радикал
$\text{HO}_2\cdot$	Гидропероксил-радикал
$\text{RO}\cdot$	Алкоксил-радикал
$\text{LO}\cdot$	Липидный радикал
$\text{ROO}\cdot$	Алкил-пероксил-радикал
$\text{LOO}\cdot$	Липидный пероксил-радикал
$^1\text{O}_2$	Синглетный кислород
H_2O_2	Пероксид (перекись) водорода
ROOH	Гидропероксид
LOOH	Гидропероксид (гидроперекись) липида

цепное окисление полиненасыщенных жирных кислот, или перекисное окисление липидов [15]. В результате окисления липидов в качестве продуктов реакции образуется большое количество обладающих высокой реакционной способностью липидных гидроперекисей, которые оказывают мощное повреждающее действие на клетку.

Предотвратить перекисное окисление липидов и накопление АФК в организме человека способна система антиоксидантной защиты. Антиоксидантную систему условно подразделяют на специфическую, в которую входят ферментативные и неферментативные вещества, снижающие

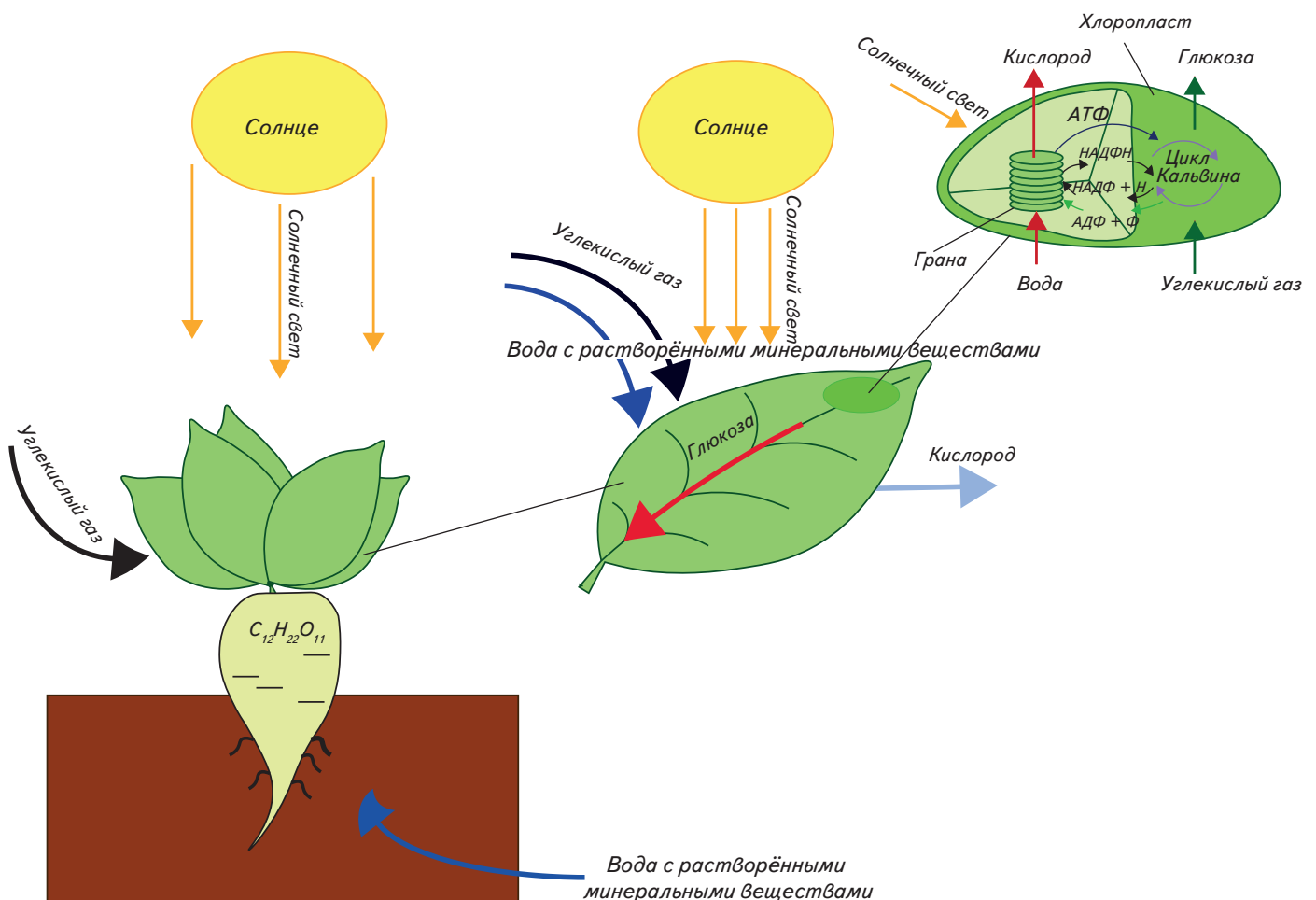


Рис. 1. Схема процесса фотосинтеза

уровень оксидантов, что приводит к обрыву цепной реакции окисления, а также неспецифическую, снижающую дополнительную генерацию свободных радикалов. Снижение негативного воздействия свободных радикалов происходит за счёт обмена свободного атома водорода антиоксидантов на содержащийся в свободных радикалах кислород (рис. 2).

Наиболее выраженными антиоксидантными свойствами обладают входящие в структуру специфической антиоксидантной системы витамины А, С и Е [1]. Эти антиоксиданты могут попадать в организм человека вместе с пищей, однако в рационе питания современного человека преобладают рафинированные пищевые продукты, освобождённые не только от посторонних включений, токсинов, микроорганизмов, но и от многих жизненно необхо-

димых веществ. Кроме того, естественная антиоксидантная система организма часто перегружена лавиной свободных радикалов, что способствует возникновению в организме человека окислительного стресса (рис. 3).

Явление окислительного стресса было изучено в ряде работ отечественных и зарубежных учёных. Первые предпосылки к формированию негативного мнения о действии свободных радикалов на организм человека были выдвинуты ещё в 50–60-е гг. группой учёных под руководством Н.Н. Семёнова [6]. Примерно в это же время американским учёным Д. Харманом была разработана свободнорадикальная теория старения [14]. Таким образом, ещё с середины прошлого века было установлено, что если избыточное взаимодействие свободных радикалов с различными органическими соединения-

ми, входящих в состав клеточных структур, не будет остановлено, то это может привести к возникновению заболеваний, ослаблению иммунной системы человека, усилению процесса старения организма, а также будет способствовать быстрой утомляемости, физической и умственной слабости [1].

В соответствии с утверждённой правительством РФ Стратегией повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года [10] развитие научных исследований в области создания продукции, способствующей профилактике неинфекционных заболеваний, является одной из тенденций современной науки о питании. Известно, что различные слои населения России испытывают дефицит витаминов и антиоксидантов, в том числе β-каротина, являющегося провитамином А и обладающего антиоксидантными свойствами [6]. Поэтому важнейшим инструментом профилактики различных заболеваний является создание витаминизированных продуктов питания.

Сахар – один из наиболее востребованных продуктов повседневного спроса, используемый как в пищевых, так и в технических целях, причём он является одной из составных частей рациона питания человека [11, 12]. Несмотря на то что в настоящее время значительно возрос интерес к низкокалорийным и некариесогенным видам сладкой продукции, благодаря своим технологическим свойствам сахар по-прежнему является широко используемым в пищевой промышленности ингредиентом. На клеточном уровне сахар способен обеспечить организм человека энергией, при этом он является единственным источником питания клеток головного мозга. С этих позиций сахар входит в группу продуктов питания высокого социального значения.

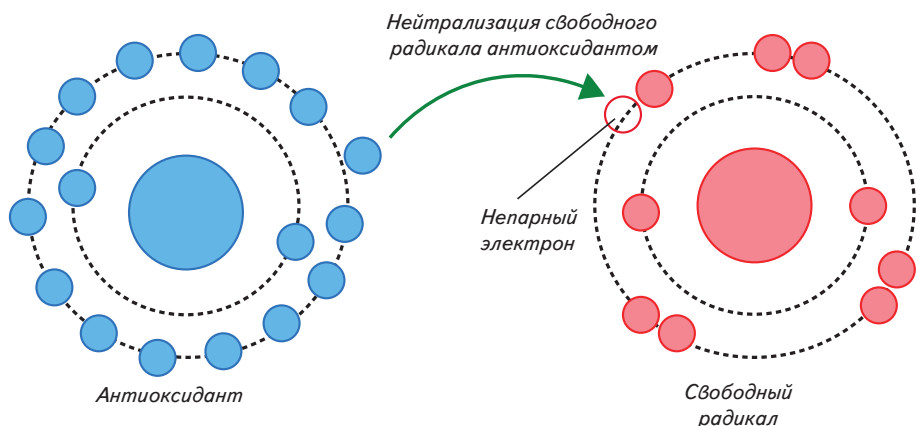


Рис. 2. Общий принцип действия антиоксидантов

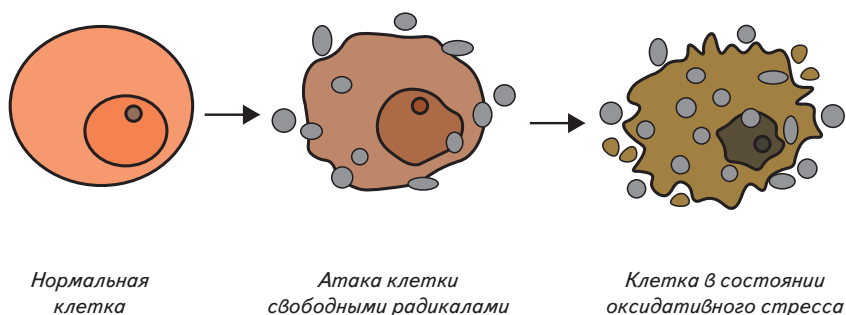


Рис. 3. Влияние окислительного стресса на клетку

Важнейшим условием укрепления здоровья является обеспечение населения страны высококачественной и безопасной пищей. Давно известно, что от качества питания в целом и отдельных его компонентов напрямую зависит здоровье человека. Согласно нормативным документам [4] потребность в сахаре должна составлять не менее 10 % от суточной калорийности рациона питания человека. Учитывая весомую роль сахара и сахаросодержащих продуктов в рационе питания человека, важ-

ным направлением развития сахарной промышленности является расширение ассортимента выпускаемой продукции на его основе [2, 3, 7, 9]. Поэтому на сегодняшний день актуально направление на обогащение кристаллического белого сахара антиоксидантами, в частности β-каротином и экстрактом зелёного чая.

Материалы и методы

В ходе исследования была разработана технология производства гранулированного сахаросодержа-

щего продукта, которая включает в себя концентрирование сахаросодержащего раствора и его нанесение на затравочные центры с целью дальнейшего наращивания [8]. На рис. 4 представлена схема формирования гранулы сахаросодержащего продукта.

На рис. 5 изображена блок-схема реализации способа производства гранулированного сахаросодержащего продукта, обогащённого антиоксидантами. Отличительной особенностью предложенного способа является использование

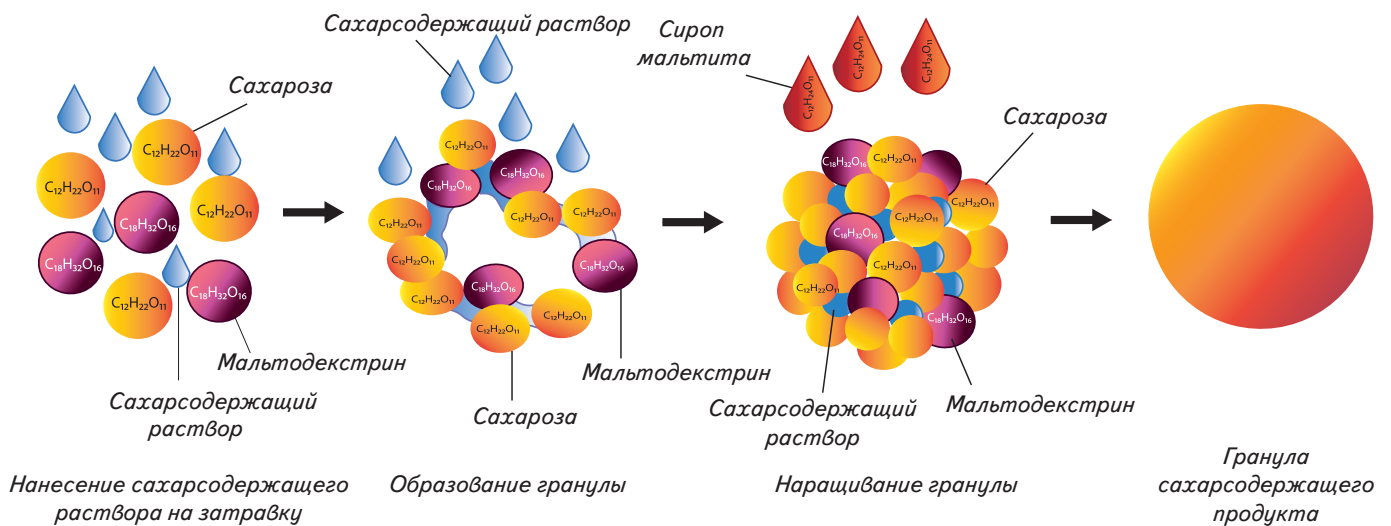


Рис. 4. Схема формирования гранулы сахаросодержащего продукта

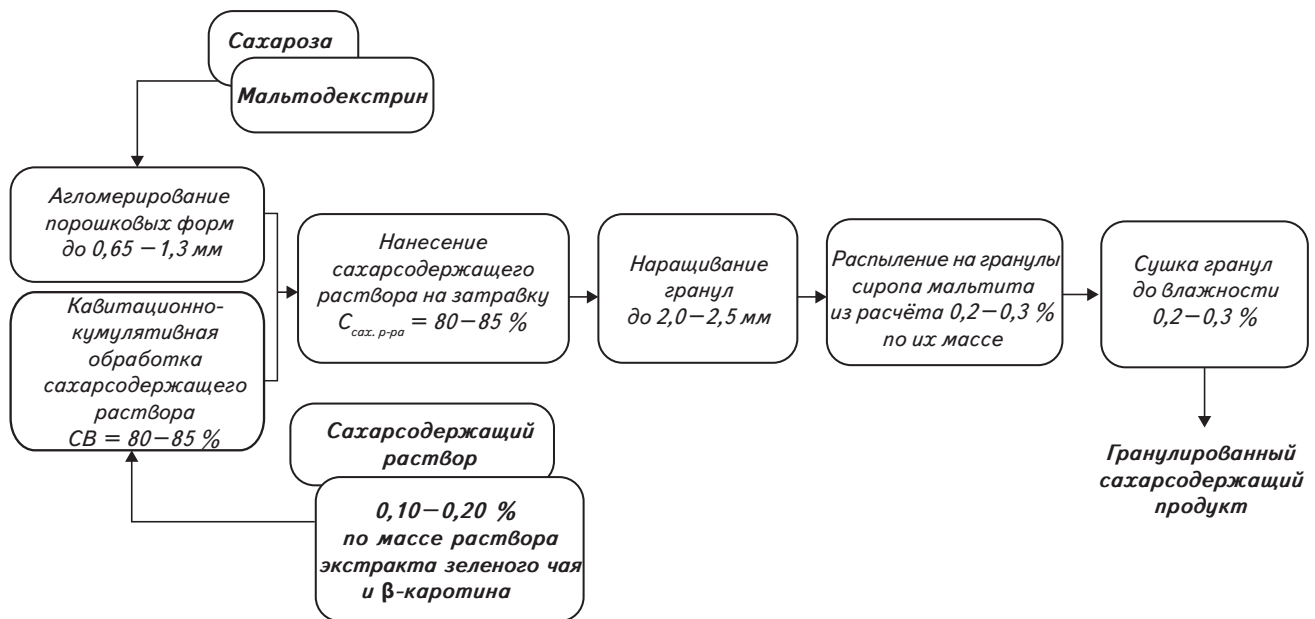


Рис. 5. Блок-схема производства гранулированного сахаросодержащего продукта

в качестве затравочных центров гранул, состоящих в равных количествах из кристаллов сахарозы и мальтодекстрина. Затравочные центры получают путём агломерирования порошковых форм сахарозы и мальтодекстрина до размера 0,65–1,3 мм. Нарастивание гранул проводят при нанесении на затравку сахаросодержащего раствора концентрацией 80–85 % сухих веществ. Предварительно в раствор вводят экстракт зелёного чая и β -каротин в равных количествах из расчёта 0,10–0,20 % по массе раствора.

Каротин – это природный пигмент из группы каротиноидов жёлто-оранжевого цвета. Известно два изомера каротина: α -каротин и β -каротин. Молекула витамина А представляет собой половину молекулы β -каротина с присоединением гидроксильной группы. При расщеплении β -каротина в организме могут образоваться две молекулы витамина А, а от α -каротина – лишь одна, поэтому β -каротин обладает большей провитаминой активностью. Антиоксидантную активность каротиноидов, в частности β -каротина, обуславливает наличие системы сопряжённых, чередующихся одинарных и двойных связей между атомами углерода (рис. 6). β -каротин связывает атомарный кислород и пероксильные радикалы, благодаря чему он защищает липидную оболочку клетки [1].

Разработанная технология предусматривает также внесение в сахаросодержащий раствор экстракта зелёного чая, обладающего выраженными антиоксидантными свойствами. Свежие листья чая содержат кофеин (примерно 3,5 % от общей массы СВ), теобромин (0,15–0,2 %), теофиллин (0,02–0,04 %) и другие метилксантины, лигнин (6,5 %), органические кислоты (1,5 %), хлорофилл (0,5 %) и другие пигменты, теанин (4 %) и свободные аминокислоты

(1–5,5 %). В листьях чая содержатся флавоны, фенольные кислоты и депсиды, углеводы, алкалоиды, минералы, витамины и ферменты. Наиболее выраженными антиоксидантными свойствами обладают полифенолы, в основном представленные катехинами, составляющими 25–35 % сухой массы листьев зелёного чая (табл. 2). Физиологическая ценность катехинов обусловлена тем, что в организме человека они принимают участие в обмене сложных белков, а также регулируют процесс деления клеток за счёт влияния на активность фермента теломеразы. Содержащийся в зелёном чае катехин эпигаллокатехингаллат увеличивает активность ферментов остеогенеза и увеличивает минерализацию костной ткани [6].

Катехины чая входят в семейство флавоноидов и имеют два бензольных кольца. Антиоксидантную активность флавоноидов, фенольных кислот и их сложных эфиров обуславливает наличие связанных с атомами углерода бензольного кольца ОН-групп. Полифенолы чая, в основном флавоноиды, хорошо известны своими антиоксидантными свойствами. Антиоксидантная активность полифенолов зелёного чая связана в первую очередь с комбинацией ароматических колец и гидроксильных групп, формирующих их химическую структуру. В результате взаимодействия с АФК исходные молекулы флавоноидов претерпевают изменения и трансформируются в нестабильное промежуточное соединение – феноксильный радикал, – которое в дальнейшем

вовлекается в новый цикл окислительно-восстановительных реакций [6, 16].

Для улучшения органолептических показателей сахаросодержащего продукта и равномерности смешивания вводимых в него ингредиентов при растворении кристаллов сахара сахаросодержащий раствор подвергают кавитационно-кумулятивной обработке. Этот процесс осуществляют подачей сахаросодержащего раствора со скоростью 10–15 м/с в суперкавитирующий статический аппарат при температуре 95–105 °С.

Кавитационно-кумулятивная обработка обусловлена парообразованием и дальнейшей конденсацией воздушных пузырьков в потоке пропускаемой жидкости с чередующимся режим сбросом в ней давления, в результате происходит разрушение структуры воздушных пузырьков ввиду их схлопывания, а вокруг растущей каверны наблюдается местное повышение температуры и давления [19]. При повышенном давлении частицы жидкости двигаются к центру схлопнувшегося воздушного пузырька со скоростью примерно в тысячу раз больше скорости звука, т. е. происходит как бы микровзрыв – выделение энергии в микроскопическом объёме (рис. 7). В результате кавитационно-кумулятивной обработки происходит изменение физико-химических свойств сахарного раствора, разрушение межмолекулярных и молекулярных связей, что способствует созданию условий не только активного растворения мельчайших кристаллов, но и исключает последу-

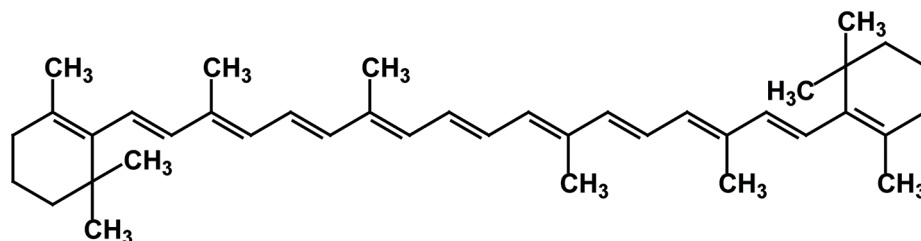
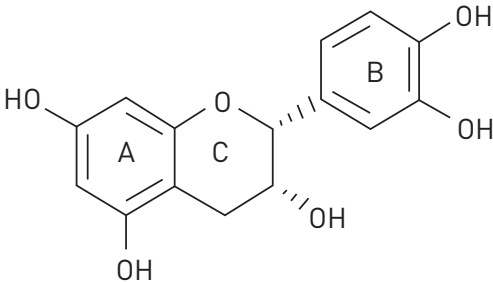
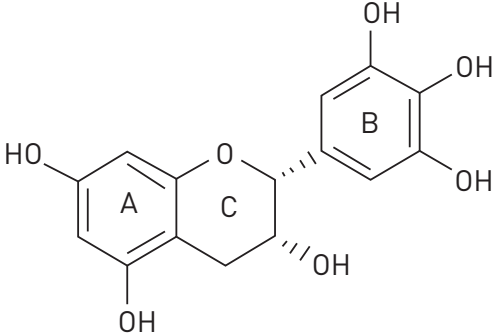
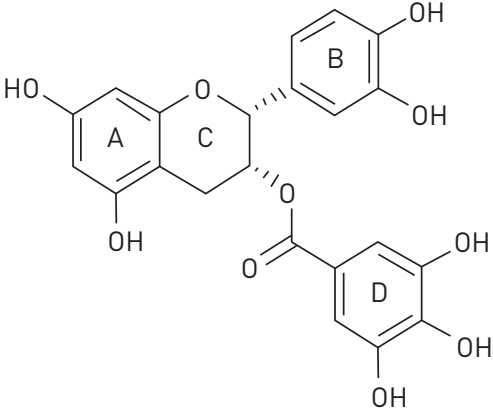
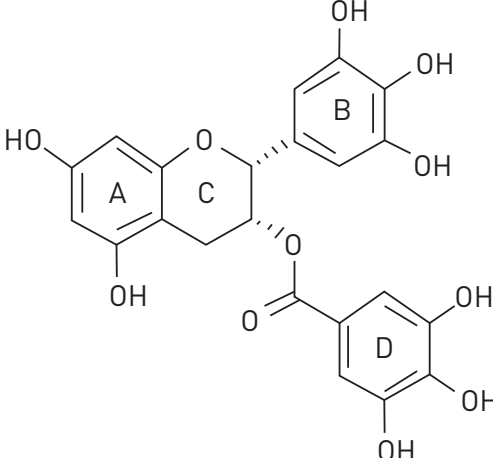


Рис. 6. Формула β -каротина

Таблица 2. Структура полифенолов зелёного чая

Название	Структурная формула	Молекулярная формула	Молярный вес, г/моль
Эпикатехин		$C_{15}H_{14}O_6$	290,271
Эпигаллокатехин		$C_{15}H_{14}O_7$	306,27
Эпикатехин-3-галлат		$C_{22}H_{18}O_{10}$	442,4
Эпигаллокатехин-3-галлат		$C_{22}H_{18}O_{11}$	458,4

ющее образование новых центров кристаллизации. При скорости 10–15 м/с поток закручивается и за лопастями СК-крыльчатки образуются суперкаверны, хвостовая пульсирующая часть которой (обтекатель) генерирует кавитационные микропузырьки. При схлопывании этих пузырьков в условиях разрежения-сжатия среды образуются сверхскоростные кумулятивные струйки, которые воздействуют на микрокристаллы сахара и разрушают их до полного растворения. Процесс нанесения сахаросодержащего раствора на поверхность гранул, их наращивание в грануляторе проводят до размера 2,0–2,5 мм, после чего для улучшения структуры и прочности на поверхность гранулы распыляют сироп мальтита из расчёта 0,2–0,3 % по их массе.

Данный подсластитель получают в результате каталитического гидрирования мальтозы, образующейся в результате гидролиза крахмала. Мальтит обладает высокой влагоудерживающей способностью и относится к классу наименее гигроскопичных сахарных спиртов. Его растворимость схожа с растворимостью сахарозы, поэтому растворы мальтита имеют низкую вязкость. Степень сладости мальтита составляет 80 % от сладости сахарозы, а его калорийность ниже калорийности сахара и составляет 2,5 ккал/г. К технологическим преимуществам мальтита можно отнести то, что он химически инертен и не вступает в реакцию Майяра, т. е. при взаимодействии с аминокислотами и белками мальтит не участвует в образовании тёмноокрашенных соединений [13]. По завершении этой операции гранулы сушат до влажности 0,2–0,3 %.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования полученный гранулированный сахаросодержащий продукт был охаракте-

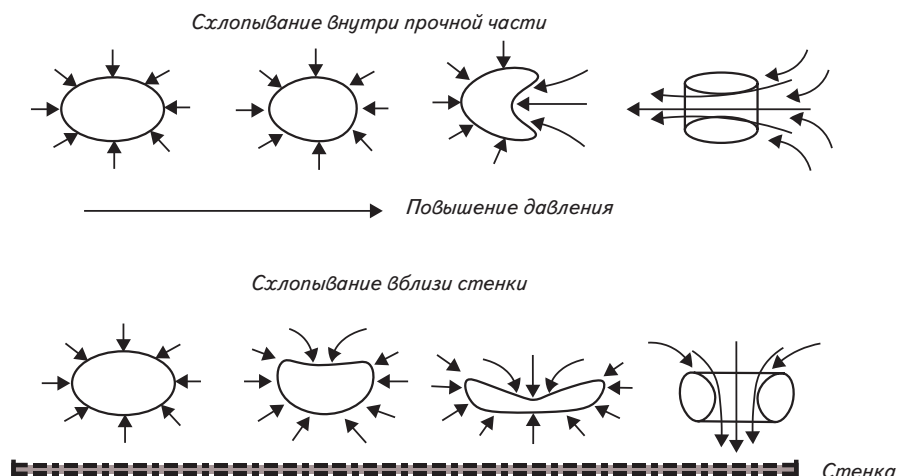


Рис. 7. Схлопывание воздушных пузырьков

ризован путём оценки его физико-химических свойств.

Одним из важных технологических свойств гранулированных сахаросодержащих продуктов является скорость их растворения. На скорость растворения влияют такие факторы, как время, температура, интенсивность перемешивания и размер образовавшихся гранул. В ходе работы исследована скорость растворения гранулированного сахаросодержащего продукта. Полученные результаты были сравнены со скоростью растворения кристаллического

белого сахара. Определение растворимости проводили в нормальных условиях в течение 120 с. при смешивании в 100 мл воды гранулированного сахаросодержащего продукта и кристаллического белого сахара (рис. 8). Исходя из данных графика, представленного на рисунке, можно заключить, что скорость растворения гранулированного сахаросодержащего продукта выше (60 с.), чем у кристаллического белого сахара (30 с.), из-за разницы в размере, форме и структуре гранул. Кроме того, гранулы содержат повышающие

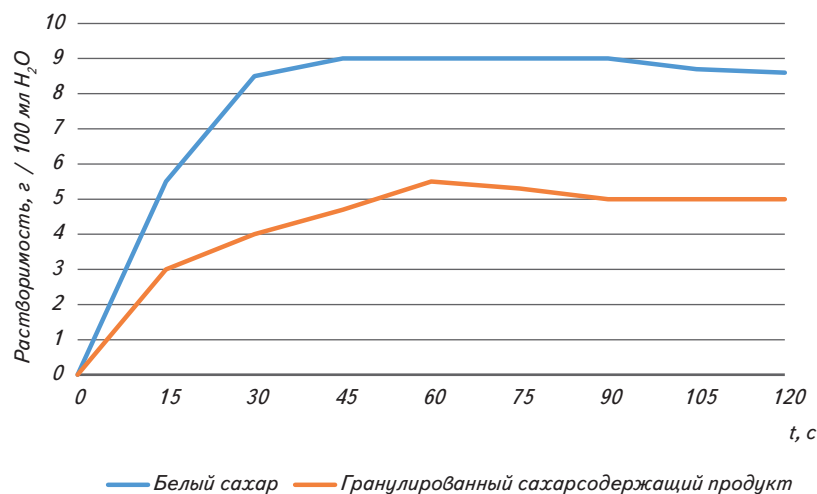


Рис. 8. Скорость растворения кристаллического белого сахара и гранулированного сахаросодержащего продукта

плотность кристаллов активные компоненты.

Также была определена цветность и мутность растворов кристаллического белого сахара и гранулированного сахаросодержащего продукта (табл. 3). Вследствие наличия в составе гранул β -каротина, являющегося природным пигментом, цветность и мутность растворов гранулированного сахаросодержащего раствора выше, чем белого сахара. Данный факт может свидетельствовать о том, что полученный гранулированный сахаросодержащий продукт может быть также использован при производстве различных продуктов питания для придания им не только сладости, но и лёгкого цветового оттенка.

Кристаллическую структуру гранулированного сахаросодержащего продукта исследовали с использованием рентгеновского дифрактометра. Перед выполнением анализа образцы сахара и гранулированного сахаросодержащего продукта были измельчены в ступке с целью получения однородных порошков. Рентгенограммы образцов кристаллического белого сахара и

Таблица 3. Физико-химическая оценка качества кристаллического белого сахара и гранулированного сахаросодержащего продукта

Показатель	Кристаллический белый сахар	Гранулированный сахаросодержащий продукт
Время растворения, с.	30	60
Цветность, ед. опт. плотности	103	170,5
Мутность, ед. опт. плотности	20	26,7

сахаросодержащего продукта показаны на рис. 9 и 10.

Рентгенограмма гранулированного сахаросодержащего продукта, обогащённого β -каротином и экстрактом зелёного чая, показала значимые пики с более высокой относительной интенсивностью при $8,50^\circ$; $11,85^\circ$; $19,01^\circ$ и $25,33^\circ$ (см. рис. 10). На рентгенограмме чистой сахарозы сохранялись пики более высокой интенсивности по сравнению с гранулированным сахаросодержащим продуктом при значении угла рассеивания, равном $38,39^\circ$.

Особую важность представляют вопросы сохранности биологически активных веществ, внесённых в обогащённые продукты питания. Последние должны под-

держивать структурную целостность соединений до момента потребления или введения в иной пищевой продукт. Получение гранулированных сахаросодержащих продуктов является одним из способов увеличения срока годности и стабильности биологически активных компонентов пищевых продуктов. Присутствие экстракта зелёного чая и β -каротина не выявило никакого нового пика высокой интенсивности, это указывало на то, что β -каротин не был подвержен кристаллизации и мог быть успешно захвачен пустотами, присутствующими в агломератах сахарозы. С другой стороны, кристаллическая структура зависит от количества и интенсивности высоты пика, т. е. чем выше

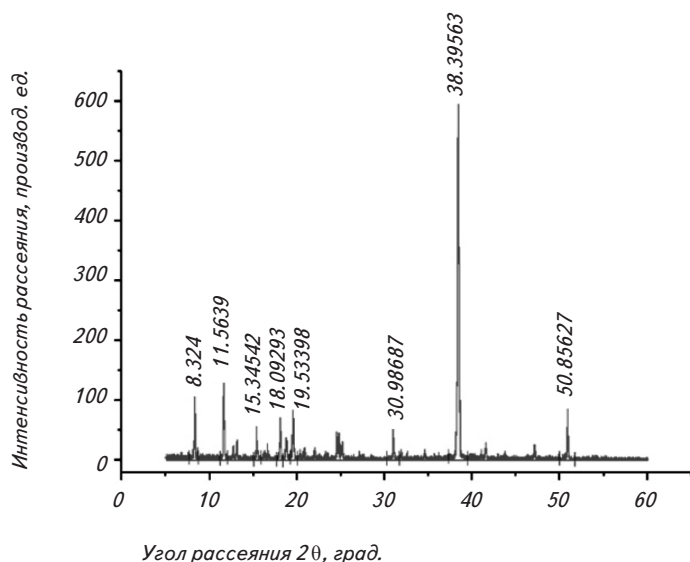


Рис. 9. Рентгенограмма кристаллического белого сахара

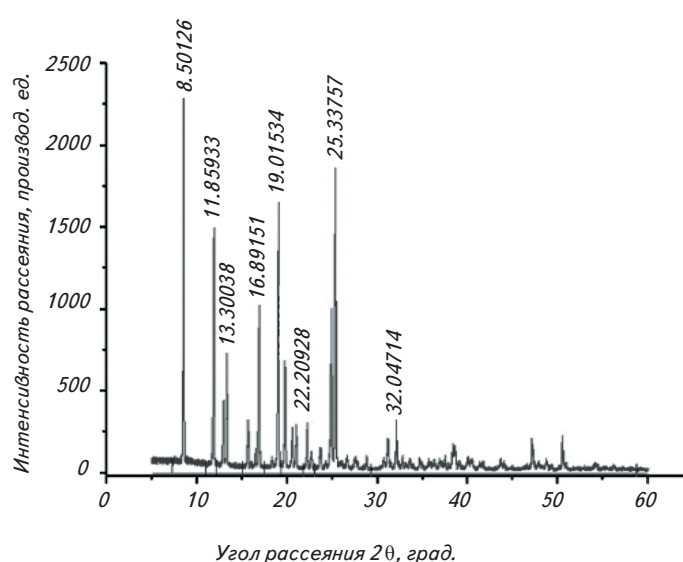


Рис. 10. Рентгенограмма гранулированного сахаросодержащего продукта

интенсивность представленного дифракционного пика, тем более выраженными кристаллическими свойствами обладает продукт. Исходя из данных рис. 9 и 10, можно заключить, что более сильной кристаллической структурой обладает белый сахар.

Заключение

Важными и актуальными задачами науки о питании является создание продуктов, повышающих жизненный тонус людей, защитные силы организма, умственную и физическую работоспособность, а также продолжительность жизни населения. В связи с индустриализацией практически всех сфер жизни сегодня особое значение приобретает проблема дефицита в рационе питания человека микро- и макронутриентов, обладающих различными видами защитного и профилактического действия. Поскольку кристаллический белый сахар представляет собой продукт ежедневного спроса и является важнейшим компонентом питания человека, в ходе исследования была разработана технология производства гранулированного сахаросодержащего продукта, обогащённого антиоксидантами – экстрактом зелёного чая и β -каротином. Исследование качественных характеристик полученного гранулированного сахаросодержащего продукта показало, что благодаря применению технологии гранулирования изготовленный по разработанной технологии продукт за счёт образования тонкой кристаллической плёнки сахарозы и нанесения сиропа мальтита на поверхность гранул сохраняет в себе вносимые антиоксиданты.

Список литературы

1. Антиоксиданты в спортивном питании (ч. I) / С.В. Штерман [и др.] // Пищевая промышленность. – 2019. – № 5. – С. 60–64.
2. Исследование возможности применения гранулированного сахаросодержащего продукта с функциональными добавками при производстве жележных начинок / А.А. Славянский [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51. – № 4. – С. 859–868.
3. Кристаллы сахарозы как основа сахаросодержащих продуктов / Н.В. Николаева [и др.] // Сахар. – 2021. – № 8. – С. 34–39.
4. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации», утв. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека – Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 22.07.2021.
5. Митрошина, Д.П. Мармелад с полиненасыщенными жирными кислотами – перспективный продукт для профилактического питания шахтёров Кузбасса / Д.П. Митрошина, О.С. Восканян // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции : Сб. ст. по матер. V Междунар. научно-практич. конф., посв. 15-летию кафедры технологии хранения и переработки животноводческой продукции Кубанского ГАУ. Краснодар, 29 марта 2019 г. / Отв. за вып. А.А. Нестеренко. – Краснодар : Кубанский ГАУ им. И.Т. Трубилина, 2019. – С. 495–501.
6. Нагорная, Н.В. Оксидативный стресс: влияние на организм человека, методы оценки / Н.В. Нагорная, Н.А. Четверик // Здоровье ребенка. – 2010. – № 2 (23). – С. 140–145.
7. Особенности диффузионного процесса кристаллизации сахарозы / Е.В. Семёнов [и др.] // Сахар. – 2013. – № 3. – С. 46–50.
8. Патент № 2774428 С1 Российская Федерация, МПК С13В 50/00. Способ производства гранулированного сахаросодержащего продукта : № 2021134691 : заявл. 26.11.2021 : опубл. 21.06.2022 / Ю.В. Курнатов, В.А. Грибкова, М.В. Курнатов, А.А. Славянский, Д.П. Митрошина; заявитель ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ)». – 6 с.
9. Славянский, А.А. Пути повышения качества продукции в сахарной промышленности / А.А. Славянский, А.Р. Сапронов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 39 с.
10. Распоряжение Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р «Об утверждении «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года» // Собрание законодательства РФ. – 2016. – № 28. – Ст. 4758.
11. Усовершенствование преддиффузионной обработки диффузионного сока / А.А. Славянский [и др.] // Сахарная промышленность. – 1996. – № 1. – С. 17–20.
12. Славянский, А.А. Сахар-песок как сырьё для производства карамели / А.А. Славянский, С.В. Штерман, З.Г. Скобельская // Кондитерское производство. – 2001. – № 1. – С. 14–16.
13. Вислоухова, С. Кондитерские изделия нового поколения / С. Вислоухова, А. Шевчук // Наука и инновации. – 2017. – № 5 (171). – С. 30–33.
14. Harman, D. Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry / D. Harman // Journal of gerontology. – 1956. – Vol. 11. – No. 3. – P. 298–300.
15. Павлюченко, И.И. Биохимические аспекты изучения бета-каротина («Каролина») / И.И. Павлюченко, А.А. Басов, А.Э. Моргоев // Успехи современного естествознания. – 2009. – № 2. – С. 54–55.

MARIBO®

HILLESHÖG®



ГИБРИДЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ
СЕМЕНА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ
С 1907 ГОДА

www.hilleshog.com/ru
www.mariboseed.com/russia
+7 495 997 09 31

16. *Senanayake, S.P.J.N.* Green tea extract: Chemistry, antioxidant properties and food applications – A review / S.P.J.N. Senanayake // *Journal of functional foods*. – 2013. – Т. 5. – № 4. – С. 1529–1541.

17. Персонализированное питание: проектирование продуктов и рационов. – М. : ООО «ТД ДеЛи», 2020. – 462 с.

18. *Комиссаров, Г.Г.* Фотосинтез: физико-химический подход / Г.Г. Комиссаров // *Химическая физика*. – 2003. – Т. 22. – № 1. – С. 24–54.

19. *Касьянов, Г.И.* Суперкавитация как элемент нанобиотехнологии / Г.И. Касьянов, А.А. Запорожский // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2008. – № 8. – С. 24–26.

Аннотация. Важнейшим направлением развития науки о питании является создание продуктов функционального назначения, имеющих в своём составе как основные нутриенты, так и микронутриенты, в частности витамины и антиоксиданты. Поскольку белый сахар относится к продуктам повседневного спроса и по своему химическому составу представляет собой чистейший дисахарид (сахароза), он является наиболее универсальным сырьём для производства новых видов функциональных продуктов. В ходе исследования была разработана технология производства гранулированного сахаросодержащего продукта, обогащённого веществами антиоксидантной направленности – β -каротином и экстрактом зелёного чая. Установлено, что полученный гранулированный сахаросодержащий продукт представляет собой перспективный источник антиоксидантов для производства пищевых продуктов. **Ключевые слова:** гранулирование, белый сахар, кристаллизация, гранулированный сахаросодержащий продукт, β -каротин, зелёный чай.

Summary. The most important direction in the development of nutrition science is the creation of functional products, known in their composition as the main nutrients and micronutrients, in particular vitamins and antioxidants. White sugar is a product of everyday consumption and, according to its usual chemical composition, is a pure disaccharide (sucrose), that is, it is the most versatile raw material for the production of new types of functional products. In the course of the study, a technology was developed for the production of a granular sugar-containing product enhanced by the absorption of antioxidant cravings - β -carotene and green tea extract. It has been established that the resulting granulated sugar-containing product is a promising source of antioxidants for food production.

Keywords: granulation, white sugar, crystallization, granulated sugar product, β -carotene, green tea.