

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
СЕВЕРО-ОСЕТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ КОСТА ЛЕВАНОВИЧА ХЕТАГУРОВА

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ
ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Владикавказ 2020

УДК 663/664
ББК 36.80
С21

Рекомендовано методическим советом
факультета химии, биологии и биотехнологии

Составитель: кандидат технических наук доцент кафедры
товароведения и технологии продуктов пита-
ния **И.К. Сатцаева**

Рецензенты: кандидат технических наук, доцент кафедры
«Технология продуктов общественного пита-
ния» ФГБОУ ВО СКГМИ (ГТУ) **Л.А. Витюк**;
кандидат технических наук доцент кафедры
товароведения и технологии продуктов пита-
ния ФГБОУ ВО СОГУ **А.В. Хмелевская**

Сатцаева И.К.

С21 Научные основы продуктов питания: учебное пособие /
И.К. Сатцаева. – Владикавказ: Издательство ООО НПКП
«МАВР», 2020. – 102 с.

ISBN 978-5-6042842-9-2

В учебном пособии подробно описаны и освещены научные ос-
новы производства продуктов питания, владение которыми позволит
моделировать пищевые изделия с заданными структурно-
механическими, технологическими и функциональными свойствами.

Учебное пособие предназначено для студентов направления
подготовки 19.03.02 Продукты питания из растительного сырья.

ISBN 978-5-6042842-9-2



9 785604 284292

ББК 36.80

© Издательство ООО НПКП «МАВР», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Тема 1. Перспективы развития перерабатывающих отраслей АПК.	6
Тема 2. Характеристика технологического процесса производства пищевой продукции.....	9
Тема 3. Структурно-механические свойства пищевых продуктов.....	15
Тема 4. Состояние влаги в продуктах.....	21
Тема 5. Порошки и гранулы.....	24
Тема 6. Набухание и студнеобразование.....	28
Тема 7. Эмульсионные структуры.....	31
Тема 8. Пенообразные структуры.....	35
Тема 9. Адгезионные свойства пищевой продукции.....	40
Тема 10. Изменения углеводов при технологической обработке пищевых продуктов.....	44
Тема 11. Изменение крахмала при технологической обработке.....	53
Тема 12. Структурно - функциональные свойства полисахаридов в пищевых продуктах.....	60
Тема 13. Белки пищевых продуктов.....	62
Тема 14. Технологические свойства белков.....	66
Тема 15. Изменения белков в процессе производства пищевых продуктов.....	71
Тема 16. Общие вопросы создания функциональных продуктов.....	77
Список литературы.....	85

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения учебной дисциплины «Научные основы производства питания» является формирование компетенций, направленных на получение фундаментальных знаний о процессах, происходящих на всех технологических этапах промышленного приготовления пищевых продуктов

Задачи курса:

- систематизировано ознакомить с процессами, происходящими в продуктах на различных технологических этапах, в результате которых они приобретают характерные качественные показатели и органолептические свойства;
- изучить физико-химические основы получения структурированных пищевых продуктов, а также изменения основных веществ в процессе их приготовления;
- рассмотреть современные принципы совершенствования технологий производства продуктов питания.

Дисциплина «Научные основы производства питания» относится к блоку 1 – дисциплины вариативной части и имеет логическую и содержательно-методическую взаимосвязь с дисциплинами ОПОП. Для изучения данной дисциплины необходимы знания и умения, приобретенные студентами в результате освоения предшествующих дисциплин: как неорганическая, аналитическая, физическая и коллоидная химии, биологии клетки с основами биотехнологии, методов исследования свойств сырья и готовой продукции и др.

Выпускник должен обладать следующими профессиональными компетенциями в производственно-технологической, экспериментально-исследовательской, организационно – управленческой и расчетно - проектной деятельности:

способностью разрабатывать мероприятия по совершенствованию технологических процессов производства продуктов питания из растительного сырья (ОПК-2);

способностью применить специализированные знания в области технологии производства продуктов питания из растительного сырья для освоения профильных технологических дисциплин (ПК-4);

способностью использовать в практической деятельности специализированные знания фундаментальных разделов физики, химии, биохимии, математики для освоения физических, химических, биохимических, биотехнологических, микробиологических, теплофизических процессов, происходящих при производстве продуктов питания из растительного сырья (ПК-5).

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- теоретические основы биологии, химии, физики, математики, инженерной и компьютерной графики в объеме, необходимом для понимания технологии продуктов питания; научные основы производства продуктов питания; основные методы исследования свойств сырья и пищевых продуктов (ОПК-2, ПК-4, ПК-5);

уметь:

- использовать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин для управления процессом производства продуктами питания из растительного сырья (ОПК-2, ПК-5);
- ориентироваться в классификации методов исследования свойств сырья; использовать базовые знания в области формирования качества и структуры пищевых продуктов (ПК-4);

владеть навыками:

- знаниями о технологическом процессе производства пищевых продуктов (ОПК-2);
- основами биотехнологического исследования в области биологии клетки и качества растительного сырья (ПК-4, ПК-5).

Тема 1. Перспективы развития перерабатывающих отраслей АПК

Важнейшими народнохозяйственными задачами, от решения которых во многом зависят планы социально-экономического развития, являются улучшение структуры питания населения и повышение качества пищевых продуктов. В основу достижения этих целей должно быть положено решение комплекса взаимоувязанных задач экономического, социального, технологического, научного и организационного характера.

Несмотря на кризисную ситуацию, предпосылки развития которой сложились в доперестроечное время, Россия занимала лидирующие позиции в производстве пищевых продуктов в мире, в т.ч. была лидером по потреблению многих продуктов на душу населения. При решении проблем, связанных с питанием человека, необходимо учитывать, с одной стороны, принципы рационального питания, с другой - реально существующий спрос населения и потребности народного хозяйства в продукции перерабатывающих отраслей АПК. Не случайно важное место в реализации государственной политики в области здорового питания населения РФ отводится перерабатывающим отраслям АПК. Это связано с тем, что выпускаемые ими продукты являются продукцией повседневного потребления всех возрастных групп населения, поэтому увеличение объемов производства, улучшение качества, повышение пищевой и биологической ценности, а также расширение и совершенствование ассортимента являются актуальными задачами, стоящими перед АПК.

Для периода рыночных реформ на фоне общего кризиса в стране, отмечено обвальное падение производства, снижение качества сырья, усилившийся износ основных фондов, снижение комплексности переработки, что, в общем, характерно не только для РФ, но и для других стран СНГ. Следствием этого является нарастающая экспансия импортной продукции, хаотичное создание многочисленных малых предприятий в условиях простоя или неполной загрузки действующих заводов, отход государства от проблем регулирования рынка.

В отличие от стран Европы, в которых нет больших проблем не только с продуктами питания, но и с их качеством и ассортиментом, перерабатывающие отрасли АПК России до сих пор характеризуются чрезвычайно неэффективной структурой переработки сырья и выработки готовой продукции. По мнению ведущих специалистов независимо от подходов к решению существующих проблем продукты питания нового поколения необходимо вырабатывать из высококачественного сырья. Однако в ближайшее время для России это в полной мере не представляется возможным, и, как следствие, в этой ситуации будет невозможна реализация ряда передовых технологий, уже распространяющихся в развитых странах.

В то же время некоторые тенденции, связанные с возможностью полного использования как существующих мощностей эксплуатируемого в пищевой промышленности оборудования, так и сырья требуемого качества, привели к появлению на рынке продуктов с повышенным сроком хранения. Эти тенденции в последние годы наблюдаются не только в зарубежных странах, но и получили определенное развитие в разработках ведущих отраслевых научно-исследовательских институтов РФ.

К основным направлениям развития перерабатывающих отраслей АПК можно отнести следующие: производство натуральной экологически чистой продукции с сокращением энергозатрат; сохранение в готовой продукции максимально полного набора компонентов исходного сырья; отсутствие консервантов, заменителей основного сырья и искусственных добавок; выпуск дорогостоящей элитной продукции; расширение ассортимента продуктов с естественными и искусственными наполнителями; изменение вкуса готовой продукции за счет плодово-ягодных, вкусовых и ароматических добавок; улучшение технологических свойств сырья путем внесения добавок-улучшителей; разработка продукции с нетрадиционными вкусовыми и ароматическими свойствами; выпуск продукции, сбалансированной по составу и содержанию отдельных компонентов, моделирование состава продукта, исходя из физиологических особенностей организма; исключение из технологии получения продуктов операций, связанных с рафинацией; замена свекольного и тростникового сахара искусственными подсластителями, массовое производство низколактозной продукции; внесение в продукцию, ориентированную на массовый спрос, биологически и физиологически активных веществ с целью придания функциональных свойств, создание продуктов-пробиотиков, пребиотиков, эубиотиков и симбиотиков, обладающих комплексом функциональных свойств; использование химической энергии ферментов (биокатализаторов) в качестве активных факторов управления технологическими процессами; изменение калорийности готовой продукции за счет фракционирования жира, замена животного жира растительными компонентами, выпуск широкого ассортимента обезжиренной и низкожирной продукции на базе традиционных наименований; максимальное использование вторичного сырья; выпуск комбинированных и модифицированных продуктов, включающих составные нетрадиционные компоненты, создание аналогов различных видов пищи, улучшение эстетических свойств товара; широкое применение новейших разработок в области расфасовки и упаковки продукции; увеличение продолжительности хранения новинок и традиционной продукции.

Академик *И.А. Rogov* отмечает, что определяющим фактором создания современной технологии производства биопродуктов является дальнейшее развитие фундаментальных и прикладных исследований по изучению природы

процессов, формирующих качество продукции, выявлению механизмов молекулярных взаимодействий в биологических системах с применением новейших методов исследований. Только в этом случае могут быть найдены рациональные подходы к процессам переработки и хранения сырья и продукции, созданию альтернативных направлений.

К приоритетным процессам в перерабатывающих отраслях АПК можно отнести: мембранные технологии с применением современных перспективных (реакционных, газоселективных, керамических и др.) мембран; биотехнология; микроволновая и электронная обработка продуктов; экструзионная технология, в т.ч. для получения новых форм пищи; совершенствование технологий замораживания продуктов различной степени готовности, использования газонепроницаемых материалов для упаковки продуктов в среде инертного газа, вакуумных и полимерных упаковочных материалов; совершенствование техники и технологии пищи для домашнего приготовления и общественного питания. Перспективной является разработка технологии продуктов с направленным использованием нативных свойств сырья.

Важным аспектом деятельности является совершенствование методологического обеспечения, в т.ч. разработка и совершенствование стандартов. К первоочередным задачам можно отнести разработку и модернизацию методов исследований свойств сырья и продуктов питания, внедрение на предприятиях систем качества. Помимо этого, устойчивое развитие отраслей состоит в жестком централизованном планировании всех аспектов обеспечения населения продуктами питания, в в т.ч. с сокращением потерь сырья, продукции, воды и энергии вплоть до их ликвидации.

Контрольные вопросы к теме 1.

1. Какое значение имеет обеспечение населения продовольствием?
2. Как Вы оцениваете проводимые в АПК реформы?
3. Что является призванием Государственной политики в области здорового питания?
4. Каков механизм реализации государственной политики в области здорового питания?
5. Охарактеризуйте приоритетные направления развития науки, и техники Российской Федерации.

Тема 2. Характеристика технологического процесса производства пищевой продукции

Технологический процесс производства пищевой продукции состоит из ряда стадий и операций, включающих прием и хранение сырья, а также производство готовых изделий и их реализацию.

Продовольственные товары можно подразделить на сырье, полуфабрикаты и готовую к употреблению продукцию.

Сырье - продукты, изготовление готовой пищевой продукции из которых осуществляется по полной технологической схеме.

Полуфабрикаты - продукты, изготовление готовой пищевой продукции из которых осуществляется по сокращенной технологической схеме.

Готовая продукция - изделия, которые реализуются на предприятиях общественного питания.

На разных стадиях технологического процесса образуются отходы, которые в зависимости от последующего использования подразделяют на пищевые, кормовые и технические

Пищевые отходы после соответствующей обработки используют в пищу (икра и молоки рыб, хрящи осетровых рыб, кости и др.).

Кормовые отходы употребляют в качестве корма скоту. Состоят они из остатков готовой пищи и очистков овощей, кроме картофельных, которые используют для получения крахмала.

Технические отходы (жир промывных вод и др.) используют в качестве сырья для различных отраслей промышленности.

Важными нормативными документами для предприятий пищевой промышленности являются отраслевые стандарты, технические условия и технологические инструкции, которые используются при составлении сборников рецептур. Приводимые в сборниках рецептур нормы расхода сырья и выхода полуфабрикатов и готовых изделий являются обязательными.

В технологическом процессе производства пищевой продукции выделяют две стадии - первичную и тепловую обработку продуктов.

Задача первичной обработки сырья - производство полуфабрикатов, используемых для приготовления готовых изделий. Первичная обработка включает размораживание продуктов, удаление загрязнений, несъедобных частей, деление продуктов на части, имеющие неодинаковую пищевую ценность, придание им соответствующей формы, размера, компоновку продуктов между собой и др.

Основная задача тепловой обработки - доведение полуфабрикатов до готовности, которая характеризуется определенными органолептическими показателями (консистенция, вкус, запах, цвет), а также соответствующей

температурой. Многие продукты после тепловой обработки размягчаются и приобретают лучший внешний вид, вкус и запах. Все это благоприятно сказывается на усвояемости пищи. Кроме того, тепловая обработка способствует обеззараживанию пищи, так как высокая температура губительно действует на микроорганизмы, которыми обсеменены многие продукты.

Первичная и тепловая обработка пищевых продуктов включает следующие основные группы процессов: механические, гидромеханические, тепловые, биохимические и химические.

Основу механического процесса составляет механическое воздействие на продукт: сортирование, измельчение, перемешивание, взбивание, прессование, дозирование и формование.

Основой гидромеханического процесса служит гидромеханическое воздействие на обрабатываемый продукт: мойка, замачивание, осаждение, фильтрование.

В основе тепловых процессов лежит разность температур взаимодействующих сред: нагревание, охлаждение (в естественных условиях и с применением искусственного холода), выпаривание, конденсация.

Биохимические процессы (брожение и др.) вызываются ферментами, химические - введением веществ, реагирующих с составными частями продукта в заданном направлении.

Все процессы сопровождаются изменениями физических, химических и органолептических свойств продуктов.

Электрофизические – способы полиинфракрасного нагрева, СВЧ, УФ.

2.1 Механические процессы

Сортирование. Различают два вида разделения продуктов: сортирование по качеству (цвет, состояние поверхности, консистенция) и разделение по размеру на фракции (сортирование по крупности).

В первом случае сортирование производят вручную на переборочных машинах путем органолептического осмотра продуктов (корне- и клубнеплоды, овощи, фрукты) с удалением неполноценных экземпляров, во втором - путем просеивания (для отделения примесей) и калибрования по фракциям.

При просеивании через отверстия проходят частицы продукта, размер которых меньше отверстий сит (проход), а на сите в виде отходов остаются частицы размером, превышающим размер отверстий сит (сход).

Для просеивания применяют металлические сита (решета) со штампованными отверстиями, проволочные из круглой металлической проволоки, а также сита из шелковых, капроновых нитей и других материалов.

Сортирование продуктов по размерам (калибровку) производят в процессе первичной обработки корнеплодов и картофеля для уменьшения их отходов и увеличения производительности машин при механизированной

очистке овощей.

Измельчение. В зависимости от вида сырья и его структурно-механических свойств используют следующие способы измельчения: резание (разрезание), дробление, размалывание, протираание.

Резанию подвергают продукты, обладающие высокой влажностью (мясо, рыба, корнеплоды, овощи, плоды и др.), дроблению - продукты с низкой влажностью (зерно, сухари, некоторые пряности).

Резание продуктов осуществляют с помощью резательных машин (мясорубки, овощерезательные машины и др.), рабочими органами которых являются ножи различных конструкций.

Для измельчения твердых продуктов, обладающих высокой механической прочностью (например, кости), применяют пилы.

Превращение продуктов в мелкодисперсную массу осуществляют с помощью рабочих органов специальных терочных машин либо вручную с помощью ручных и механизированных терок (производство соков с мякотью, крахмала и др.).

Для измельчения вареных продуктов с целью получения пюре применяют протирачные машины, оказывающие на продукт комбинированное воздействие: раздавливание его лопастями с одновременным продавливанием через отверстия сит, кромки которых дополнительно разрезают продукт.

Перемешивание. При подготовке пластичных масс, например, замесе теста различной консистенции, производят смешивание ряда компонентов: воды, муки, дрожжей, сахара, жира и т. п. При дальнейшем перемешивании тесто приобретает определенные физико-химические свойства, связанные с биохимическими процессами, происходящими вследствие взаимодействия компонентов.

Прессование. Прессование продуктов применяют обычно для разделения их на две фракции: жидкую (соки) и плотную (жом).

В процессе прессования разрушается клеточная структура продукта, в результате чего из клеток выделяется сок. Выход его зависит от степени сжатия продукта. Осуществляют прессование с помощью шнековых прессов непрерывного действия (экстракторы различных конструкций).

Дозирование и формование. Поскольку на пищевых предприятиях отпуск продукции осуществляется в соответствии с установленными нормами выхода (масса, объем), существенное значение имеют процессы деления продуктов на порции (дозирование) и придания им определенной формы (формование).

Процессы дозирования и формования осуществляются вручную и с помощью машин.

Взбивание. Взбивание жидких продуктов (яичный белок, сливки и др.)

производят с целью обогащения их воздухом и получения пен различной дисперсности (белковые кремы, взбитые сливки, муссы и др.).

Панирование. Нанесение панировки на поверхность полуфабриката (для обеспечения сочности структуры).

2.2 Гидромеханические процессы

Гидромеханическое воздействие на продукты состоит в удалении с их поверхности загрязнений и снижении бактериальной обсемененности, а также в замачивании некоторых видов продуктов с целью интенсификации процессов тепловой обработки.

Мойка. Почти все продукты, поступающие на пищевые предприятия, моют для удаления с их поверхности загрязнений и микроорганизмов. Моют также некоторые виды круп.

Замачивание некоторых продуктов обеспечивает интенсификацию процессов тепловой обработки.

Осаждение, фильтрование. Фильтрование - деление суспензий на жидкую и твердые части путем пропускания их через пористую перегородку (ткань, сито), способную задерживать взвешенные частицы и пропускать фильтрат.

Осаждение - выделение твердых или жидких частиц из суспензий и эмульсий под действием силы тяжести (в отстойниках) или центробежной силы (в центрифуге, гидроциклоне и других аппаратах). После завершения осаждения получают осветленную жидкость и осадок.

2.3 Тепловые процессы

Тепловая обработка продуктов является основным приемом в технологическом процессе производства. Нагревание продукта с использованием различных сред, передающих тепло, вызывает изменения его структурно-механических, физико-химических и органолептических свойств, которые в совокупности определяют степень готовности продукта.

Тепловая обработка продуктов осуществляется различными способами: погружением в жидкую среду; обработкой паровоздушной и пароводяной смесями, острым паром; контактным нагревом; нагревом в поле токов СВЧ; инфракрасным облучением, а также путем комбинирования перечисленных способов.

Охлаждение используют также для осуществления определенных технологических процессов: взбивания пены, студнеобразования, раскатки слоеного теста и др., а также для сохранения качества продуктов (в первую очередь скоропортящихся).

2.3.1 Основные способы тепловой обработки продуктов

Основными способами тепловой обработки продуктов являются варка и жарка

Варка. В процессе варки продукты нагревают в жидкой среде (вода, бульон, молоко) или в среде насыщенного водяного пара. Различают два режима варки. При первом жидкость нагревают до кипения, после чего нагрев ослабляют и дальнейшую тепловую обработку продукта производят при слабом кипении.

При втором режиме жидкость нагревают до кипения, затем прекращают подвод энергии и доводят продукт до готовности за счет аккумулированного тепла.

Варку продуктов можно производить острым паром, используя специальные пароварочные шкафы различной конструкции.

Применение вакуум-аппаратов позволяет проводить тепловую обработку при температуре нагреваемой среды менее 100 °С и сохранять высокое качество обрабатываемых продуктов.

Припускание. Припусканием называют доведение продукта до готовности с использованием небольшого количества жидкости. Этот способ применяют в основном при тепловой обработке продуктов с высоким содержанием влаги.

Некоторые продукты припускают без добавления жидкости - в собственном соку, выделяющемся при их нагревании.

В процессе припускания нижняя часть продукта погружена в кипящую среду, а верхняя подвергается воздействию пара. Последний, соприкасаясь с пищевыми продуктами, конденсируется, выделяя скрытую теплоту парообразования, и наряду с кипящей водой нагревает продукты, доводя их до состояния готовности. Если варка продуктов может осуществляться как в открытой, так и в закрытой посуде, то припускание - только в закрытой.

Жарка. Различают следующие приемы жарки:

- на жарочной поверхности с небольшим количеством жира;
- во фритюре путем погружения в большое количество нагретого жира, помещенного в жарочную ванну;
- в закрытой камере жарочного шкафа. Разновидностью жаренья в закрытой камере жарочного шкафа является выпечка мучных изделий.

Жарка с небольшим количеством жира. Продукт помещают на жарочную поверхность с небольшим количеством жира, в результате чего поверхность продукта быстро обезвоживается и покрывается корочкой. Для получения корочки с обеих сторон продукт переворачивают или перемешивают. Передача тепла внутренней части продукта производится за счет его теплопроводности.

В процессе приготовления изделий из жидкого теста (например, при жаренье блинной ленты на жаровне с вращающимся барабаном) смазывания жарочной поверхности жиром не производят, в этом случае жаренье происходит за счет жира, впрессовываемого из теста.

Жарка путем погружения в жир (во фритюре). Продукт полностью погружают в нагретый жир, что приводит к образованию корочки одновременно на всей поверхности продукта. В этом случае передача тепла от нагреваемой среды продукту осуществляется теплопроводностью и отчасти конвекцией. Жаренье во фритюре может производиться плавающим и погруженным способами, причем производительность второго способа значительно выше.

Жарка в камере жарочного шкафа (радиационно-конвективный способ). Продукт помещают в жарочный шкаф, где нагревание его производится за счет радиации от излучателей и нагретых поверхностей камеры и частично благодаря теплопроводности горячего пода и конвекции перемещающихся потоков воздуха.

Выпечку изделий из теста также производят радиационно-конвективным способом в жарочных, пекарских шкафах и хлебопекарных печах при различных температурных режимах в зависимости от вида полуфабриката.

Жарка в поле ИК - излучений. Продукт (мясо, рыба) жарят на открытом огне (без дымообразования), помещая его на металлическую решетку, предварительно смазанную жиром. Можно также нанизывать продукт на вертел или шпажку (шашлыки) и жарить до готовности, медленно поворачивая над источником тепла. Этот способ используют при жаренье продукта в специальных аппаратах - электрогрилях, где он подвергается воздействию излучения электронагревательных элементов.

ИК-поле проникает в продукт на сравнительно большую глубину, вследствие чего такой вид нагрева можно считать промежуточным между поверхностным и объемным.

Применение ИК - нагрева позволяет сокращать продолжительность процесса тепловой обработки по сравнению с традиционным, уменьшать металлоемкость и размеры аппаратов, автоматизировать производство и получать продукты высокого качества.

Контрольные вопросы к теме 2.

1. Каковы стадии технологического процесса производства пищевых продуктов?
2. Механические процессы.
3. Гидромеханические процессы.
4. Тепловые процессы
5. Основные способы тепловой обработки продуктов.

Тема 3. Структурно-механические свойства пищевых продуктов

Одним из важнейших технологических свойств таких систем является особенность их структуры, т.е. взаимное расположение и взаимосвязь составляющих продукты компонентов.

Детальное изучение закономерностей и кинетики структурных изменений в пищевых системах в ходе технологической переработки является основой для усовершенствования и интенсификации самих технологических процессов, а также возможности их механизации и автоматизации.

Многие виды сырья и готовых изделий представляют собой дисперсные системы, состоящие соответственно не менее чем из двух фаз - дисперсной фазы и дисперсионной среды, что позволяет рассматривать их в качестве объектов физико - химии дисперсных систем.

Причем большая часть пищевой продукции является многокомпонентными смешанными дисперсными системами, т.е. одновременно пеной и эмульсией или эмульсией и суспензией и т.д., с возможным приоритетом одного из типов систем. При этом практика и теория свидетельствуют о том, что им присущи многие свойства и закономерности, характерные для идеальных дисперсных систем того или иного типа.

В таблице 1 приведено возможное подразделение некоторых видов пищевой продукции по типам классических дисперсных систем в соответствии с агрегатным состоянием дисперсной фазы и дисперсионной среды.

Многие естественные пищевые продукты, используемые в практике, - мясо, овощи, крупы, фрукты по размеру пор и содержащихся в них в растворенном состоянии веществ (белки, жиры в эмульгированном состоянии и др.) представляют собой системы с достаточно высокой дисперсностью фазы.

В соответствии с выше сказанным структура дисперсных систем определяется:

- свойствами частиц дисперсной фазы;
- свойствами дисперсионной среды;
- взаимодействием частиц дисперсной фазы с дисперсионной средой;
- взаимодействием частиц дисперсной фазы между собой.

Свойства дисперсной фазы и дисперсионной среды и их взаимодействие в совокупности определяют присущие пищевой продукции структурно-механические показатели. И, хотя, многие изделия имеют сложную неоднородную структуру, в которой можно выделить твердые и жидкие компоненты, нарушение непрерывности тела и другие особенности (например, неоднородность котлетной массы), вследствие которых свойства изделий изменяются от одной точки к другой, фактические исследования показывают, что для многих из них теоретические представления о вязкости, упругости и

пластичности могут быть с успехом использованы для описания механических свойств и подбора оборудования для их производства и регулирования режимов обработки.

Таблица 1 – Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию

Дисперсионная среда	Дисперсные системы для дисперсных фаз		
	твердых	жидких	газовых
Жидкая	Т/Ж (золи, суспензии, гели, пасты)	Ж/Ж (эмульсии, кремы)	Г/Ж (газовые эмульсии, пены)
Твердая	Т/Т (твердые золи, сплавы)	Ж/Т (твердые эмульсии, пористые тела)	Г/Г (твердые пены, пористые тела)
Газовая	Т/Г (дым, пыль, порошки)	Ж/Г (туман, капли)	Г/Г (маловероятны, образуются за счет флуктуации плотности)

Без описания структурно-механических свойств дисперсных масс невозможно не только изучить закономерности их образования, но и нельзя обосновать технологические параметры их переработки.


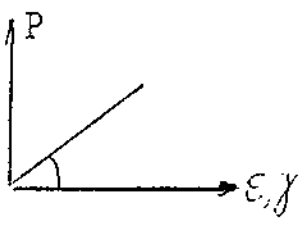

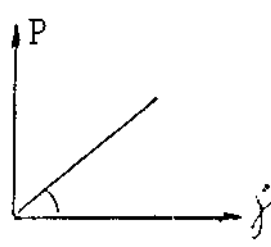
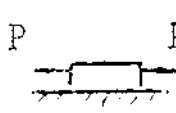
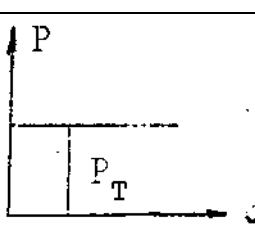
С позиций существующих представлений о деформационном поведении идеализированных материалов (тел) (таблица 2) можно выделить группу реологических показателей, позволяющих дать достаточно полное описание упруго-пластично-вязких свойств продукции.

Упругость или жесткость продуктов характеризуют модулем упругости растяжения (сжатия) - E или модулем упругости сдвига - G , которые связаны отношением

$$E = 2G(1 + M) \quad (1)$$

где M - коэффициент Пуассона для жидкообразных систем близкий по значению к 0,5.

Таблица 2 – Реологические характеристики простых идеализированных тел

Тело	Вид модели	График течения	Уравнение состояния	Условные обозначения
Тело Гука			$P=E$ $P=G*\gamma$	P – касательное или нормальное напряжение, Па ϵ, γ – линейная или угловая деформации E – модули упругости при линейной или угловой деформации, Па
Жидкость Ньютона			$P=\eta*\gamma'$	γ' – скорость сдвига, c^{-1} η – вязкость при сдвиге, $Па*с$
Тело Сен-Венана			При $P < P_T$ нет деформации, при $P = P_T$ течение	P_T – предел текучести при сдвиге, Па

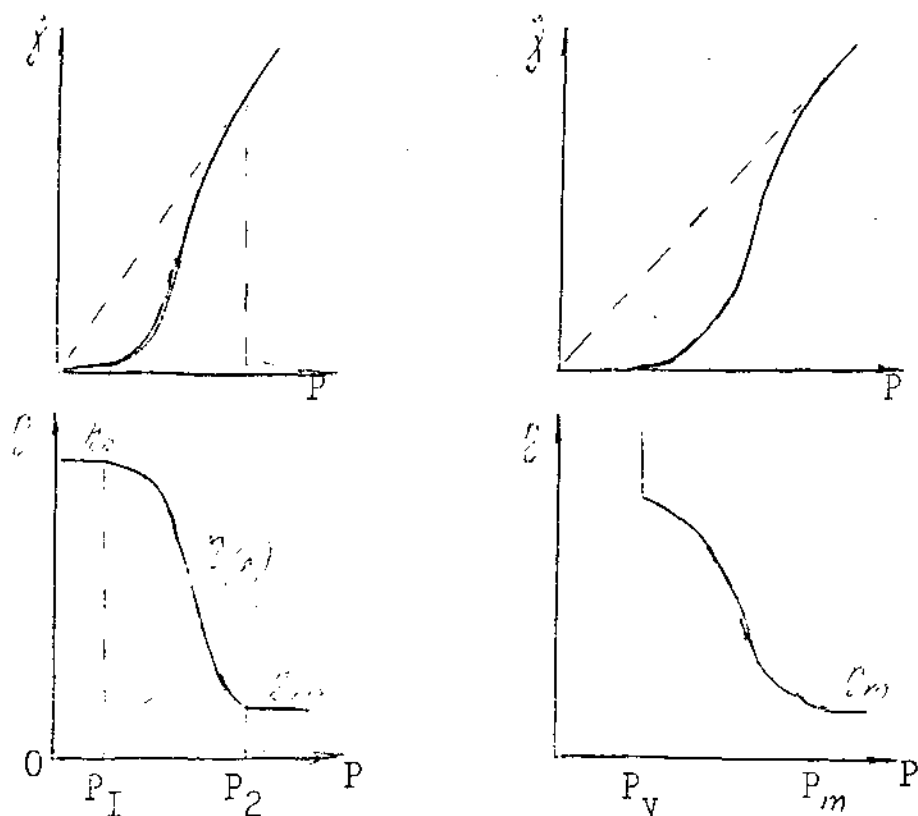
Для упругой (обратимой) деформации многих реальных тел и продуктов присуща специфика, которая заключается в том, что часть упругой деформации развивается с высокой скоростью - условно-мгновенная деформация, а часть упругой деформации развивается замедленно во времени - деформация запаздывания или высокоэластическая деформация, проявление которой определяют термином - упругое последствие.

Условно-мгновенная деформация фигурирует в формулах для вычисления модулей упругости E и G , которые поэтому часто называют также условно-мгновенными.

Структурированные дисперсные системы, каковыми является вся пищевая продукция, в зависимости периода релаксации систем в функции от действующего напряжения сдвига подразделяют на два типа: жидкообразные и твердообразные (рисунок 1).

К жидкообразным системам относят структурированные жидкости.

Течение этих систем происходит при сколь угодно малом напряжении сдвига с постоянной скоростью, если время действия напряжения превосходит период релаксации. В отличие от истинных (ньютоновских) жидкостей, характеризующихся наличием пропорциональности градиента скорости и действующего напряжения во всем диапазоне напряжений и следовательно постоянным значением вязкости, в структурированных жидкообразных системах вязкость зависит от напряжения сдвига и нелинейна в зоне P_1 - P_2 . При $P < P_1$ система характеризуется наибольшей (ньютоновской) вязкостью практически неразрушенной структуры - η_0 , при $P > P_2$ - наименьшей (ньютоновской) вязкостью предельно разрушенной структуры - η_m . В области P_1 - P_2 вязкость нелинейна и при ее характеристике указывают напряжение или скорость, при которых она снята. Подобную вязкость определяют термином - эффективная вязкость ($\eta_{(p)}$).



η_0 - наибольшая вязкость неразрушенной структуры;

η_m - наименьшая вязкость разрушенной структуры;

$\eta_{(p)}$ - эффективная вязкость;

P_y - предел упругости (как адекватные используются термины: предел прочности, предел текучести, предельное напряжение сдвига)

Рисунок 1 - Зависимость скорости сдвига и вязкости от напряжения для жидкообразных (а) и твердообразных систем (б).

К твердообразным системам относятся как упруго- или эластично-хрупкие так и упруго-пластические тела. В отличие от жидкообразных систем твердообразные имеют предел упругости - P_y , ниже которого период релаксации и вязкость стремятся к бесконечности, а течь системы начинают лишь при напряжениях выше этой величины.

При напряжениях ниже предела упругости имеют место лишь упругие или высокоэластические деформации, исчезающие после снятия напряжения. При напряжении выше предела упругости имеется участок медленного течения типа ползучести с незначительным разрушением структуры, которое ограничивается предельной деформацией, характерной для твердых тел. Последующее увеличение напряжения превосходит предел прочности системы - P_n и вызывает лавинное разрушение жесткого каркаса и, в зависимости от вида структуры, в системе возникает или разрыв сплошности (чисто кристаллизационно-конденсационные структуры) или течение, уже не ограниченное предельной деформацией (смешанные кристаллизационно - коагуляционные структуры). До напряжения, вызывающего предельное разрушение структуры, вязкость определяется как эффективная вязкость в зависимости от напряжения или скорости сдвига.

В целом для характеристики структурно-механических свойств пищевой продукции целесообразно использовать следующие реологические показатели: условно-мгновенный модуль сдвига, модуль эластичности (упругого последействия), равновесный модуль сдвига, наибольшую вязкость неразрушенной структуры, эффективную вязкость, наименьшую вязкость разрушенной структуры, предел упругости, границу прочности неразрушенной структуры, напряжение предельного разрушения структуры, а также релаксационные характеристики. В зависимости от поставленных в работе задач, указанные показатели могут быть использованы в совокупности или только некоторые.

Как сказано выше, любая дисперсная система характеризуется взаимодействием дисперсной фазы с дисперсионной средой и по этому признаку подразделяются на гидрофильные (лиофильные) и гидрофобные (лиофобные). Для первых характерно сильное межмолекулярное взаимодействие вещества дисперсной фазы с водной средой, для вторых - слабое.

По характеру связей между частицами фазы (в том числе макромолекулами) дисперсные структуры подразделяют на коагуляционные, конденсационно-кристаллизационные и смешанные коагуляционно-кристаллизационные. При производстве продукции массового питания все они имеют место.

Структурно-механические свойства многих продуктов определяют

коагуляционные структуры, с жидкой коагуляционной средой. Интенсивность взаимодействия между частицами определяется ван-дер-ваальсовыми молекулярными силами сцепления через тончайшие прослойки дисперсионной среды. Фиксированная толщина этих прослоек соответствует минимальной величине свободной поверхностной энергии системы. Сила взаимодействия частиц в коагуляционных структурах составляет около 10^{-10} Н на контакт.

Наличие в коагуляционных структурах прослойки дисперсионной среды между частицами фазы определяет пластичность и пониженную прочность таких структур по сравнению с телами, структура которых фиксирована фазовыми контактами между частицами, прочность которых составляет 10^{-8} Н на контакт.

Прослойки дисперсионной среды обуславливают также тиксотропию коагуляционных структур - их способность к самопроизвольному восстановлению после механического разрушения.

Высокоэластическая деформация коагуляционных структур заключается в возможной взаимной переориентации частиц фазы, благодаря наличию между ними прослоек дисперсионной среды.

Важная особенность дисперсных систем с коагуляционной структурой состоит также в том, что в условиях механического воздействия их структурно-механические показатели могут изменяться в исключительно широком интервале.

Коагуляционная структура присуща таким полуфабрикатам и готовым изделиям как различные виды теста, фарши, пасты, кремы и др.

Снижение содержания дисперсионной среды в коагуляционных структурах сопровождается повышением прочностных характеристик систем. При достаточно полном удалении дисперсионной среды образуются плотные и прочные структуры, в которых частицы фазы связаны между собой прямыми контактами. Подобные коагуляционные структуры по своим структурно-механическим свойствам приближаются к конденсационно-кристаллизационному типу структур.

Существенными признаками конденсационно-кристаллизационных структур являются:

- более высокая по сравнению с коагуляционными структурами прочность, которая определяется более высокой прочностью фазовых контактов между частицами - равной или более 10^{-6} Н на контакт;
- отсутствие тиксотропного восстановления структуры после разрушения;
- выраженная упругость и отсутствие пластичности и соответственно остаточных деформаций.

Конденсационно-кристаллизационные структуры присущи натуральным продуктам: овощам, фруктам, мышечной ткани животных и рыб и др.

В коагуляционно-кристаллизационных структурах существуют одновременно коагуляционные и кристаллизационные контакты, соотношение между которыми может изменяться в зависимости от тех или иных факторов.

Контрольные вопросы к теме 3.

1. Классификация дисперсных систем в зависимости от агрегатного состояния.
2. Классификация дисперсных систем в зависимости от размера частиц дисперсной фазы
3. Классификация дисперсных систем в зависимости от вида дисперсной фазы
4. Идеальные реологические модели.
5. Чем отличаются коагуляционные и кристаллизационные дисперсные системы?

Тема 4. Состояние влаги в продуктах

Вода является основным компонентом большинства пищевых продуктов. Ее содержание и состояние в продуктах в значительной степени определяет способ их пищевой обработки и качество готовой продукции.

Растительные материалы как объекты сушки отличаются от химических, строительных, топливных и других материалов неживой природы клеточным строением и свойствами влаги. Практически все изменения, происходящие с сырьем при сушке, связаны со свойствами диполей воды. Содержащуюся в продуктах воду можно разделить на свободную и связанную. Свободная вода характеризуется теми же свойствами, что и чистая вода. Почти вся вода, содержащаяся в пищевых продуктах, находится в связанном состоянии, но удерживается тканями с различной силой. В основу *классификации связанной воды*, предложенной П.А. Ребиндером, положена природа образования различных форм связи и энергии связи, под которой понимают ту энергию, которую необходимо затратить на разрушение этой связи при удалении влаги из материала. Формы связи влаги с материалом в порядке убывающей энергии подразделяются на три группы: химическую, физико-химическую и физико-механическую.

Химически связанная вода связана в виде гидроксильных ионов или заключена в кристаллогидраты. Такая связь является самой прочной и может быть удалена из продукта только путем химического взаимодействия или при прокаливании.

Физико-химически связанная вода делится на адсорбционно-связанную и осмотически поглощенную. Адсорбционно-связанная вода удерживается

силовым полем на внешней и внутренней поверхности мицелл коллоидного тела, которые характеризуются весьма значительной дисперсностью частиц, условный радиус которых составляет 0,01-0,1 мкм. Вследствие такой дисперсности коллоидные тела обладают огромной межфазной поверхностью, за счет которой происходит адсорбционное связывание воды. При адсорбционном связывании первого мономолекулярного слоя воды с коллоидным телом происходит выделение теплоты адсорбции. Кроме того, происходит сжатие объема, при котором объем набухшего тела становится меньше суммы объемов материала и поглощенной воды. Физико-механически связанная вода удерживается в неопределенных соотношениях и обычно свободно выделяется из продуктов высушиванием или даже прессованием. Физико-механически связанную воду делят на связанную макрокапиллярами (размер капилляра более 10^{-5} м) и микрокапиллярами (размер капилляра менее 10^{-5} м). Продукты в большинстве имеют макро- и микрокапиллярное строение. Капиллярную влагу можно рассматривать как свободную, она перемещается в капиллярах продукта в виде жидкости и пара. Различные виды связи воды в пищевых продуктах обуславливают механизм удаления этой воды при их сушке.

Осмотически поглощенная вода связывается макроколлоидами пищевых продуктов с высокополимерным строением. При образовании геля часть воды захватывается внутрь скелета геля и находится там в полупроницаемом контуре. Другая часть осмотически поглощенной воды проникает внутрь геля через стенки клеток из окружающей среды в результате осмоса. Осмотически связанная влага поглощается без выделения тепла и без сжатия системы.

На сегодняшний день пищевые продукты систематизированы по показателю активности воды и делятся на три группы: *продукты высокой влажности* (массовая доля влаги более 40 %, показатель активности воды колеблется от 0,9 до 1,0); *продукты со средней или промежуточной влажностью* (массовая доля влаги от 10 до 40 %, показатель активности воды варьируется от 0,6 до 0,9); *продукты низкой влажности*, массовая доля воды менее 20 % (показатель активности воды варьируется от 0 до 0,6).

Показатель активности воды является величиной непостоянной и изменяется под действием осмотически активных добавок, например, гелеобразователей. Большое влияние оказывает температура окружающей среды. Исследования Loneir и Weisser по замораживанию воды и определению ее активности показывают, что при 0°C активность воды равна 1, а при минус 20°C активность воды уменьшается до 0,78. При этом уменьшается доступность воды для биохимических и химических превращений, тем самым продлевается срок хранения пищевых продуктов.

Показатель активности воды дает многостороннюю оценку и характеристику пищевого продукта. Этот показатель используют при оценке консистенции продукта, изменении вязкости при сгущении и гелеобразовании, оценке возможности протекания химических реакций в водной фазе продукта, оценке возможного роста микроорганизмов, полезной и вредной микрофлоры, протекания биохимических реакций.

Количественно активность воды выражают через относительную влажность окружающей среды, при которой гидратационное равновесие продукта не изменяется.

$$a = P_{\text{и}} / P_{\text{н}} \quad (2)$$

где a - активность воды;

$P_{\text{и}}$ - парциальное давление насыщенного пара воды на поверхности материала;

$P_{\text{н}}$ - парциальное давление насыщенного пара свободной воды в окружающей среде.

С химической и биохимической точек зрения очевидно, что чем ниже активность воды, тем в меньшей степени она может принять участие в химических и биохимических процессах.

В процессе пищевой обработки качественное и количественное содержание влаги в продуктах изменяется. Форма, в которой влага перемещается в продуктах, обусловлена характером ее связи.

Адсорбционно связанная влага перемещается в виде пара и потенциалом переноса является парциальное давление пара, или, иначе говоря, средняя кинетическая энергия молекул пара, находящегося в единице объема продукта.

Капиллярно связанная влага может перемещаться в виде жидкости (молекулярный перенос) или в виде пара при углублении поверхности испарения. В первом случае потенциалом переноса будет капиллярный потенциал, во втором - парциальное давление пара.

Осмотически связанная влага перемещается в виде жидкости и потенциалом переноса является осмотическое давление.

Для характеристики гидратационных возможностей продуктов при пищевой обработке следует знать их максимальное сорбционное влагосодержание при данных условиях (температуре и др.).

Если продукт содержит влагу в большем против максимального сорбционного влагосодержания количестве, он может ее отдавать и быть использован в качестве донора влаги и наоборот - продукт, который содержит

влагу в меньшем против максимального сорбционного влагосодержания количестве, может ее поглощать и быть использован в качестве связующего влагу компонента.

Следует отметить, что соотношение активность воды / количество воды в разных продуктах различно и это сказывается на различиях в технологических свойствах продуктов. Активность воды отражает только меру связанности воды при данной влажности.

Контрольные вопросы к теме 4.

1. Как классифицируются формы связи влаги?
2. Формы связи влаги с материалом.
3. Что характеризует показатель активности воды?

Тема 5. Порошки и гранулы

Особенностью технологии *порошковых* и *гранулированных продуктов* является необходимость удаления влаги, которая образуется с наиболее тонкодисперсной частью системы паровую суспензию и выступает при формировании продукции в качестве пластификатора и временной технологической связывающей субстанции. Крупнодисперсная часть системы образует капиллярно-пористое тело, которое для нерастворимых и ненабухающих материалов при сушке практически не деформируется.

Наиболее распространенным способом удаления влаги из материалов является ее испарение при подводе тепла, т.е. сушка. Движущей силой процесса сушки является разность парциальных давлений водяного пара на поверхности высушиваемого материала и в окружающей среде. Интенсивность сушки обусловлена различными факторами, которые в конечном итоге определяют качество конечного продукта, в частности, изменения, которые с ним происходят (усадка с образованием трещин и т.д.). К наиболее значимым факторам, определяющим закономерности сушки, относятся содержание влаги и ее формы в продукте, температура, состав и свойства исходных систем.

Биологические растительные материалы, подвергаемые сушке наиболее часто, состоят из морфологических и функционально однородных клеток, которые соединяются в ткань с помощью срединных пластинок (состоит из гемицеллюлоз и пектиновых веществ), тяжей протоплазмы - плазмодесм и непрерывной водной фазы.

Всякий влажный материал состоит из твердой, жидкой и газообразной фаз. Твердая фаза имеет твердый скелет в виде кристаллической решетки или каркаса хаотического строения. Жидкая фаза характеризуется подвижностью частиц, несжимаемостью, почти неизменной плотностью, мало зависящей от

давления и температуры. Газообразная фаза отличается сжимаемостью, высоким значением объемного расширения.

Растительные материалы как объекты сушки отличаются от химических, строительных, топливных и других материалов неживой природы клеточным строением и свойствами влаги. Практически все изменения, происходящие с сырьем при сушке, связаны со свойствами диполей воды. Содержащуюся в продуктах воду можно разделить на свободную и связанную. Свободная вода характеризуется теми же свойствами, что и чистая вода. Почти вся вода, содержащаяся в пищевых продуктах, находится в связанном состоянии, но удерживается тканями с различной силой.

На сегодняшний день пищевые продукты систематизированы по показателю активности воды и делятся на три группы: *продукты высокой влажности* (массовая доля влаги более 40 %, показатель активности воды колеблется от 0,9 до 1,0); *продукты со средней или промежуточной влажностью* (массовая доля влаги от 10 до 40 %, показатель активности воды варьируется от 0,6 до 0,9); *продукты низкой влажности*, массовая доля воды менее 20 % (показатель активности воды варьируется от 0 до 0,6).

Порошки представляют собой одну из распространенных форм дисперсий. Физико-химические свойства порошков определяются силой контактного взаимодействия частиц, поэтому для решения как прикладных, так и фундаментальных теоретических задач в области физико-химической механики целесообразным представляется установление связи между макрореологическими характеристиками слоя порошка и силой взаимодействия частиц.

Обязательной технологической операцией изготовления порошков является измельчение высушенного материала. Измельчение заключается в его деформировании до момента разрушения или разрыва (дробление бобов какао, помол пшеницы в муку и др.).

Известно, что механические характеристики описывают поведение твердого материала под действием прилагаемой нагрузки. К механическим характеристикам относят предел упругости, предел прочности на разрыв, предельное напряжение сдвига и область пластичности.

Прочность материала зависит от наличия трещин или других дефектов в его структуре. В образцах значительных размеров даже небольшая нагрузка может вызвать разрыв материала при очень незначительной деформации из-за большого количества дефектов структуры. С уменьшением размера образца материала количество дефектов уменьшается, и предел прочности возрастает. Для разрыва небольших частиц необходимо преодолеть межмолекулярные силы. Вследствие этого очень трудно осуществлять измельчение частиц, размеры которых меньше определенной величины.

Твердость является свойством материала, которое необходимо учитывать при расчетах процессов измельчения. Для определения твердости часто применяют эмпирическую шкалу Моса: тальк - 1, гипс - 2, кальцит - 3, фторошпат - 4, апатит - 5, полевой шпат - 6, кварц - 7, топаз - 8, корунд - 9, алмаз - 10. Твердость можно также измерить по сопротивлению материала продавливанию при локальном сжатии, как, например, в испытаниях на твердость.

Гранулирование дисперсных систем представляет собой процесс превращения сухой сыпучей или влажной бесформенно агрегированной системы в одинаковые по размеру, плотности и прочности шарообразные гранулы. Широкое распространение процесса объясняется преимуществом гранулированного продукта по сравнению с сыпучим материалом. Гранулы транспортабельны, не запыляют атмосферу, хорошо дозируются, не подвергаются слеживанию и выветриванию. Применение гранулированных материалов обеспечивает переход от периодических процессов к непрерывным. Более того, полислойное гранулирование позволяет воздействовать на процессы переработки многокомпонентных сырьевых смесей.

Гранулирование методом *окатывания* в настоящее время производится по трем направлениям, обусловленным различным составом и свойствами гранулируемого материала. Первое направление (для окатывания тонкодисперсных продуктов фильтрации после глубокого обогащения) предусматривает поступление сырья в гранулятор с близким содержанием жидкой фазы. Корректировка количества жидкой фазы до оптимума производится путем доувлажнения или присадкой к ней небольших количеств сухих влагоемких добавок. Достоинство данного направления состоит в большой скорости образования и роста гранул. Однако стабильность процесса невелика из-за частых колебаний влажности системы.

По второму направлению сырье поступает в гранулятор в сухом виде. Жидкую фазу в гранулятор подают отдельно. Трехфазная комбуемая система образуется непосредственно в процессе гранулирования. Достоинство этого способа заключается в четкости и оперативности регулирования процесса гранулирования. Однако вследствие ограниченного поступления влаги смачиваемость ограничена. Это не только в целом замедляет интенсивность гранулообразования, но и также является причиной пылеобразования.

Третье направление получило наибольшее распространение и представляет собой *«полумокрое»* окатывание, суть которого состоит в том, что исходное сырье имеет влажность около 70-80 %, а остальные 20-30 % подается непосредственно в гранулятор в процессе гранулирования. При этом скорость процесса не зависит от смачивания гранул.

В зависимости от способа гранулирования при окатывании дисперсного материала различают стадию образования зародыша, рост гранул и уплотнение гранул. Стадия уплотнения налагается как на стадию образования устойчивого зародыша, так и на стадию его роста, и самостоятельно проявляется лишь на заключительном этапе гранулирования. Более плотные, следовательно, более прочные агрегаты способствуют ускорению и стабилизации процессов образования зародышей и росту гранул. Кинетика уплотнения дисперсного материала определяет и механизм гранулирования в целом.

Эффективность процесса гранулирования определяется факторами, влияющими на качество готовой продукции. Скорость роста гранул зависит от объемного влагосодержания, гранулометрического состава исходной системы, конструктивных особенностей аппарата. В зависимости от способа окатывания на скорость и стабильность процесса гранулообразования существенное влияние оказывают также стадии зародышеобразования и роста гранул.

Рост и уплотнение гранул находятся в прямой зависимости от скорости капиллярного теплообмена. Поверхность растущей гранулы должна быть переувлажнена, чтобы обеспечить налипание частиц сырьевой смеси. Такая избыточная влага переносится при уплотнении из ядра, с одной стороны, за счет возникающего капиллярного потенциала, а с другой - за счет чисто механического выдавливания. На этой стадии процесс гранулообразования лимитируется скоростью капиллярного массообмена при уплотнении.

Гранулирование проводят при температурах, близких к температуре сушки, что способствует уменьшению количества жидкости, необходимой для коагуляции. Протекающие реакции гидратации сокращают количество жидкости до требуемой величины, которая препятствует потере прочности гранул при сушке.

В целом технологический процесс получения порошков и гранул целесообразно рассматривать как самостоятельный химико-технологический процесс, течение которого предопределяется физико-химическими процессами и явлениями. В качестве общих факторов, определяющих технологические закономерности формирования рассматриваемых дисперсий, являются: форма и размер частиц, их распределение по размерам, расположение частиц в пространстве, объемное содержание частиц в системе, агрегатное состояние, стабильность и изменчивость отдельных параметров системы. Варьирование именно этих характеристик позволяет получить материалы с заданными составом и свойствами, а также оптимизировать технологические процессы по оптимальной траектории достижения цели.

Контрольные вопросы к теме 5.

1. Характеристика сыпучих материалов
2. Приведите особенности технологии порошковых материалов.
3. Что такое порошки? Чем порошки отличаются от гранул?
4. В чем заключается процесс гранулирования?

Тема 6. Набухание и студнеобразование

Набухание. Под набуханием понимают начальный этап растворения высокомолекулярных веществ с линейными гибкими макромолекулами, во время которого имеет место самопроизвольное проникновение молекул низкомолекулярного растворителя в структуру высокомолекулярных тел. При этом целостность тела сохраняется при значительном увеличении объема.

Природа процесса сложная, и в разных системах он протекает своеобразно, но во всех случаях для набухания характерны два явления (две формы связи влаги): адсорбционное связывание воды молекулами высокомолекулярного вещества, сопровождающееся тепловым эффектом, и диффузия воды во внутреннюю структуру набухающего вещества (осмотическая форма связи влаги), сопровождающаяся изменением энтропии системы.

Оба явления имеют место с начала процесса набухания, хотя обычно адсорбционное связывание влаги макромолекулами, т.е. их гидратацию выделяют в качестве первой стадии набухания.

Вторая стадия процесса обусловлена энтропийными причинами, значение которых резко возрастает в результате смещения макромолекул набухающего тела с молекулами растворителя.

В пищевой практике процессы набухания высокомолекулярных веществ: полисахаридов, белковых и слизистых веществ имеют место при замесе теста, клейстеризации крахмала, замачивании круп и бобовых и других процессах.

Набухание может заканчиваться образованием раствора высокомолекулярного вещества - неограниченное набухание, присущее например слизистым веществам муки, или образованием студня - ограниченное набухание, характерное, например, для клейковинных белков муки, а также желатина и агар при комнатной температуре.

Ограниченное набухание или ограниченное растворение высокомолекулярного вещества объясняется рядом причин. В одном случае оно может быть обусловлено особенностью физико-химического взаимодействия воды и высокомолекулярного вещества, например в случае белков клейковины. В других случаях ограниченность растворения высокомолекулярных веществ объясняется наличием поперечных связей разной природы между

макромолекулами вещества. Причем, эти связи в определенных условиях могут плавиться, например, водородные связи между макромолекулами желатина или агара при повышении температуры, и ограниченное набухание вещества перерастает в неограниченное т.е. раствор. Если при повышении температуры связи не плавятся, то ограниченный характер набухания сохраняется, например, при набухании целлюлозы в воде.

Студнеобразование. Наряду с набуханием студни могут быть также получены посредством изменения термодинамических параметров стабильных растворов студнеобразующих высокомолекулярных веществ: температуры, концентрации, давления. При этом, изменение параметров стабильных растворов соответствующих высокомолекулярных веществ предусматривает снижение их растворимости, в результате чего они становятся метастабильными пересыщенными, а их последующее изменение в направлении достижения стабильности включает выделение растворенного вещества в виде трехмерной пространственной каркасной фазы студня.

Сказанное на примере желатина складывается следующим образом.

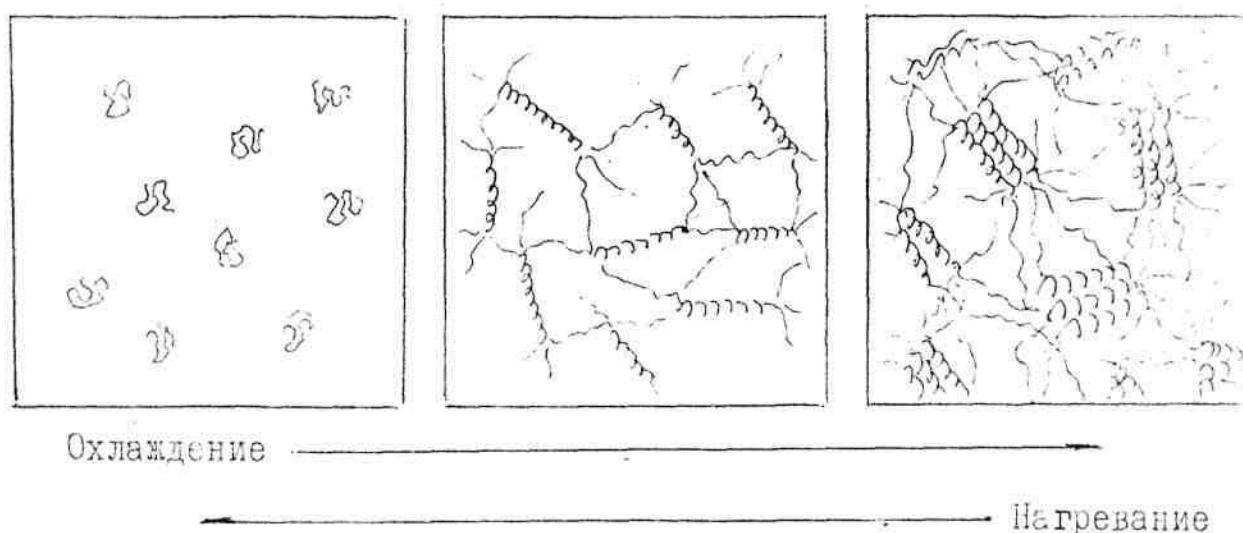
Для желатина температура 36-40 °С является так называемой "критической" температурой, выше которой его растворы независимо от концентрации и молекулярной массы ведут себя как молекулярно-дисперсные системы, молекулы желатина присутствуют в них в конформации статистического клубка.

Охлаждение растворов до температур несколько ниже "критических" системы из молекулярно-дисперсных переходят в псевдорастворы со свойствами упруго-вязкой жидкости.

Свойства псевдорастворов обусловлены частичным конформационным переходом макромолекул желатина по типу клубок-спираль с образованием коллагеноподобных тройных спиралей и соответственно ассоциатов макромолекул.

Дальнейшее охлаждение псевдорастворов желатина с концентрацией 1 % и выше приводит к нарастанию в них упругих свойств и затвердеванию всей системы в студень, обладающий четко выраженным пределом упругости. Образуется твердообразная система, сохраняющая приданную ей форму.

Узлами студней являются коллагеноподобные тройные спирали различной протяженности. Причем, для каждой полипептидной цепи характерно наличие не одного, а многих фрагментов (или сегментов), способных образовывать тройные спирали, что обуславливает возможность ее спирализации с несколькими макромолекулами. В результате в системе возникает непрерывная молекулярная сетка, связанная узлами из коллагеноподобных тройных спиралей (рисунок 2).



- 1 - молекулярно-дисперсная система;
- 2 - студень с тройными молекулярными спиральями;
- 3 - студень с тройными молекулярными спиральями и их агрегатами.

Рисунок 2 - Изменение водных систем желатина при нагревании и охлаждении

С учетом сказанного, студнями называют такие системы, в которых линейные или разветвленные цепеобразные молекулы или вторичные молекулярные структуры высокомолекулярных веществ прочно связаны между собой в относительно немногих точках химическими, водородными или иными молекулярными связями и образуют пространственную сетку, охватывающую своим объемом заключенный в ней растворитель или раствор низкомолекулярных фракций вещества.

Неоднозначное влияние на свойства студней желатина оказывает сахара, которая широко используется при производстве сладких желированных изделий на желатине. Сахара понижает активность воды, поэтому при ее добавлении и одновременном возрастании в системе соотношения – желатин / вода, прочность студней увеличивается. Одновременно сахара в концентрациях 25 % и выше оказывает на структуру студней разрыхляющий и пластифицирующий эффект. Если при концентрации сахара до 20-25 % студни желатина являются упруго-хрупкими системами, то при более высоких концентрациях сахара они становятся упруго-пластично-вязкими системами с упругим последствием.

Значительную роль во внутримолекулярном и межмолекулярном взаимодействии в студнях желатина играют водородные связи. Видимо, они ответственны за упруго-хрупкие свойства студней. Гидрофобное взаимодействие между неполярными группами макромолекул, участвующих в формировании структуры студня, обуславливают тиксотропные свойства

студней, особенно при концентрациях ниже 3,0 %.

Тиксотропность студней желатина и растянутость во времени перехода статистический клубок - тройная спираль - агрегаты тройных спиралей позволяют использовать слабо желированные студни для украшения банкетных блюд (например, желирующий майонез). Господствующая роль конденсационных структур в студнях агара и агароида препятствует их использованию подобным образом.

Из высокомолекулярных веществ растительного происхождения, используемых в качестве студнеобразователей можно отметить полисахариды морских водорослей: агар, агароид, фулцелларан, альгинат натрия и полисахариды наземных растений: пектиновые вещества, крахмал и его производные, а также производные целлюлозы. Процесс студнеобразования для каждого из этих веществ имеет свою специфику.

Процесс приготовления студней на основе агара, агароида, фулцелларана сходен с процессом приготовления студней на основе желатина: жидкость с ограниченно набухшими полисахаридами нагревают до кипения, полученные молекулярно - дисперсные растворы при охлаждении образуют студни. Узлами трехмерной пространственной структуры являются двойные молекулярные спирали смежных макромолекул и их агрегаты. По студнеобразующей способности полисахариды могут быть расположены в ряд: агар > фулцелларан > агароид. В обратном порядке находится содержание в них сульфатных групп и соответственно их растворимость.

Контрольные вопросы к теме 6.

1. Как происходит процесс набухания?
2. Причины неограниченного набухания
3. Причины ограниченного набухания
4. Что понимается под процессом студнеобразования?
5. Опишите процесс студнеобразования на примере желатина.

Тема 7. Эмульсионные структуры

Переработка сырья и производство готовой продукции с эмульсионной структурой имеет свою специфику и представляет значительный интерес для технолога в системе массового питания. Эмульсионная структура позволяет вводить в продукт значительное количество жира, который как таковой органолептически не воспринимают, она допускает также одновременное широкое использование вкусовых добавок и пряностей, растворимых в воде и в жире. Термостойкие эмульсии дают возможность сохранять жир или влагу в продуктах, подвергающихся тепловой обработке. Чтобы в полной мере

использовать технологические возможности эмульсионных структур следует достаточно полно рассмотреть особенности их формирования и факторы, обуславливающие их устойчивость.

С термодинамической точки зрения эмульсии представляют собой гетерогенные системы, состоящие из двух взаимно нерастворимых жидкостей, одна из которых диспергирована в другой. В зависимости от того какая фаза находится в диспергированном состоянии, различают два типа эмульсий: прямую (масло / вода), где масло является внутренней дисперсионной фазой, например соус майонез, и обратную (вода / масло), где масло служит внешней дисперсионной средой, например маргариновая эмульсия.

В зависимости от концентрации дисперсной фазы эмульсии условно подразделяют на разбавленные, в которых концентрация фазы не превышает 0,1 %, концентрированные с содержанием фазы до 74,0 % и высококонцентрированные с содержанием фазы более 74,0 %. Подобное подразделение связано, в том числе, со спецификой получения и устойчивости структуры эмульсий.

Типичная продукция массового питания с эмульсионной структурой относится к группе концентрированных эмульсий, поэтому представленный ниже материал касается свойств, главным образом, этой группы эмульсий.

При диспергировании одной жидкости в другой происходит увеличение поверхности раздела между фазами, вследствие чего возрастает запас свободной энергии системы. Согласно второму закону термодинамики, поверхностная энергия стремится к минимуму за счет уменьшения поверхности раздела фаз. При объединении двух капель фазы происходит уменьшение межфазной поверхности, а значит и поверхностной энергии системы, следовательно, процесс коалесценции (слияния) частиц фазы - процесс самопроизвольный, в то время как процесс получения эмульсии требует затраты энергии.

Повышение термодинамической устойчивости системы достигается посредством добавления третьего компонента - эмульгатора, понижающего поверхностную энергию и соответственно адсорбирующегося на поверхности раздела фаз в виде межфазного адсорбционного слоя.

Устойчивость концентрированных эмульсий достигается только в том случае, если на межфазной поверхности образуется стабилизирующая адсорбционная пленка, механически препятствующая агрегированию и коалесценции частиц дисперсной фазы.

Образованная эмульгатором адсорбционная оболочка, сольватированная с одной стороны дисперсной фазой, с другой диверсионной средой, рассматривается как самостоятельная третья фаза, разделяющая в эмульсии водную и масляную среды. Именно наличие этой пленки, а не низкая величина

межфазного натяжения исключает возможность слияния частиц дисперсной фазы. Понижение поверхностного натяжения скорее эффективно способствует образованию адсорбционного слоя.

Для устойчивой стабилизации концентрированных эмульсий на внешней поверхности частиц дисперсной фазы должен образоваться адсорбционный слой эмульгатора со структурой, механически препятствующей агрегированию и коалесценции частиц дисперсной фазы. В концентрированных эмульсиях структурно-механические свойства адсорбционной оболочки являются наиболее эффективным и универсальным стабилизирующим фактором.

В плане структурно-механического фактора стабилизации эмульсий к "хорошему" эмульгатору предъявляются два требования: способность понижать поверхностное натяжение на границе раздела фаз и способность образовывать прочные межфазные адсорбционные слои.

Эмульсии стабильны в том случае, если адсорбционные слои обладают повышенной структурной вязкостью, а при высоких степенях насыщения - упругостью и механической прочностью на сдвиг.

Для повышения устойчивости структуры эмульсий можно применять комбинированные эмульгаторы: один снижает поверхностное натяжение, другой в комбинации с первым формирует прочный межфазный адсорбционный слой.

По механизму, определяющему адсорбцию в межфазном слое, эмульгаторы иногда подразделяют на три класса:

1 вещества с гетерополярной молекулярной структурой и цепочечным строением типа жирных кислот;

2 макромолекулярные вещества типа белков, молекулы которых в разных направлениях не равномерны, но не обладают такой несбалансированностью как жирные кислоты. Длина и структура основной цепи, а также природа, размер и частота распределения боковых цепей определяют их растворимость и поведение на поверхности раздела фаз;

3 тонкодиспергированные нерастворимые твердые тела, способные концентрироваться на поверхности раздела фаз и образовывать на частицах фазы твердые защитные оболочки.

При производстве продукции массового питания обычно используют эмульгаторы второго и третьего классов: молочные и яичные белки, фосфатиды, пектиновые вещества, молотую горчицу, молотый перец, желатин и др.

Использование перца и горчицы в качестве твердых эмульгаторов обусловлено наличием на поверхности их частиц гидрофобных и гидрофильных групп, способных смачиваться соответственно неполярными и полярными жидкостями.

При перемешивании воды и масла в присутствии перца или горчицы их частицы концентрируются на межфазной поверхности, причем большая часть их собственной поверхности при этом находится в воде, которая их лучше смачивает. Таким образом, на частицах жира образуется прочная пространственная коагуляционная структура, препятствующая их коалесценции (рисунок 3).

Однако, наличие на поверхности капелек жира только одного слоя твердого эмульгатора еще недостаточно для агрегативной устойчивости эмульсии, капельки жира при столкновении должны были бы слипаться, поскольку всегда существует межфазное поверхностное натяжение на границе раздела твердый эмульгатор - дисперсионная среда.



Рисунок 3 - Расположение частичек перца или горчицы на поверхности раздела вода – масло

В случае введения в эмульсию эмульгатора с обратным гидрофильно-гидрофобным балансом при энергичном перемешивании возможно обращение эмульсий, т.е. дисперсионная среда обращается в дисперсную фазу и наоборот.

В практике производства продукции массового питания с обращением эмульсий практически не встречаются, но может наблюдаться другое явление - образование множественной эмульсии. Следует иметь ввиду, что образование межфазного адсорбционного слоя включает две стадии: на первой идет адсорбция эмульгатора, а на второй - формирование структуры межфазного слоя. Каждая из стадий протекает во времени. Поэтому высококонцентрированные эмульсии обязательно, а концентрированные эмульсии желательно получать путем последовательного введения в систему небольших объемов масла, чтобы эмульгатор успевал адсорбироваться на границе раздела фаз, о чем часто упоминается в технологии производства голландского соуса. Несоблюдение этого условия может привести к образованию множественной эмульсии, где дисперсная фаза сама является эмульсией, содержащей капельки другой фазы.

Стабильность или устойчивость эмульсий в значительной степени зависит от вязкости системы, чем она выше, тем стабильнее эмульсия. Свой

вклад в вязкость системы вносят и дисперсионная среда, и дисперсная фаза.

Чем выше концентрация и дисперсность фазы, тем больше вязкость системы. Поэтому при высокой концентрации фазы не всегда стараются добиться ее высокой дисперсности, т.к. вязкость системы и без того достаточно большая и эмульсия стабильна. И наоборот, когда концентрация фазы невысокая, увеличить вязкость и устойчивость эмульсии возможно за счет повышения дисперсности фазы.

Вязкость системы зависит от состояния дисперсионной среды. При введении в дисперсионную среду загустителей вязкость всей системы возрастает, одновременно возрастает ее устойчивость к коалесценции. В случае добавления студнеобразующих веществ, система приобретает свойства студня, ее устойчивость к коалесценции становится практически неограниченной во времени существования студня.

Контрольные вопросы к теме 7.

1. Дайте характеристику эмульсионным структурам.
2. Требования к качеству эмульгатора как структурно-механического фактора.
3. Назовите классы эмульгаторов по механизму адсорбции в межфазном слое.
4. От чего зависит стабильность или устойчивость эмульсий.

Тема 8. Пенообразные структуры

Классическому определению пен, как дисперсных систем, в которых дисперсионной средой является жидкость, а дисперсной фазой служит газ, соответствуют такие изделия как взбитые сливки, коктейли и некоторые другие. Близкими к ним по технологии производства являются суфле, муссы, самбуки и кремы с твердообразной дисперсионной средой.

Пенные системы получают при диспергировании газа в жидкости в присутствии пенообразователей. Жидкости без пенообразователей сколь угодно устойчивой пены не дают. Роль пенообразователя, как и эмульгатора в эмульсиях, заключается в понижении поверхностного натяжения на границе раздела фаз и, главное, в образовании на поверхности раздела прочных защитных пленок, препятствующих коалесценции. По требованиям, которые предъявляются к структурно-механическим свойствам межфазных адсорбционных слоев в пенах, принятой классификации пенообразователей, формам разрушения (седиментация, флокуляция, коалесценция) пенные системы также не отличаются от эмульсий.

Подобно эмульсиям процесс формирования межфазного адсорбционного

слоя в пенах включает две стадии: адсорбцию пенообразователя на границе раздела фаз и формирование структуры межфазного слоя. Прочность сформировавшегося межфазного адсорбционного слоя определяет важнейшую технологическую характеристику пищевых пенных структур - их устойчивость в ходе таких технологических процессов, как перемешивание и смешивание с другими компонентами, а также в ходе охлаждения и нагревания.

В соответствии с этими условиями многие изделия с ценной структурой представляют собой твердообразные упруго-пластично-вязкие системы с коагуляционной структурой.

В системе массового питания в качестве пенообразователей широко используют белок куриного яйца, желатин, а также метилцеллюлозу и белки молока.

Белок куриного яйца используют в свежем, высушенном и замороженном виде. В качестве эффективного начала, ответственного за пенообразующую способность белка, отмечают овоглобулин. Присутствие желтка, содержащего жир, снижает пенообразующую способность белка.

Пенообразующая способность желатина в значительной степени зависит от молекулярной массы, чем она больше, тем выше пенообразующая способность вещества.

Характеристика пенообразующей способности указанных веществ, установленная в процессе встряхивания их растворов в закрытом цилиндре, представлена в таблице 3.

Таблица 3 - Характеристика пенообразующей способности

Пенообразователь	Концентрация пенообразователя в растворе, на сухое в-во, %	Кратность пены	Устойчивость пены, в % объема к начальному через 30 мин
Белок куриного яйца	2,0	2,47	86
	3,0	2,84	91
	3,6	2,11	88
Желатин	0,9	2,77	83
	1,6	2,43	85
	2,0	2,40	82
Метилцеллюлоза (МЦ-8)	0,1	2,03	46
	0,5	2,75	50
	1,0	2,55	48
Обезжиренное молоко (COM)	5,0	1,80	75
	10,0	2,00	72
	15,0	1,70	69

При механизированном способе взбивания систем кратность пены возрастает, так для белка куриного яйца она составляет 5,0 - 8,0, для желатина - 3,0 - 3,5.

Управлять процессом пенообразования возможно посредством воздействия на свойства пенообразователей, дисперсионной среды, а также на условия формирования межфазного адсорбционного слоя.

Имеется определенная взаимосвязь между процессом формирования межфазного адсорбционного слоя и режимом взбивания смеси: скоростью и продолжительностью взбивания, а также формой рабочего органа. Т.к. указанная зависимость носит сложный и специфический для каждой системы характер, то можно ограничиться лишь общим замечанием, что режим взбивания (или условия взбивания) должен обеспечить максимально благоприятные условия для проявления свойств пенообразователя скорости адсорбции и формирования слоя.

В существующих рецептурах пищевой продукции с пенной структурой учитывается соотношение между количеством пенообразователя и прочих компонентов, при котором в достаточной мере проявляется пенообразующая способность пенообразователя. При разработке новых рецептов это обстоятельство следует учитывать, так как и недостаток и избыток пенообразователя сказываются на качестве готовой продукции. Следует иметь ввиду также возможность совместного использования нескольких пенообразователей, при котором проявляется синергизм их пенообразующей способности.

При использовании в качестве пенообразователя белка куриного яйца глобулы белка в адсорбционном слое претерпевают конформационные, т.е. денатурационные изменения, которые на первом этапе процесса способствуют формированию прочных эластичных межфазных структур. По мере увеличения продолжительности взбивания и углубления денатурационных изменений белка межфазные слои утрачивают эластичность и приобретают жесткость.

Для выпекаемых изделий межфазный адсорбционный слой должен быть эластичным иначе под давлением расширяющегося от нагревания воздуха они могут лопнуть, что повлечет за собой уменьшение объема и увеличение плотности изделий.

Вместе с тем, если пенная масса (белковая) взбита недостаточно и межфазные слои не сформировались в достаточной степени, пена вследствие ее неустойчивости при перемешивании с другими компонентами будет разрушаться.

На практике, необходимую устойчивость взбитой белковой массы и достаточную прочность межфазного адсорбционного слоя определяют по способности пены сохранять приданную ей форму и держаться на венчике

шапкой, не сползая с него.

Температурный оптимум для пенообразования белка куриного яйца лежит в интервале 20-30 °С, максимальная устойчивость пены наблюдается при 20 °С.

Влияние добавок сахарозы к массе белка куриного яйца проявляется в связывании ею влаги и соответствующем увеличении вязкости системы, что ухудшает условия адсорбции пенообразователя в межфазный слой, поэтому системы на основе белка куриного яйца с сахаром взбивают при температуре порядка 50 °С.

Одновременно, связывание влаги сахарозой и увеличение вязкости системы ведут к повышению устойчивости пены (таблица 4). Не исключено, что повышенная устойчивость пены в сахаро - белковых системах обусловлена дегидратирующим и денатурирующим эффектом сахарозы на белок.

Говоря о влиянии кислотности среды на пенообразующие свойства белка куриного яйца можно отметить проявление максимальной пенообразующей способности и устойчивости пены при значении рН среды 7,5-9,4. Используемое на практике подкисление белковых систем, как и добавление поваренной соли, несколько снижают пенообразующую способность белка и незначительно сказываются на устойчивости пены.

Таблица 4 - Характеристика устойчивости пены на основе белка куриного яйца с добавками сахарозы

Отношение белок – сахар	Объемная масса, г/см ³	Отслоение жидкой фазы, в % за время, ч			
		0,5	1,0	2,0	3,0
Контроль - белок без сахарозы	0,180	42,3	61,8	72,6	72,6
1 : 0,5	0,249	27,1	38,5	66,0	69,0
1 : 1,0	0,269	отслоения нет		13,8	21,4
1 : 1,5	0,300	отслоения нет			
1 : 2,0	0,362	отслоения нет			

При характеристике процесса пенообразования для систем с желатином следует учитывать его студнеобразующую способность.

При понижении температуры пенообразования, вследствие агрегации макромолекул желатина, его пенообразующая способность понижается, а водоудерживающая способность возрастает.

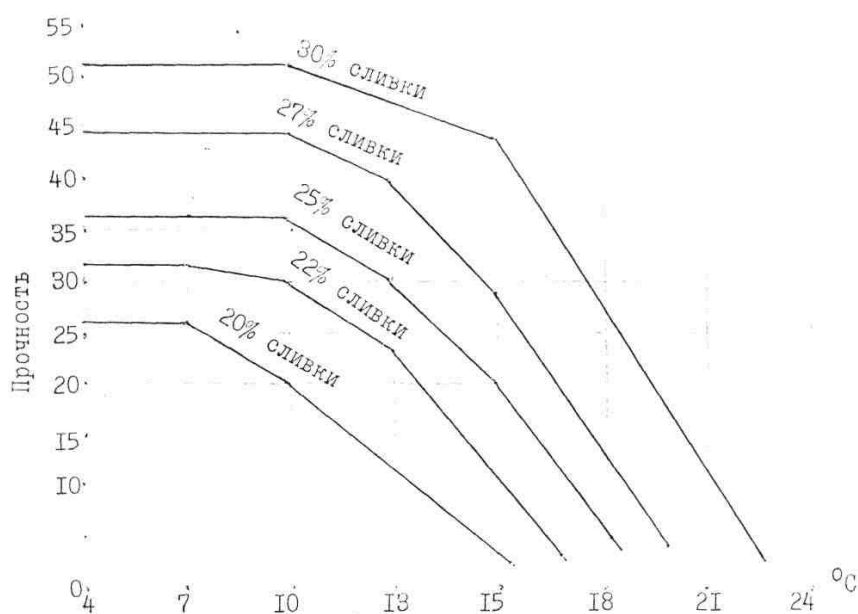
Обычно процесс взбивания смесей с желатином начинают при температуре 30-35 °С и ведут его при охлаждении массы. Взбитую массу, не давая ей зажелировать, разливают в формы и охлаждают.

Жиры, вследствие образования комплексов с пенообразователями, отрицательно влияют на их пенообразующую способность и устойчивость образуемых пен.

Для сливок отрицательный эффект жира устраняется вследствие того, что он находится в эмульгированном состоянии, а также застывает при охлаждении. Более того, в застывшем состоянии он укрепляет структуру системы и повышает устойчивость пены.

Лучшие результаты получаются при взбивании сливок, содержащих 30-35 % жира и охлажденных до 4-7 °С. Взбивание следует вести при охлаждении, не допуская повышения температуры системы (рисунок 4).

В качестве пенообразователя в сливках выступают молочные белки, которые одновременно являются эмульгаторами молочного жира, поэтому, чем ниже дисперсность жира, тем лучше сливки взбиваются. И, наоборот, гомогенизированные сливки при взбивании пены не образуют, видимо, вследствие повышенного участия белков в эмульсионной структуре системы. Отрицательный эффект на пенообразующую способность сливок оказывает также процесс их пастеризации, в ходе которой белки, вероятно, претерпевают нежелательные денатурационные изменения. Можно подвергать пастеризации только сливки с жирностью не менее 30 %. После пастеризации их необходимо быстро охладить до 15 °С и выдержать при этой температуре некоторое время.



На ординате отмечено время (сек), в течение которого стержень прибора погружался во взбитые сливки на 3 см.

Рисунок 4 - Графики изменения прочности взбитых сливок в зависимости от содержания жира и температуры

Кислотность сливок практически не сказывается на их пенообразующей способности.

Объем сливок при взбивании увеличивается в 2-2,5 раза, прочность пены в процессе взбивания возрастает и становится максимальной спустя 2-3 минуты после достижения максимального объема.

Эффективно повысить устойчивость пен возможно посредством увеличения вязкости дисперсионной среды в результате добавления к системам загустителей, в качестве которых используют крахмал, пектиновые вещества и др. Желатин, добавляемый во взбитую массу самбуков и кремов, является фиксатором пенной структуры этих изделий.

Контрольные вопросы к теме 8.

1. Дайте характеристику пенообразным массам.
2. Что используют в системе массового питания в качестве пенообразователей.
3. От чего зависит пенообразующая способность желатина
4. Дайте характеристику пенообразующей способности следующим веществам: белку куриного яйца, желатину, метилцеллюлозе, обезжиренному молоку.
5. Какие факторы влияют на качество пенообразования в сливках.

Тема 9. Адгезионные свойства пищевой продукции

Термином адгезия определяют слипание поверхностей двух разнородных тел, а сцепление частиц внутри рассматриваемых тел определяют термином - когезия.

Соответственно разрыв двух контактирующих тел по поверхности соприкосновения будет адгезионным, а с нарушением целостности одного из тел - когезионным.

Наряду с адгезией способность одних веществ (особенно жидкообразных) налипать на поверхности других веществ называют также липкостью. Вещество, которое прилипает к другому веществу (телу), называют адгезивом, а тело, к которому оно прилипает – субстратом.

Количественно адгезию или липкость материала характеризуют силой отрыва или энергией отрыва адгезива от субстрата. Силу, преодолеваемую при таком разделении адгезива и субстрата, называют также давлением прилипания.

Известно несколько теорий, объясняющих физико-химическую сущность адгезионных явлений: адсорбционная, диффузионная и ряд других.

По адгезионной теории адгезия является результатом межмолекулярного

взаимодействия контактирующих тел с образованием между молекулами различных связей.

В соответствии с диффузионной теорией при контакте двух тел имеет место взаимная диффузия макромолекул или их сегментов с образованием между ними различных связей. В случае контакта высокомолекулярных веществ с металлами возможна диффузия макромолекул в поры или трещины металлической поверхности, а также в поверхностный слой рыхлой гидроокиси, которая всегда образуется на поверхности металла.

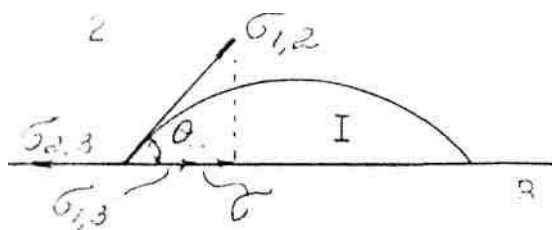
Для явления адгезии или липкости имеются определенные закономерности, знание которых позволяет понимать и управлять процессами липкости пищевых масс при производстве продукции.

Установлено, что прочная адгезионная связь устанавливается только между полярными или, наоборот, неполярными веществами.

В технологических процессах в качестве неполярного вещества обычно используют различные жиры, которые при жарке и выпекании изделий одновременно выступают в качестве теплопередающего и антиадгезионного агента. В качестве антиадгезионного агента жир используют также, например, при разделке теста для пирожков жареных. Чтобы тесто не прилипало к инвентарю и оборудованию их рекомендуют смазывать растительным маслом.

Для полярной жидкости, в качестве которой выступает в практике вода, из рисунка 9 и условий равновесия сил поверхностного натяжения в представленной системе, следует, что чем сильнее или полнее смачивание, тем в большей степени выражена адгезия продуктов, содержащих влагу.

Положение капли жидкости на твердой поверхности при контакте смачивании определяется значениями поверхностных натяжений на границе раздела следующих фаз: жидкость – газ $\sigma_{1,2}$, твердое тело – жидкость $\sigma_{1,3}$ и твердое тело – газ $\sigma_{2,3}$. Равновесие капли определяется одновременным воздействием этих трех поверхностных натяжений, которые по периметру контакта капли с твердым телом (см. рис. 5) показаны в виде векторов. Поверхностные натяжения направлены по касательной к соответствующей поверхности. Два из них, а именно твердое тело – газ $\sigma_{2,3}$ и твердое тело – жидкость $\sigma_{1,3}$, действуют по поверхности твердого тела в противоположных направлениях. Поверхностное натяжение на границе жидкости с газовой средой $\sigma_{1,2}$ действует под определенным углом к площади контакта. Этот угол называют углом смачивания и обозначается через θ . Часто для сокращения вместо «краевой угол смачивания» говорят просто «краевой угол».



1 - жидкость (вода)

2 – газ (воздух)

3 - твердое тело

Рисунок 5 - Зависимость между краевым углом и величинами поверхностных натяжений в условиях равновесия системы

Краевой угол θ связан с поверхностными натяжениями на границе раздела трех фаз $\sigma_{2,3}$, $\sigma_{1,3}$, $\sigma_{1,2}$. Для установления связи между основными величинами, характеризующими адгезию жидкости в условиях равновесия, проектируя поверхностное натяжение $\sigma_{2,3}$ на ось, которая соответствует площади контакта и направлению поверхностных натяжений $\sigma_{1,3}$ можно записать:

$$\sigma_{2,3} = \sigma_{1,3} + \sigma_{1,2} \cos \theta \quad (3)$$

Полученное уравнение представляет собой одну из форм закона Юнга, характеризующего равновесие капли жидкости на твердой поверхности.

Т.к. смачивающий эффект и условия контактирования зависят от влажности продукта, то чем она выше при прочих равных условиях, тем в большей степени выражена адгезия.

Поверхность влажного продукта можно "осушить" и снизить его адгезионную способность посредством использования панировки из муки или сухарей, а также обработать ими поверхность формы, в которой выпекают продукт или посыпать мукой стол, на котором разделявают тесто, что широко используют в пищевой практике.

Процесс подсушивания влажного продукта наблюдается при его жарке или выпекании. Недостаточная температура жира и разогрев аппарата могут привести к повышенной адгезии продукта к жарочной поверхности и его пригоранию, что наблюдается порой при выпечке блинов, когда по этой причине первый блин не "сходит" с жарочной поверхности /первый блин комом/.

На липкость или адгезионные свойства продуктов может отражаться изменение характера связи влаги в них в ходе технологического процесса.

Так, при добавлении сахара в тесто или поваренной соли и влаги в мясной фарш вязкость продуктов снижается, возрастает доля осмотически связанной влаги, в результате чего продукты "разжижаются" и их липкость возрастает. Или только что замешанное дрожжевое тесто не прилипает так к рукам, как прилипает выброженное тесто, т.к. в процессе брожения растворимость составляющих тесто компонентов возрастает, а способность удерживать влагу за счет набухания понижается. Т.е. тесто также "разжижается", его вязкость понижается, а липкость возрастает. Липкость сахарной помады определяется наличием в ее структуре раствора инвертного сахара, который образуется в процессе ее изготовления. При его недостатке помада на поверхности изделий не держится.

В качестве примера повышения вязкости и липкости продукта можно также отметить добавление с этой целью в рыбный фарш части предварительно сваренной рыбы, содержащей раствор желатина (глютина).

Адгезионная способность продуктов в значительной степени зависит от коагуляционно-кристаллизационного характера их структуры.

Развитая коагуляционная структура в студнях желатина позволяет готовить на его основе многослойное нераслаивающееся желе с содержанием сахара 16-25 %. Приготовить при таком содержании сахара нераслаивающееся желе на основе агароида не удастся, т.к. в его студне высоко развита кристаллизационная структура и соответственно подвижность и активность макромолекул полисахарида резко понижены, при производстве трехслойного мармелада указанные затруднения "снимаются" за счет высокого содержания сахара, который разжижает и пластифицирует кристаллизационную структуру студней агароида.

Аналогично, нельзя формировать крупяные котлеты из остывшей массы, т.к. вследствие ретроградации амилозы в крахмальном клейстере при пониженных температурах развиваются кристаллизационные структуры и его адгезионная способность понижается. Сформованные котлеты при нагревании разваливаются.

Повышение кристаллизационных структур в тесте в результате введения в него овощей или чистой клетчатки снижают его липкость.

Наряду с влажностью и вязкостью на прилипание влияют такие факторы как давление при контакте, продолжительность контактирования, температура, чистота поверхности субстрата и ряд других.

Реальный контакт при соприкосновении тел значительно меньше площади геометрического соприкосновения, поэтому давление и продолжительность контактирования способствуют прилипанию.

С повышением температуры, при всех прочих равных условиях, прилипание возрастает.

Помимо чистоты поверхности субстрата в качестве антиадгезионных покрытий в пищевой промышленности используют фторопластовые покрытия, кремний - органические лаки, винипласт и другие.

Контрольные вопросы к теме 9.

1. Поверхностные свойства (адгезия, когезия, коэффициент трения).
2. Теории, объясняющие физико-химическую сущность адгезионных явлений.
3. Охарактеризуйте положение капли жидкости на твердой поверхности при контактном смачивании.

Тема 10. Изменения углеводов при технологической обработке пищевых продуктов

Общие сведения. Углеводам в питании человека принадлежит чрезвычайно важная роль. Они являются главным источником энергии для человеческого организма, необходимой для жизнедеятельности всех клеток, тканей и органов. Эта группа веществ и их производные входят в состав разнообразных тканей и жидкостей, то есть являются пластическими материалами. Регуляторная функция углеводов разнообразна, они противодействуют накоплению кетоновых тел при окислении жиров. Ощущение сладкого, воспринимаемое рецепторами языка, тонизирует центральную нервную систему. Следует отметить важную роль углеводов в защитных реакциях организма, особенно протекающих в печени.

Углеводные запасы человека очень ограничены, содержание их не превышает 1 % массы тела. Суточная потребность человека в углеводах составляет 400...500 г, при этом примерно 80 % приходится на крахмал.

Согласно принятой в настоящее время классификации углеводы подразделяются на три основные группы:

1. моносахариды (глюкоза, фруктоза, галактоза, манноза);
2. олигосахариды (сахароза, лактоза, мальтоза);
3. полисахариды (крахмал, клетчатка, гликоген, пектиновые вещества).

Нетрудно представить, что физико-химические и биохимические изменения, происходящие с этими веществами в процессе технологической обработки продуктов, оказывают существенное влияние на качество готовых изделий. Наиболее глубокие изменения происходят под действием ферментов, кислот, при нагревании. В процессе производства различных пищевых продуктов часть содержащихся в них сахаров расщепляется. В одних случаях расщепление ограничивается гидролизом дисахаридов, в других - происходит более глубокий распад сахаров.

Из особенностей состава и структуры сахаров и крахмала, для сахаров необходимо отметить присутствие в молекулах значительного количества гидроксильных групп, обуславливающих гидрофильную гидратацию и хорошую растворимость сахаров в воде, а также наличие в составе карбонильной группы, что определяет возможность их взаимодействия с аминокислотами, белками и некоторыми другими веществами, содержащими свободные аминогруппы, с образованием различных продуктов, в том числе меланоидинов. Высокая молекулярная масса крахмала определяет его набухание, в процессе растворения.

Олиго- и полисахариды могут подвергаться кислотному и ферментативному гидролизу.

При высоких температурах сахара и крахмал подвергаются химическим превращениям с образованием разнообразных низкомолекулярных и высокомолекулярных веществ с различной степенью растворимости или летучести, окраски и аромата. Одним из основных продуктов разложения сахаров на начальном этапе процесса является вода.

При производстве пищевых продуктов имеют место следующие превращения углеводов: гидролиз, инверсия, брожение, карамелизация, меланоидинообразование, клейстеризация, ферментативный гидролиз крахмала, декстринизация крахмала, ретроградация крахмала, модификация крахмала.

Гидролиз дисахаридов и полисахаридов. Дисахариды и полисахариды гидролизуются как под действием ферментов, так и под действием кислот. На первых стадиях гидролиза из дисахаридов образуются моносахариды, из полисахаридов - более низкомолекулярные вещества. Например, конечным продуктом гидролиза крахмала является глюкоза, на промежуточных стадиях образуются декстрины, три-, тетрасахара, мальтоза.

При нагревании, под действием пищевых кислот или ферментов сахароза в водных растворах гидролизует (присоединяет молекулу воды) с образованием раствора равных количеств глюкозы и фруктозы. Ион водорода кислоты действует при этом как катализатор. Этот процесс распада носит название **инверсии** (перестановки), т.к. происходит изменение направления вращения плоскости поляризации системы. Правовращающий раствор сахарозы превращается в левовращающий раствор равных количеств глюкозы и фруктозы. Смесь равных или эквимолекулярных количеств глюкозы и фруктозы называют инвертным сахаром, который имеет более сладкий вкус, чем сахароза за счет присутствия фруктозы. Если сладость сахарозы принять за 100 %, то для глюкозы она – 730 %, а фруктозы – 173 %. Инверсия характерна только для гидролиза сахарозы и не наблюдается при гидролизе других дисахаридов.

Ферментативный гидролиз сахарозы под действием фермента β - фруктофуранозидазы (сахаразы, инвертазы) играет положительную роль в ряде пищевых технологий. Для инвертного сахара характерна не только повышенная сладость, но и высокая гигроскопичность. Присутствие инвертного сахара в помадке предохраняет ее от засахаривания, то есть инвертный сироп является антикристаллизатором и способен задерживать кристаллизацию сахарозы.

Спиртовое брожение. Спиртовое брожение осуществляется благодаря жизнедеятельности ряда микроорганизмов. Наиболее типичными организмами спиртового брожения являются дрожжи рода *Saccharomyces*. Хлебопекарные дрожжи относятся к виду *S. cerevisiae*, но в зависимости от принадлежности к тому или другому штамму могут отличаться поведением при брожении.

В отсутствии кислорода единственным путем получения энергии для жизнедеятельности дрожжевых клеток является сбраживание углеводов. В хлебопечении преобладает анаэробный путь с образованием в качестве конечных продуктов этилового спирта и углекислого газа. Этот процесс осуществляется через целый ряд промежуточных реакций с участием многочисленных ферментов зимазного комплекса дрожжей.

1) Первой стадией этого процесса является образование фосфорных эфиров сахаров – фосфорилирование глюкозы с участием аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Фосфорилирование глюкозы катализируется ферментом глюкокиназой или гексокиназой.

2) Образовавшийся глюкозо-6-фосфат подвергается изомеризации, превращаясь под действием фермента глюкозофосфатизомеразы во фруктозо-6-фосфат

3) Образовавшийся фруктозо-6-фосфат подвергается дальнейшему фосфорилированию за счет аденозинтрифосфорной кислоты с участием фермента фосфотриозкиназы, в результате этой реакции образуется фруктозо-1,6-дифосфат.

Этим заканчивается подготовительная стадия анаэробного (и аэробного) расщепления сахара.

4) На следующей стадии фруктозо-1,6-дифосфат распадается на две молекулы: фосфотриоз - фосфоглицериновый альдегид и фосфодиоксиацетон при участии фермента альдолазы (зимогексазы).

Под действием того же фермента фосфодиоксиацетон может обратимо конденсироваться не только с фосфоглицериновым альдегидом, но и с другими альдегидами, образуя пентозы, гексозы и некоторые полисахариды. Кроме того, возможно и восстановление глицеринового альдегида в глицерин.

5) Образовавшиеся фосфотриозы под действием фермента триозофосфатизомеразы изомеризуются, причем равновесие устанавливается

при содержании 95 % фосфоглицеринового альдегида и 5 % фосфодиоксиацетона.

6) Образовавшийся 3-фосфоглицериновый альдегид окисляется в 1,3-дифосфоглицериновую кислоту при участии фермента дегидрогеназы фосфоглицеринового альдегида.

7) 1,3-дифосфоглицериновая кислота под действием фермента фосфаттрансферазы превращается в 3-фосфоглицериновую кислоту.

8) Под действием фермента фосфоглицеромутазы 3-фосфоглицериновая кислота превращается в 2-фосфоглицериновую.

9) Образовавшаяся 2-фосфоглицериновая кислота при участии фермента энолазы (фосфопируватгидратазы) превращается в фосфоэнолпировиноградную кислоту.

10) Под действием фермента фосфотрансферазы (пируватфосфокиназы) фосфоэнолпировиноградная кислота превращается в энолпировиноградную, которая быстро превращается в более устойчивую кетоформу пировиноградной кислоты.

11) Пировиноградная кислота под действием фермента пируватдекарбоксилазы превращается в углекислый газ и уксусный альдегид. Этот последний вступает во взаимодействие с коферментом дегидрогеназы НАДН (никотинамидадениннуклеотид), причем образуется этиловый спирт.

Суммарное уравнение процесса спиртового брожения углеводов, следовательно, может быть представлено следующей формулой:



Это суммарное уравнение не отражает того факта, что обычно кроме главных продуктов брожения образуются также другие вещества. Например, при спиртовом брожении в незначительном количестве всегда образуются янтарная кислота, лимонная кислота, а также смесь амилового, бутилового и других спиртов, уксусная кислота, дикетоны, уксусный альдегид, глицерин и ряд других соединений, количество которых увеличивается с повышением pH среды.

Сбраживаться могут только простые сахара. Ферментная система дрожжей (зимазный комплекс) сбраживает разные сахара с различной скоростью. Наиболее легко подвергаются сбраживанию глюкоза и фруктоза, медленнее – манноза и еще медленнее – галактоза; пентозы дрожжами не сбраживаются.

Из дисахаридов хорошим субстратом спиртового брожения являются сахароза и мальтоза. Дисахариды непосредственному брожению не подвергаются. Сахароза и мальтоза подвергаются при брожении теста и в

начальной стадии его выпечки ферментативному гидролизу. Дрожжевое тесто готовят с добавлением сахара по рецептуре 2,5 – 25 %. При замесе теста в процессе брожения под действием фермента муки β - амилазы из крахмала непрерывно образуется мальтоза. Содержащаяся в муке и дрожжах сахараза очень быстро инвертирует сахарозу. При добавлении сахарозы в тесто даже в таком большом количестве как 7,5 %, инверсия ее заканчивается буквально через несколько минут. Образующийся инвертный сахар в определенной степени увеличивает сладость изделий, а также предохраняет изделия от засахаривания.

Хлебопекарные дрожжи обладают малой мальтазной активностью, то есть в единицу времени они гидролизуют мальтозы меньше, чем гидролизуют сахарозы. Поэтому быстрая инверсия сахарозы вызывает задержку разложения мальтозы. Достаточно интенсивно мальтоза расщепляется лишь в тесте, в которое сахараза не добавляется (в опаре). В таком тесте дрожжи настолько приспособляются к сбраживанию мальтозы, что введение через некоторое время сахарозы не оказывает заметного влияния на мальтазную активность дрожжей. А присутствие значительного количества сахарозы в тесте, приготовленном безопасным способом, приостанавливает гидролиз мальтозы.

Активную мальтазу содержат некоторые ферментные препараты, которые применяются в качестве улучшителей хлеба. При их внесении интенсивность расщепления мальтозы увеличивается даже в присутствии сахарозы. При брожении теста глубокому расщеплению подвергаются моносахариды (глюкоза и фруктоза), содержащиеся в муке и образующиеся в результате гидролиза сахарозы и мальтозы.

Важным фактором, влияющим на сбраживающую активность дрожжей, является также наличие органических соединений азота, в частности аминокислот и их амидов. Добавление в сбраживаемую среду аспарагина, например, сильно повышает выделение дрожжами углекислого газа. Кислотный оптимум сбраживания глюкозы дрожжевыми клетками лежит в очень широких границах рН 3-7. При повышении температуры от 25 до 35 °С интенсивность брожения повышается примерно в 2 раза.

Молочнокислое брожение. Молочнокислое брожение всегда сопутствует спиртовому брожению. Молочнокислое брожение играет очень важную роль при производстве молочных продуктов, кваса, хлебных заквасок и “жидких дрожжей”, при квашении овощей. Молочнокислое брожение вызывается гомо- и гетероферментативными молочными бактериями, которые попадают с сырьём.

При типичном гомоферментативном молочнокислом брожении продуцируется в основном молочная кислота и незначительная часть летучих кислот, этанола, диоксида углерода, фумаровой кислоты.

Фактически, если брожение происходит в кислой среде при $pH=5$, образуется небольшое количество уксусной и муравьиной кислоты и этиловый спирт. Молочнокислородное брожение этого типа вызывается несколькими видами бактерий, обнаруживаемых в муке, опаре и тесте.

Нетипичное, или гетероферментативное молочнокислородное брожение ведет к образованию наряду с молочной кислотой ряда органических соединений, накапливающихся в значительных количествах (масляной, пропионовой кислоты и т.д.).

Заметное содержание молочной и уксусной кислот в ржаном тесте и ржаном хлебе объясняется тем, что при брожении ржаного теста, наряду со спиртовым брожением происходит также и молочнокислородное брожение.

Спиртовое и молочнокислородное брожения вызывают глубокий распад сахаров, то есть в результате образуются сахара. Замес и брожение проводится при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($28\text{...}32\text{ }^{\circ}\text{C}$), это оптимальный температурный режим, так как активность всех ферментов зимазного комплекса дрожжей при этой температуре максимальна. Это относится, как к гидролитическим процессам расщепления, так и к тем, которые вызывают спиртовое и молочнокислородное брожения. Ферментативное расщепление сахарозы и мальтозы и распад моносахаров до спирта и CO_2 и молочной кислоты может продолжаться и при выпечке теста, но только в начальный период, так как при повышении температуры до $50 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ферменты погибают и не могут проявить своего действия на сахара.

Карамелизация – процесс превращения сахаров под действием высокой температуры в аморфную массу, более или менее интенсивно окрашенную в желто-коричневый цвет.

В зависимости от интенсивности теплового воздействия, условий нагревания, количества и видов сахаров образуются различные продукты карамелизации. Происходящие в ходе карамелизации процессы катализируются небольшими концентрациями кислот, щелочей и некоторых солей. При этом образуются коричневые продукты с типичным карамельным ароматом. Регулируя условия, можно направить реакции в основном на получение аромата или в сторону образования окрашенных продуктов.

Карамелизация сахаров протекает с отщеплением молекул воды и образованием реакционно способных веществ: оксиальдегидов, оксикетонов, оксиметилфурфурола, который может преобразоваться в муравьиную и левулиновую кислоты.

Присутствующая в сиропах вода способствует необратимым изменениям сахаров. При недостатке влаги активизируются процессы реверсии (конденсации).

Изменения дисахаридов начинаются с их гидролиза. Сахароза в растворах менее устойчива при нагревании, чем в сухом состоянии. Если сахар нагревать не в сухом виде, а в концентрированном растворе (70 % и выше) сахарозы, например, при изготовлении помадки, сахарных сиропов, можно наблюдать появление окрашенных веществ уже при температуре 125 °С, что свидетельствует о частичной инверсии дисахарида. Образовавшиеся при этом Д-глюкоза и Д-фруктоза быстро разрушаются с образованием кислот, катализирующих процесс. Продукты гидролиза сахарозы подвергаются дегидратации с образованием соответствующих ангидридов (глюкозана и фруктозана). Дальнейшее нагревание сопровождается образованием продуктов реверсии. Полимеризация образующихся альдегидов обуславливает появление окрашенных веществ. В этом случае, карамелизация сахара проходит при более низких температурах. Глубина процессов нарастает по мере повышения температуры.

Можно говорить о наличии в продуктах карамелизации сахарозы таких веществ как карамелан, каремелен и карамелин. При высоких температурах (190-200 °С) от молекулы сахарозы отщепляется две молекулы воды и образуется **карамелан** ($C_{12}H_{18}O_9$) - растворимое в воде соединение светло-желтого цвета. При отщеплении от трех молекул сахарозы восьми молекул воды образуется **каремелен** ($C_{36}H_{50}O_{25}$) – ярко-коричневое с рубиновым оттенком, растворимое в холодной и горячей воде, вещество. Более сильное обезвоживание нагреваемой массы приводит к образованию темно-коричневого вещества **карамелина** ($C_{24}H_{30}O_{15}$), растворяющегося только в кипящей воде. Первые два вещества - порошки горького вкуса. Подобные продукты образуются при расщеплении глюкозы. Продукты карамелизации сахарозы являются смесью веществ различной степени полимеризации, поэтому деление их на карамелен, карамелан, карамелин условное; все эти вещества можно получить одновременно. Смесью этих продуктов карамелизации сахарозы в практике известны под названием жженка (пищевого красителя, обладающего канцерогенными свойствами), употребляется он для подкраски бульонов, соусов, сладких блюд. Явлением карамелизации обусловлено образование румяной корки при обжаривании растительных продуктов.

Следует еще раз отметить, что глубина процессов карамелизации сахаров, природа образующихся продуктов зависят от многих факторов, в том числе от вида сахара, условий нагревания, влажности продуктов, кислотности среды и др. Многие из продуктов карамелизации сахаров также образуются и участвуют в процессах меланоидинообразования.

Меланоидинообразование - реакция взаимодействия альдегидных групп редуцирующих α - сахаров (альдосахаров) с аминогруппами продуктов гидролиза белков (аминокислоты, пептиды, полипептиды и некоторые другие

соединения, содержащие аминогруппы) с образованием темноокрашенных продуктов - меланоидинов. Имеются основания говорить о том, что часть из меланоидинов идентична продуктам, которые образуются в ходе карамелизации сахаров.

В процессе карамелизации в основном лежит обезвоживание, а в меланоидинообразовании – изменение сахара идет в присутствии веществ, содержащих в своем составе аминогруппу (аминокислоты, полипептиды, белки). При взаимодействии альдегидных групп альдосахаров с аминогруппами белков (аминокислот, полипептидов) образуются различные карбонильные соединения и меланоидины. Особенно энергично редуцирующие сахара (альдозы) реагируют с аминокислотами, удельный вес аминогрупп в которых наиболее высок. В ходе реакции происходит глубокий распад, как сахара, так и аминокислоты. Конечными продуктами реакций являются меланоидины – вещества неуставленного сложного состава и строения. Как и продукты карамелизации, они имеют окраску от желтой до темно-коричневой, специфический вкус и аромат, и представляют собой ненасыщенные соединения. Меланоидинообразование формирует вкус, аромат, корочку пищевых продуктов.

Ход реакций меланоидинообразования зависит от многих факторов. Эти реакции впервые были описаны Майаром в 1912 году и названы по фамилии автора. Реакции Майара являются первой стадией реакции неферментативного потемнения пищевых продуктов. Все процессы, приводящие к образованию меланоидинов, еще недостаточно точно определены, но можно выделить основные стадии меланоидинообразования с характеристикой некоторых реакций и образующихся продуктов.

Наиболее известен механизм реакций, предложенный Ходжем, включающий семь основных реакций, которые можно подразделить на три последовательно протекающие стадии.

Начальная стадия - образование бесцветных соединений, не поглощающих свет: *А* - сахароаминная реакция, *Б* - перегруппировка Амадори и образование 1-амино-1-дезоксид-2-кетозы в 1,2-енольной форме. Эти стадии реакции нельзя обнаружить измерением оптической плотности в видимой и УФ - областях спектра.

Промежуточная стадия - образование бесцветных и слабо-желтых продуктов. Еще до появления видимой цветности они сильно поглощают свет в ультрафиолетовой области спектра: *В* - дегидратация сахаров; *Г* - разложение сахаров; *Д* - разложение аминокислот (по Штрекеру).

Конечная стадия характеризуется интенсивным нарастанием цветности: *Е* - альдольная конденсация (реакция конденсации альдегидов), *Ж* - альдегидаминная полимеризация, образование гетероциклических азотистых

соединений.

Реакция приводит также к образованию ароматических и вкусовых веществ, причем по сравнению с реакцией карамелизации в ней преобладают летучие компоненты, оказывающие сильное влияние на аромат.

Реакция меланоидинообразования происходит при более низких температурах, чем карамелизация. При температуре 95-100 °С в продукте можно наблюдать образование меланоидинов, а при повышении температуры до 120-135 °С эти реакции идут очень интенсивно (оптимальная температура меланоидинообразования).

Аромат, окраска, вкус образующихся в процессе меланоидинообразования веществ и скорость реакции зависят от многих факторов.

Факторы, влияющие на реакцию Майяра:

- **Температура.** Реакция протекает в широком интервале температур. Повышение температуры свыше близких к 100 °С и выше обуславливает увеличение скорости реакций меланоидинообразования, усиление интенсивности окраски продукта и формирование аромата. Накопление красящих веществ максимально при 140-160 °С.

- **pH - среда.** Реакция среды в разных системах может иметь свою специфику. Меланоидинообразование протекает в слабокислых, нейтральных, щелочных средах, оптимум pH в пределах 7-10. Степень потемнения продукта зависит от pH - среды, влияющей на карбонильную группу. Изменение pH значительно сказывается на стабильности белков. Этим объясняется различная устойчивость пищевых продуктов с неодинаковыми pH при термической обработке. Установлено, что образование меланоидинов происходит не только в интервале pH 6-9, но и в кислой среде (pH 3-4) при самых незначительных количествах аминокислот. Кислая среда затормаживает процесс, при значении pH среды 2,1 реакция не протекает. В щелочной среде взаимодействие моносахаров с аминокислотами происходит наиболее интенсивно.

- **Концентрация реагирующих компонентов.** С ростом концентрации реагирующих веществ скорость реакций возрастает. Отмечают, например, что интенсивность окраски образующихся продуктов возрастает пропорционально квадрату концентрации реагирующих веществ. В результате тепловой обработки (сгущение соков, уваривание продуктов) происходит постоянное изменение концентрации углеводов, аминосоединений, что влияет на интенсивность образования красящих веществ.

- **Кислород воздуха** ускоряет образование меланоидинов. Хотя есть противоположное мнение, что при сильном продувании воздухом происходит разрыв гексозных цепей и красящих веществ образуется мало. При мягком окислении цветность нарастает интенсивнее.

- **Ионы металлов.** Некоторые из металлов переменной валентности катализируют реакцию меланоидинообразования (Fe^{2+}), другие же оказывают меньшее влияние (Cu), или вообще не влияют на процесс (Al). Например, алюминий не оказывает влияния на ход этой реакции, так как образующийся осадок гидроокиси алюминия адсорбирует часть красящих веществ и снижает цветность раствора по сравнению с контролем.

- **Активность воды (влажность).** В безводной среде меланоидины не образуются. При активности воды в системе 0,4-0,7 увеличивается скорость реакций меланоидинообразования. Надо полагать, что последующее снижение активности воды повлечет за собой не только увеличение концентрации реагирующих веществ, но и резкое нарастание вязкости среды, в связи, с чем скорость процесса падает.

Контрольные вопросы к теме 10.

1. Гидролиз дисахаридов и полисахаридов.
2. Виды брожения.
3. Объясните механизм процесса карамелизации сахара.
4. Меланоидинообразование.
5. Факторы, влияющие на реакцию Майра.

Тема 11. Изменение крахмала при технологической обработке

Общие сведения

В растительной ткани крахмал содержится в клеточных структурах (пластидах) в виде зерен размером от единиц до 100 мкм и более.

Вид крахмала (источник)	Содержание крахмала, %
Картофель	12 – 14
Горох	42 – 50
Фасоль	37 – 39
Перловая крупа	69 – 71
Гречневая крупа	69 – 74
Пшено	65 – 71
Рис	70 – 76
Мука пшеничная	63 – 68

Крахмал – растительный полисахарид со сложным строением, состоит в основном из двух полимеров: амилозы и амилопектина.

Амилоза и амилопектин в растениях формируются в виде крахмальных зерен, структура которых до конца не выяснена. Известно, что крахмальное

зерно представляет собой биологическое образование с хорошо организованной формой и структурой. В его центральной части имеется ядро, называемое зародышем или “точкой роста”, вокруг которого располагаются ряды концентрических слоев – “колец роста” (толщиной 0,1 мкм). В нативных крахмальных зернах полиглюкозидные цепи амилозы и амилопектина образуют спирали с тремя глюкозными остатками на каждом обороте спирали.

В клубнях картофеля крахмальные зерна плавают в клеточном соке; в крупах и бобовых они заполняют клетки, располагаясь среди алевроновых зерен и частиц высохшей протоплазмы. В поляризованном свете обнаружены светлые пятна в виде мальтийского креста, что указывает на кристаллическую структуру.

Все крахмальное зерно пронизано микропорами.

Амилоза дает с йодом характерную синюю окраску, амилопектин - красно-фиолетовую. Окраска йод - полисахаридного комплекса зависит от степени полимеризации линейных остатков в полимере. Заметная окраска появляется при степени полимеризации 20. Цепи, состоящие из 30 остатков глюкозы дают с йодом пурпурное окрашивание и при степени полимеризации свыше 45 - синее.

Растворимость крахмала

Нативный крахмал практически нерастворим в холодной воде. На этом свойстве основан метод его выделения из растительных продуктов.

Известно, что линейные полимеры перед растворением сильно набухают, поглощая большое количество растворителя, и при этом резко увеличиваются в объеме. Растворению крахмальных полимеров в воде также предшествует набухание.

Оксигруппы полисахаридов определяют их гидрофильную гидратацию и соответственно растворимость в воде, которая также зависит от молекулярной массы полисахаридов и температуры системы.

Различают 3 вида амилозы: *низкомолекулярная (легкая)* – число глюкозидных остатков не превышает 2000; *высокомолекулярная (тяжелая)* – число остатков превышает 6000; и *средняя* амилоза, степень полимеризации которой лежит в пределах 2000-6000.

Амилоза при хранении очень быстро выделяется из растворов и выпадает в осадок в виде хлопьев – подвергается **ретроградации**. Это происходит потому, что в горячих растворах цепочки амилозы находятся в форме деформированных спиралей за счет гидроксильных групп, имеющих в молекуле. Спирали удерживаются в растворе, сохраняя гидратную оболочку. При охлаждении, хранении раствора скрученные спирали теряют гидратную оболочку и начинают вытягиваться, располагаясь одна возле другой. При этом между гидроксильными группами возникают водородные связи, которые

связывают большое число молекул, что приводит сначала к *опалесценции* раствора, а затем к образованию хлопьев и выпадению их в осадок. Склонность к ретроградации зависит от особенностей крахмала, из которого выделена амилоза. Амилоза просяного крахмала ретроградирует значительно быстрее, чем гречишного и пшеничного, а последние быстрее, чем амилоза картофельного крахмала.

Изменение крахмала в продуктах происходит в процессе их тепловой обработки, то есть в условиях повышенной температуры, только в тесте крахмал изменяется при 25-30 °С. В ходе тепловой обработки продуктов может происходить *клейстеризация, декстринизация и гидролиз крахмала*.

Набухание и клейстеризация крахмала

Способность к клейстеризации является одним из важнейших технологических свойств крахмала, т.к. определяет консистенцию, объем и выход изделий из крахмалсодержащего сырья.

Клейстеризация крахмала - это разрушение нативной структуры крахмального зерна, сопровождающееся набуханием. Необходимым условием клейстеризации является присутствие воды и повышение температуры. Неповрежденные крахмальные зерна нерастворимы в холодной воде, но могут обратимо впитывать влагу и легко набухают. Увеличение диаметра зерен при набухании зависит от вида крахмала.

Набухание – одно из важнейших свойств крахмала, которое влияет на консистенцию, форму, объем и выход готовых изделий. Степень набухания зависит от температуры среды, продолжительности нагрева, соотношения воды и крахмала, вида крахмала, степени дисперсности (раздробленности) крахмальных зёрен.

Так, при нагревании водной суспензии крахмальных зерен до температуры 55 °С происходит медленное поглощение ими воды (до 50 %) и частичное набухание. При этом повышения вязкости суспензии не наблюдается. Набухание это обратимо: после охлаждения и сушки крахмал оказывается почти неизменным.

На первой стадии клейстеризации амилоза частично растворена и если крахмальную суспензию отцентрифугировать и высушить, то крахмал вновь приобретёт нативную структуру.

При дальнейшем нагревании суспензии (в интервале температур от 60 до 100 °С) набухание крахмальных зерен ускоряется, последние увеличиваются в объеме в несколько раз. В этом случае процесс набухания оказывается необратимым, так как протекает с изменением структуры крахмального зерна.

Нагревание выше температуры начала клейстеризации влечет за собой более сильное разрушение нативной структуры крахмальных зерен. Слоистое их строение исчезает, они увеличиваются в объеме в несколько десятков раз и

превращаются в пузырьки, наполненные растворенной амилозой и сильно набухшим амилопектином. Вязкость клейстера повышается, увеличивается выход полисахаридов в раствор (за пределы зерна), наступает *вторая стадия клейстеризации*. Таким образом, полученный при нагревании суспензии клейстер представляет собой оклейстеризованные набухшие зерна, между которыми растворенная спиралевидная амилоза. Эта система – крахмальный золь.

Из различных видов крахмала в основном образуются два типа клейстеров: из клубневых - прозрачный бесцветный желеобразной консистенции, из зерновых - непрозрачный молочно-белый пастообразной консистенции. Клейстер кукурузного амилопектинового крахмала по своим свойствам ближе к клейстеру картофельного. Эти свойства необходимо учитывать при замене одного вида крахмала другим.

Для многих пищевых продуктов, особенно для пшеничного теста, важное значение имеет взаимодействие белок – крахмал при формировании структуры хлеба, которая связана с образованием клейковины во время замеса теста, клейстеризацией крахмала и денатурацией белка благодаря нагреванию в присутствии воды. Это длительный процесс: при повышении температуры по мере денатурации белков вода выpressовывается и используется крахмалом, т.е. так происходит перераспределение влаги в системе. Однако точная природа взаимодействия между крахмалом и белком в пищевых системах остается неясной.

Ретроградация крахмала – это переход крахмальных полисахаридов из растворимого состояния в нерастворимое за счет образования водородных связей путем соединения молекулярных цепей в агрегаты. Этот процесс происходит как с образованием осадка (в жидкой системе), так и без него (в густой). При этом физически связанная с полисахаридами вода вытесняется из студня, вследствие чего изделия приобретают более жесткую консистенцию. Например, у многих крахмалосодержащих пищевых продуктов (в первую очередь, хлебобулочных) при хранении наблюдается черствение, которое связано с ассоциацией амилозных молекул. Объясняется это тем, что физически связанная с полисахаридами вода вытесняется из студня, вследствие чего изделия приобретают более жесткую консистенцию.

Ретроградация усиливается при замораживании изделий и резко ухудшает качество продуктов, прошедших тепловую обработку. Неоднократное замораживание и оттаивание приводят к полной и необратимой ретроградации полисахаридов и, как следствие, резкому ухудшению качества изделий.

Установлено, что растворы амилопектина ретроградируют значительно медленнее, чем амилозы. Поэтому при изготовлении продуктов, подлежащих длительному хранению, используют амилопектиновый крахмал.

Ретроградиrowанный крахмал менее чувствителен к действию ферментов. Ретроградацию полисахаридов частично можно устранить нагреванием. Ретроградиrowанная амилоза труднее возвращается в растворимое состояние, чем амилопектин.

Ретроградация является обратимым процессом. Для предотвращения или замедления черствения в изделиях целесообразно применять в качестве добавок улучшители, жиры, которые образуют комплексы с амилозой, а также белки, ПАВ, сахара и другие комплексообразующие вещества (пектины, желатин). Эффект черствения может быть (но лишь частично) реверсирован в хлебе прогревом и смачиванием водой. При этом в результате термического движения крахмальных молекул имеет место частичный возврат к более аморфной структуре, которая менее плотно упакована, и поэтому текстура изделия становится мягче.

Ферментативный гидролиз крахмала – расщепление крахмала под действием амилолитических ферментов, наблюдается в таких технологических процессах, как брожение дрожжевого теста и выпечка хлеба, варка и жарка картофеля.

В крахмалосодержащих продуктах наряду с крахмалом всегда присутствуют амилолитические ферменты. Крахмал гидролизруется под действием α - и β -амилазы. Причем, установлено, что оклейстеризованный крахмал в большей степени подвержен ферментативному гидролизу, чем нативный.

Установлено, что в муке из проросшего зерна пшеницы присутствуют α - и β -амилаза, из непроросшего α -амилаза находится в неактивном состоянии и в гидролизе крахмала участвует только β -амилаза. Обводнение муки при замесе теста активизирует деятельность содержащихся в ней ферментов.

Действие β -амилазы (α -1,4-глюкан-мальтогидролазы) состоит в том, что она полностью гидролизует амилозу и внешние боковые ветви амилопектина по месту глюкозидных связей - α -1,4 (то есть между 1-ым и 4-ым атомами углерода), отщепляя от полисахаридов одну за другой молекулы мальтозы. Этот фермент не обладает способностью разрушать связи в точках ветвления амилопектина (α -1,6).

α -амилаза (α -1,4-глюкан-4-глюкангидролаза) беспорядочно гидролизует α -1,4 - связи полисахаридов крахмала в случайных точках и вызывает его частичную деполимеризацию с образованием низкомолекулярных полисахаридов. Продолжительный гидролиз крахмала α -амилазой приводит к образованию некоторого количества мальтозы и глюкозы. Продукты деструкции амилопектина могут в дальнейшем расщепляться β -амилазой. Накопление значительного количества декстринов при активной α -амилазе разжижает тесто, придает ему высокую липкость, присущую растворам

высокомолекулярных веществ. Снижение водосвязывающей способности крахмала отрицательно сказывается на качестве выпеченных изделий: мякиш получается влажным и липким.

Таким образом, β -амилаза при действии на крахмал образует в основном мальтозу и незначительное количество высокомолекулярных декстринов, в то время как α -амилаза образует в качестве основного продукта гидролиза крахмала низкомолекулярные декстрины и незначительное количество мальтозы, глюкозы и других моносахаров.

Деструкция крахмала - изменение структуры крахмальных зерен (вплоть до разрушения) и составляющих их полисахаридов (деполимеризация амилозы и амилопектина) при сухом нагреве с образованием *декстринов* (пиродекстринов).

При тепловой обработке крахмалосодержащих продуктов деструкция крахмала происходит при нагревании его в присутствии воды и при сухом нагреве при температурах выше 100 °С. Кроме того, крахмал может подвергаться деструкции под действием амилалитических ферментов. Изменения крахмала при сухом нагреве называют **декстринизацией**.

Крахмал, содержащийся в различных пищевых продуктах, подвергается декстринизации в той или иной мере в процессах их жарки, запекании, выпечке. В корочке, образующейся на поверхности кулинарных изделий, приготовленных этими способами, всегда содержится некоторое количество продуктов декстринов.

Продукты декстринизации крахмала участвуют также в формировании вкуса и аромата кулинарной продукции.

В качестве дополнительных примеров целенаправленной декстринизации крахмала можно отметить обжаривание или подсушивание некоторых круп и гренок.

При изготовлении из сырой крупы рассыпчатых каш консистенция последних не всегда получается удовлетворительной. Поэтому гречневую крупу перед варкой обжаривают, а рисовую и манную подсушивают. Протекающая при этом деструкция крахмала, снижая способность его к набуханию и клейстеризации при дальнейшей варке круп, обуславливает улучшение консистенции рассыпчатых каш.

Модификация крахмала. Крахмальные полисахариды являются весьма лабильными реакционными способными соединениями. Они активно взаимодействуют с ионами металлов, кислотами, щелочами, окислителями, поверхностно-активными веществами. Изменения крахмала происходит под действием температуры, давления, механической обработки, термической деструкции. Это позволяет модифицировать молекулы крахмала, изменяя их нативные свойства: гидрофильность, способность к клейстеризации и

студнеобразованию, а также механические характеристики студней. Одни виды модификации способствуют повышению растворимости крахмала в воде, другие ограничивают набухание.

С заданными свойствами модифицированный крахмал можно получить посредством селекционного отбора сырья или путём химической деструкции с помощью кислот, щелочей, а также в результате действия физических факторов: температуры, давления, механической обработки, замораживания и оттаивания и других факторов.

Если реакция протекает в кислой среде, то наблюдаются процессы деструкции, которые приводят к получению ряда продуктов – жидкокипящего крахмала (с низкой вязкостью), патоки, глюкозы.

Учитывая влияние, которое имеют те или иные свойства крахмала на качество пищевых продуктов, целесообразно применение в целом ряде производств различных модифицированных крахмалов.

Предварительно клейстеризованный крахмал получают путем клейстеризации крахмальной суспензии, последующего высушивания в виде тонкой пленки на вальцовых сушилках и измельчения в порошок. Отличительной особенностью этого крахмала является способность к быстрой регидратации в воде, что дает возможность использовать его в качестве загустителя в пищевых продуктах без нагревания (в пудингах, начинках).

Крахмал, модифицированный кислотой, получают путем обработки крахмальной суспензии серной кислотой при температуре 25 – 55 °С (обычно при температурах, близких к началу клейстеризации), время обработки зависит от показателя вязкости, которую хотят получить, и может составлять 6 – 24 часов. Этот крахмал нерастворим практически в холодной воде, но хорошо растворим в кипящей воде. Благодаря способности этого крахмала образовывать горячие концентрированные клейстеры, обладающие достаточно высокой студнеобразующей способностью, которые при остывании дают гель, этот крахмал можно с успехом применять в качестве смягчителя при производстве жележных конфет, пудингов и ряда других изделий с желированной структурой, а также для получения защитных пленок.

Этерифицированные крахмалы получают путем введения в молекулу крахмала небольшого числа замещающих групп посредством сложноэфирной связи. В основном это ацетильные, фосфорные группы.

Ацетаты крахмала получают обработкой зерен крахмала уксусной кислотой или ацетангидридом в присутствии катализатора. Ацетаты крахмала обладают пониженной способностью к ретроградации, образуют прозрачные и стабильные клейстеры, применяются в замороженных продуктах, пекарских изделиях, инстант-порошках.

Модифицированный крахмал применяют при изготовлении жележных

изделий, мучных кондитерских изделий, отделочных полуфабрикатов типа кремов, в качестве загустителей и стабилизаторов для соусов, мороженого и др. Крахмалопродукт со структурой, подобной образующейся при выпечке хлеба, получают в результате нескольких циклов замораживания и оттаивания крахмальной дисперсии, при этом образуется пористый крахмал, нерастворимый в холодной воде. Применяют его после пропитывания сиропами в качестве начинки для конфет.

Контрольные вопросы к теме 11.

1. Какие изменения крахмала происходят при технологической обработке.
2. Опишите процесс набухания и клейстеризации крахмала.
3. Ретроградация крахмала.
4. Ферментативный гидролиз крахмала.
5. Что включает в себя понятие «модификация крахмала»?

Тема 12. Структурно - функциональные свойства полисахаридов в пищевых продуктах

Ассортимент полисахаридных структурообразователей обширен и постоянно пополняется благодаря поиску новых источников выделения, модификации известных гидроколлоидов физическими, химическими и ферментативными методами, культивированию микроорганизмов-продуцентов.

Структурообразователи - вещества, изменяющие консистенцию пищевых продуктов (загустители, желе- и студнеобразователи, пенообразователи, эмульгаторы, стабилизаторы, пленкообразователи т.п.).

Структурообразователи вносят для загущения, эмульгирования, водоудержания, пенообразования, флокуляции, сидементации, предотвращения синерезиса, ингибирования кристаллизации и черствления, дегазации, коалесценции и т.д.

По источникам выделения различают структурообразователи животного, растительного и микробиологического происхождения.

Структурообразователи могут быть натуральными, биосинтетическими, модифицированными, синтетическими.

Структурообразователи, содержащиеся в сырье животного или растительного происхождения, относятся к группе натуральных. Натуральные, в свою очередь, делятся на экссудаты, водорослевые сухие экстракты и порошки, получаемые из семян растений. К экссудатам относятся смолы, выделяемые растениями: гуммиарабик, смола гатти, смола карая. Экстракты, получаемые из морских водорослей, представлены агар-агаром, агароидом, альгинатами, каррагенанами, фуцеллараном. К натуральным

структурообразователям, получаемым из зерен и плодов растений, относятся крахмалы (из пшеницы, кукурузы, картофеля, тапиока, ржи), арабикогалактан, пектины.

Биосинтетические гидроколлоиды (биокамеди) - это структурообразователи микробиологического происхождения. Они представлены следующими полисахаридами: ксантан, рамзан, велан, геллан, керкогель R, леван, декстран, курдлан.

Группу модифицированных структурообразователей составляют: производные целлюлозы (карбоксиметилцеллюлоза, метилцеллюлоза, оксипропилцеллюлоза, оксиэтилцеллюлоза), производные крахмала (оксипропилкрахмал, карбоксиметилкрахмал), производные хитина (хитозан), производные альгинатов (пропилен альгинат), пектин с небольшим содержанием метоксильных групп, оксипропил гуар. К синтетическим относятся метилвиниловый эфир малеинового ангидрида, поливиниловый спирт, полиэтилен-гликоль полимеры.

Студнеобразователи - это вещества (агар-агар, соли альгиновых кислот, каррагенаны, и др.), способные формировать при определенных условиях (концентрация, температура и др.) трехмерные структуры геля, относящиеся к конденсационно - кристаллизационным нетиксогруппным структурам.

Загустители – вещества (микrokристаллическая целлюлоза и простые эфиры целлюлозы), образующие в воде высоковязкие растворы. Причем с повышением концентрации растворов их вязкость возрастает, и при определенных значениях структура системы может перейти из коагуляционной в конденсационно-кристаллизационную. Это значит, что все студнеобразователи могут быть загустителями. Например, каррагенаны, используемые для изменения реологических свойств продуктов питания в зависимости от дозировки и условий могут образовывать все промежуточные стадии полученной структуры - от слабых тиксотропных до структуры геля.

Эмульгаторы - вещества, уменьшающие поверхностное натяжение и способные образовывать адсорбционные слои на границе раздела фаз. Эмульгаторы можно разделить на две группы: первая - вещества, которые способствуют эмульгированию, образуют адсорбционные слои, но не формируют структурные сетки геля или хотя бы ее элементы, т.е. не обладают эффектом сгущения (лецитин, жирные кислоты и их соли и др.); вторая - эмульгаторы - высокомолекулярные поверхностно-активные вещества (ВПАВ), способные на внешней поверхности капелек жира образовывать коллоидные адсорбционные слои, а в непрерывной фазе формировать структурную сетку геля. Поэтому эмульгаторы ВПАВ одновременно являются и загустителями (желатин, альгинат, яичный белок и др.). Однако высокомолекулярные соединения, образующие гели, но не являющиеся поверхностно-активными

веществами, стабилизировать эмульсии не могут.

Пенообразователи - это вещества, способные образовывать защитные адсорбционные слои на поверхности раздела жидкой и газообразной фаз. Они выполняют две функции: при диспергировании газа в жидкости способствуют образованию пены и обеспечивают устойчивость структуры последней. Как правило, эмульгаторы являются и пенообразователями, лучшие из которых - белки.

Связующие вещества, или пищевые клеи, обладают высокой адгезионной способностью по отношению к поверхности частиц пищевых продуктов и благодаря этому связывают их в единое целое. Наиболее типичными представителями связующих веществ являются хитозан, карбоксиметилцеллюлоза, тонко измельченная мышечная ткань рыбы.

Пленкообразователи - высокомолекулярные вещества, растворы которых, обладая соответствующей вязкостью и адгезией, при формировании через фильеры заданного профиля фиксируются в виде пленок. Для формирования пленок применяют два метода: сухой, основанный на испарении растворителя, и мокрый, при котором фиксацию пленки проводят в осадительной ванне. В пищевой технологии в качестве пленкообразователей широко применяют желатин и альгинат натрия.

Из приведенных выше данных следует, что одни структурообразователи проявляют многофункциональность свойств; применение других возможно только в одном или двух направлениях.

Контрольные вопросы к теме 12.

1. Структурно-функциональные свойства полисахаридов в пищевых продуктах.
2. Как различаются структурообразователи по источнику выделения.
3. Как различаются структурообразователи по способу получения.
4. Назовите вещества, входящие в группу модифицированных структурообразователей.
5. Классифицируйте структурообразователи по проявляемым свойствам.

Тема 13. Белки пищевых продуктов

Белками, или белковыми веществами (протеинами, от греч. protas - первый, важнейший), называют высокомолекулярные (молекулярная масса варьирует от 5-10 тыс до I млн и более) природные полимеры, молекулы которых построены из остатков аминокислот. Число последних очень сильно колеблется и иногда достигает нескольких тысяч. Каждый белок обладает своей, присущей ему последовательностью расположения аминокислотных остатков.

Качество белков определяет свою усвояемость (должно быть 100 г белков, в том числе 70 г белков животного происхождения). Необходимым условием является наличие в белках незаменимых аминокислот.

Белки молочных продуктов. Молочные продукты являются прекрасным источником полноценных белков. Важным источником питания является молоко. Белки молока - созданные природой белки для вскармливания потомства, обладают высокой усвояемостью и часто принимаются за идеал полноценного белка. Содержание незаменимых аминокислот в белках молока очень близко к оптимальному.

Содержание белка в молоке 3-4 %. В молоке белки представлены: казеином (2,5-3 %), лактоальбумином (0,5-1 %), лактоглобулином (0,1 %).

Различают две фракции белков молока: казеин (фракции белка, которые выпадают при подкислении молока до pH 4,6) и сывороточные белки (при подкислении остаются в растворенном состоянии).

Содержание белков в молочных продуктах

Продукт	Белок	Продукт	Белок
Молоко пастеризованное	2,8-3,0	Кефир	2,8-4,3
Сливки	2,5-3,0	Йогурт	58,0
Сметана	2,4-3,0	Ряженка	3,0
Творог жирный	14,0	Масло сливочное	0,5
Творог нежирный	18,0	Сыр твёрдый	23,0-30,0

Казеин обладает уникальной стабильностью: он не денатурируется при нагревании до 100 °С. Свертывание казеина наблюдается только при кипячении около 5 часов, при сильном подкислении ("скисание" молока) или при действии сычужного фермента. Другие белки молока менее устойчивы.

Казеин имеет относительно высокое содержание пролина и оксипролина, молекулы которых представляют собой жесткие звенья в полипептидной цепи и мешают спирализации казеина. Это обеспечивает его относительно высокую устойчивость к коагуляции.

Казеины составляют в среднем 79 % общего содержания белка, остальное - сывороточные белки. Казеины и сывороточные белки отличаются по аминокислотному составу. Сывороточные белки содержат большее количество важной кислоты - цистина, в то время как казеин содержит больше глутаминовой кислоты.

В сквашенном молоке при нагревании происходит свёртывание казеина и разделение системы на две фракции: свернувшийся казеин (творог) и сыворотку.

В противоположность казеину другие фракции молока менее устойчивы.

При нагревании молока уже при 60 °С альбумины начинают денатурироваться, свертываться и оседать на дно посуды. Поэтому молоко так легко пригорает при кипячении. Пленка, образующаяся при кипячении молока, состоит из денатурированного казеина, жиров, соединений фосфора, кальция и др.

Казеин имеет большое значение как пищевой продукт, являясь главной составной частью творога и сыра. Это полноценный белок, содержащий все необходимые организму аминокислоты; в его состав входит фосфор.

Пищевая ценность хлеба невысока, поскольку аминокислотный состав белков не сбалансирован из-за дефицита лизина (2 мг на 100 г хлеба), триптофана, метионина. Для повышения ценности хлеба, в том числе белковой (содержание белка в муке 7-10 %), и наличия кальция вводятся молочные продукты.

Белки яиц и яичных продуктов. Для приготовления пищевых продуктов используют только куриные яйца. Яйца водоплавающей птицы (утки, гуси) использовать не разрешается, так как они представляют особую опасность для человека в качестве источника сальмонеллезных токсикоинфекций.

Кроме яиц перерабатывается меланж, яичный порошок.

Яйца являются источником полноценных и легкоусвояемых белков.

Содержание СВ=26 % в яйце. Куриные яйца содержат в среднем 12,7 % протеинов. Протеины яиц полноценны, количество незаменимых аминокислот в них близко к оптимальному. Основную часть белковых веществ белка яиц составляют альбумины: овальбумин (60-70 %), кональбумин (10-15 %); гликопротеиды: овомукоид (10-14 %), авидин (0,05-0,1 %), лизоцим (3 %). Кроме того, в белке содержится овоглобулин и некоторые другие белки. В желтках яиц присутствуют фосфопротеиды (вителлин, ливетин, фофитин), содержащие в различных количествах фосфор. Количественно преобладает вителлин (1 % фосфора), который частично связан с фосфотидами, образуя липовителлин. Белковые вещества желтка в основном представлены фосфопротеидами (%): вителлин - свыше 78; ливетин - около 24; фосвитин - около 9; кональбумин и овальбумин - следы. Белки желтка не являются однородными и каждый из них может быть разделен на несколько фракций.

Соотношение аминокислот в белках яичных продуктов близко к идеальному.

Ценность липидов яйца обусловлена благоприятным жирно-кислотным составом (олеиновая, арахидоновая, линолевая, линоленовая кислоты) и

Белок и желток яйца представляют собой концентрированные золи. При тепловой обработке яиц в результате денатурации и тот и другой коагулирует, превращаясь в гели, удерживающие всю содержащуюся в них воду. Механические свойства свернувшихся белков используют для связывания

пищевых масс.

Яйцо, разведенное молоком или водой, образует менее плотные студни. Это дает возможность получать яичные блюда очень нежной консистенции (омлеты, яичная кашка). Для получения омлетов обычно берут на 40-50 г яйца 15 г молока.

Иногда при длительной варке яиц наблюдается потемнение поверхностного слоя желтка. Объясняется это тем, что в белке яиц содержатся серосодержащие аминокислоты (цистин, цистеин, метионин), от которых при нагревании отщепляется сероводород. Содержащиеся в желтке соединения железа образуют с сероводородом темноокрашенные сульфиды.

Уменьшить потемнение поверхности желтка можно, погрузив яйцо сразу же после варки в холодную воду. При этом давление воздуха под скорлупой снижается и сероводород диффундирует к поверхности яйца.

Белки зерна и бобовых культур. Основную долю растительных белков составляют проламины. Они растворимы в спирте. Водно- и солерастворимых белков в растительных белках содержится мало.

Первая группа белков зерна - глиадины, составляет 35-40 % от всех белков. Вторая группа белков зерна - глютелины (28-38 % от общей массы белков).

Кроме этих белков, в зерне встречаются альбумины, например, лейкозин (5 %), глобулины (12-13 %) и нерастворимые белки (8-10 %).

Белки животных продуктов по сравнению с белками зерна содержат гораздо больше незаменимых аминокислот. Так, в молоке и молочных продуктах не ощущается дефицита лизина. Нет дефицита незаменимых аминокислот в говядине, свинине, почках, сердце, языке и других мясных продуктах.

Кроме того, растительные белки хуже усваиваются (на 70-80 %). Белки же мяса, рыбы, яиц, молока усваиваются на 95-96 %.

Таким образом, белок зерна является неполноценным. Поэтому пищевые продукты из зерна обычно обогащают либо искусственным добавлением лизина, либо добавлением мутанных сортов пшеницы с повышенным содержанием лизина.

Хорошим источником белка является соя, горох, фасоль. Блюда из фасоли - важный источник дешевого белка. В отличие от многих других растительных продуктов белки фасоли недефицитны по лизину.

Наиболее богатыми по содержанию белка являются соевые бобы. Они дают 3500 кг белка с 1 га в год. Волокнистый и текстурированный очищенный белок используют в составе заменителей мяса. Добавки соевой муки используют в хлебопечении, при этом улучшаются свойства клейковины и объемный выход. Используют также соевое молоко в качестве добавки к коровьему маслу.

При замачивании бобов и круп или замешивании теста белки поглощают влагу и набухают. При тепловой обработке по достижению температуры 50-70 °С набухшие белки денатурируют, свёртываются и выpressовывают поглощённую ими влагу, которая не теряется в окружающую среду, а связывается клейстеризующимся крахмалом.

Длительность тепловой обработки, сохранность формы, целостность зерен круп и бобовых зависит от толщины клеточных стенок. Значительная толщина клеточных стенок у перловки, имеющей прочную структуру, в результате она медленно поглощает влагу и требует более длительной тепловой обработки.

Для ускорения процесса проникновения влаги в центральные части зерне круп их следует замачивать в тёплой воде или подвергать отлёжке после промывания. При замачивании влага поглощается полисахаридами клеточных стенок, и они при тепловой обработке быстро разрыхляются, сокращая продолжительность варки.

Тепловая обработка приводит к потере азотистых веществ, в первую очередь незаменимых аминокислот (10-12 %), улучшает (в 2 раза) усвояемость белков, по сравнению с сырыми растительными продуктами.

Содержание белков в овощах, плодах фруктов, ягодах – 1-3 % (половина из них – структурные элементы мембран, ядер, растительных клеток, цитоплазмы).

При тепловой обработке белки мембран денатурируют, что приводит к их разрушению и усилению диффузии веществ клеточного сока в окружающую среду.

Белки находятся в комплексе с углеводами, липидами и другими соединениями. В одних продуктах белки находятся в виде сухих гелей, в других – в гидролизованном состоянии.

Белки мясных продуктов в первоначальном состоянии обводнены.

Контрольные вопросы к теме 13.

1. Дайте характеристику белкам молочных продуктов.
2. Дайте характеристику белкам яиц и ячных продуктов.
3. Дайте характеристику белкам зерна и бобовых культур.

Тема 14. Технологические свойства белков

Растворимость белков. Растворимость белков зависит от их состава, структуры, pH – среды, количества и природы солей и других факторов. Одни и те же соли способны повышать растворимость одних и снижать растворимость

других белков. Растворимость также зависит от способа и режима выделения белков, сушки, хранения.

Растворимость определяют прежде других функциональных свойств и широко используют как первичный показатель качества пищевого белка. Растворимость обуславливает реологические и другие физико-химические показатели белоксодержащих пищевых систем.

Повышение растворимости белка благоприятно для увеличения устойчивости стабилизируемых им эмульсий и пен, но неблагоприятно для тестообразных свойств белковых суспензий и сорбции ими жиров.

Растворимость чаще характеризуют *коэффициентом (индексом) растворимого азота (КРА)* или *коэффициентом (индексом) диспергируемого белка (КДБ)*. При КРА определяют количество азота (в % от общего содержания), при КДБ – количество белка (в % от общего содержания), перешедшего в раствор при контролируемых условиях растворения.

Стабилизация пен и эмульсий. Поверхностно – активные свойства белка, его поведение на поверхности раздела фаз (вод – масло, вода - газ) имеют большое практическое значение при получении пищевых эмульсий и пен. Белки являются стабилизаторами и эмульгаторами при получении традиционных и новых форм пищи. Пищевые белоксодержащие эмульсии играют важную роль при производстве аналогов молочных и комбинированных мясных продуктов, салатных заправок, соусов и т.д. Белковые пены используются при производстве кремов, мороженого, взбивных кондитерских изделий, выпеченных мучных кондитерских изделий и т.д.

В соответствии с разнообразием способов получения эмульсий и пен способность белка стабилизировать эти дисперсные системы обозначают множеством терминов (пенообразующая и эмульгирующая способность, взбиваемость, аэрируемость и т.п.) и оценивают различными методами.

Для получения пен используют белки, а именно белки куриного яйца. Они состоят из овальбумина, который имеет свойство хорошо растворяться в воде, из овоглобулина, который выполняет роль ПАВ, и овомуцина, который обладает свойством придавать устойчивость полученной пене.

Также в качестве пенообразователей используют:

- Кровяной альбумин – это высушенная сыворотка крови, обладает меньшей пенообразующей способностью, чем белок. Две с половиной части кровяного альбумина заменяют одну часть белка. Кровяной альбумин используют при производстве халвы.

- Желатин. Чем выше в желатине содержание глюкозы, а не глютина, тем выше его пенообразующая способность и ниже студнеобразующая способность. При введении сахара пенообразующая способность желатина снижается.

□ Экстракт мыльного корня. В его состав входят сапонины (ПАВ), имеющие белковую природу. Сапонины мыльного и солодкового корня разрушают красные кровяные тельца. Экстракт мыльного корня используется при производстве халвы, так как липиды снижают их разрушающее действие лейкоцитов..

Также используют белки молока (казеин), белки трески, мясо кита, продукты гидролиза казеина.

Пищевые эмульсии. Белки являются хорошими стабилизаторами эмульсий (масло в воде), хотя и различаются по эмульгирующим свойствам. Белки обладают рядом преимуществ по сравнению с низкомолекулярными поверхностями веществ.

Повышение агрегативной устойчивости масла в воде благоприятствуют следующие факторы:

➤ формирование на поверхности дисперсных частиц прочного адсорбционного слоя белка, играющего роль структурно – механического барьера, препятствующего коалесценции капель масла;

➤ повышение вязкости дисперсионной среды, вызывающей снижение скорости коалесценции. С ростом вязкости дисперсионной среды замедляется разделение фаз эмульсий, различающихся по плотности, под действием сил тяготения. Повышение вязкости дисперсионной среды эмульсии и усиление взаимодействия между дисперсными частицами позволяют регулировать реологические свойства эмульсий и переходить от сравнительно низковязкостных к тиксотропным и гелеобразным системам, которые можно рассматривать как белковые гели, наполненные каплями масла.

Свойства белковых суспензий. Белки в форме суспензий широко применяются в качестве обогащающих добавок, наполнителей и загустителей жидких пищевых продуктов, в качестве компонентов комбинированных, молочных, мясных, тестовых изделий для получения аналогов, паштетов, выпеченных и других пищевых продуктов.

Суспензии ограниченно набухающих частиц белка получают различными способами (водные дисперсии концентратов и тестуратов белка, процесс производства которых включает ряд операций, снижающих растворимость белка: термоденатурация, обработка водно-спиртовыми, щелочными и кислотными – солевыми растворами, замораживание, размораживание). Используют осаждение белка из раствора в процессе получения изолятов при определенной величине pH, температуры, в присутствии солей кальция и получают изоляты белка с пониженной растворимостью.

На функциональные свойства белка влияют обработка его частиц поверхностно – активными веществами и регулирование условий сушки.

Функциональные свойства: степень набухания частиц, содержание в них

растворённого белка, адгезионные и когезионные свойства частиц, их средние размеры и распределение по размерам, способность суспензий связывать воду, удерживать жир, образовывать тестовые массы и гели.

Для белковых суспензий, как загустителей молочных продуктов, супов, паст, тестовых масс и других систем, важное значение имеют реологические свойства. Вязкость суспензий повышается с ростом их концентраций и зависит от температуры, присутствия солей и липидов.

Важно отметить ряд обстоятельств, существенных для практического применения белковых суспензий. Дисперсные частицы растворимых (неограниченно набухающих) препаратов белка могут ограниченно набухать в реальных пищевых системах при недостатке воды.

Применяя дисперсные системы, можно регулировать количество растворимых и нерастворимых фракций белка в системе.

В большинстве случаев белковые суспензии (как и растворенные белки) одновременно выполняют различные структурные функции в пищевых системах. Они могут одновременно, но с разной эффективностью играть роль загустителей, сорбентов воды, жира, эмульгаторов, стабилизаторов пен и гелеобразователей.

Так, для белковых суспензий тестообразной консистенции, получаемых при добавлении к сухим препаратам белка ограниченного количества воды, помимо реологических свойств существенна также водопоглощающая способность, стабильность, липкость и способность к гелеобразованию при нагревании. При добавлении соевого белка в тестовые массы на основе пшеничной муки стабильность получаемого теста положительно коррелирует с количеством растворимого белка бобов сои, а водопоглощение теста прямо коррелирует с общим содержанием белка, количеством нерастворимого белка и отрицательно - с содержанием растворимого белка. Существенное значение для функциональных свойств суспензий имеет содержание в них небелковых компонентов. Так, полисахариды, присутствующие в соевой муке, могут адсорбировать большее количество воды, чем равное по массе количество белка, хотя степень набухания частиц и их водоудерживающая способность коррелируют с величиной КРА. Для регулирования функциональных свойств белковых суспензий обычно в качестве дисперсионной среды используют растворы белка.

Гелеобразующие свойства белков. При выборе белка в качестве гелеобразователя необходимо, чтобы его концентрация в продукте и соответственно расход были минимальными, и в тоже время обеспечивали необходимые физико-химические свойства готовых изделий. Это диктуется не только экономическими соображениями, но и тем обстоятельством, что снижение концентрации гелеобразователя благоприятно для его совместимости

с пищевыми веществами, другими гелеобразователями или наполнителями гелей. Исключение составляют гели белков с относительно высокой биологической ценностью, концентрация которых в продукте может превышать 10-15 %.

Возможность повышения концентрации гелеобразователя с целью увеличения биологической ценности продукта ограничена повышением упругих свойств геля до определенных пределов, связанных с консистенцией готового изделия.

Ввиду разнообразия составов, физико-химических свойств пищевых продуктов, многообразия форм пищи, их назначения, условий производства, хранения и кулинарной обработки комплекс требований к функциональным свойствам пищевых гелей чрезвычайно широк. Он включает такие характеристики, как прочность, твердость, эластичность, тиксотропия и анизотропия механических свойств, области температур размягчения и плавления, степень и скорость набухания, способность к синерезису и старению в различных условиях производства и хранения, способность к вынужденному синерезису и фибриллированию при деформации в условиях переработки и потребления, смачиваемость и адгезия, способность сорбировать и десорбировать ароматические вещества и пищевые красители, а также скорость и степень высушивания и регидратации, термомеханические свойства, продолжительность сохранения реологических и адгезионных свойств, формы и целостности в нагретом, набухшем и нагруженном состояниях, скорость перехода пищевых веществ в воду при варке и т.д.

Перечисленные функциональные свойства гелей определяют не только консистенцию, сочность, липкость и другие органолептические свойства пищевых продуктов, но также приемы их технологической, кулинарной обработки, хранения и сферу применения. Они специфичны для тех или иных пищевых продуктов.

Многие пищевые продукты применяют в горячем виде и подвергают жесткой термической (запекание, жарка) или гидротермической (варке) обработке. В этом случае гели должны выдерживать нагревание в воздушной, масляной и водной средах. Для их получения используют белки, денатурирующие при нагревании, например изоляты белка соевых бобов, пшеничный глютен, миофибриллярные белки, яичный альбумин и т. п., а также наполненные белками гели полисахаридов, пространственные сетки которых образованы ионно-координационными связями, например гели альгината или пектината кальция. Как правило, не плавятся (термонеобратимы) и нерастворимы (ограниченно набухают) при нагревании гели белков, в организации пространственных сеток которых ведущая роль принадлежит ковалентным связям. К таким белковым гелям относятся гели пшеничной

клейковины, ряда альбуминов, а также гели, получаемые при высокотемпературной экструзии белка бобов сои и других белков.

Структурообразующие белки. Белки - наиболее широко применяемые в пищевой технологии структурообразователи. В пищевых продуктах белки определяют не только пищевую ценность, но и формируют их структуру, обеспечивающую заданные потребительские свойства. Способность белков оказывать влияние на структуру продуктов связана с такими их функциональными свойствами, как хорошая растворимость в водных средах, возможность образовывать суспензии и гели, стабилизировать эмульсии и пены, проявлять адгезионные свойства и др. В производстве пищевых продуктов заданного состава и свойств белки, как правило, применяются в виде концентратов и изолятов, выделенных из доступного сырья (малоценной в технологическом отношении рыбы, отходов переработки рыбы и теплокровных животных, отходов переработки молока, а также сои, пшеницы и др.). В состав рецептурных композиций для придания требуемой консистенции готовым продуктам они входят в количестве 0,5-30 %, выполняя при этом функции как структурообразователей, так и источников заменимых и незаменимых аминокислот. Из применяемых в пищевой технологии белков наибольшее распространение получили белки, выделяемые из растительного (соя, пшеницы, сафлора) и животного (тканей теплокровных животных, гидробионтов, молока) сырья.

Контрольные вопросы к теме 14.

1. Чем обуславливается степень растворения белков?
2. Как белки влияют на стабилизацию пен и эмульсий?
3. Охарактеризуйте свойства белковых суспензий.
4. Охарактеризуйте гелеобразующие свойства белков.
5. Охарактеризуйте структурообразующие свойства белков.

Тема 15. Изменения белков в процессе производства пищевых продуктов

Наиболее значимые изменения белков связаны с их гидратацией, дегидратацией, денатурацией, деструкцией. Амфотерность белков определяет возможность их взаимодействия с кислыми полисахаридами с образованием белково-полисахаридных комплексов, а наличие карбонильных групп обуславливает их участие в реакциях меланоидинообразования. Поверхностная активность белков характеризует их эмульгирующую и пенообразующую способность. При высоких температурах нагрева белки подвергаются пиролизу.

Денатурация белка - это нарушение нативной пространственной

структуры белковой молекулы под влиянием внешних воздействий, приводящее к изменению свойств белка и продукта. При денатурации изменяется вторичная, третичная и четвертичная структура белковой макромолекулы. Первичная структура, а, следовательно, и химический состав белка не изменяется.

К *внешним факторам, вызывающим денатурацию белков*, можно отнести:

воздействие температур - нагревание или охлаждение - *тепловая денатурация*;

интенсивная дегидратация при сушке и замораживании продуктов;

механические воздействия (встряхивание, взбивание и другие) - *поверхностная денатурация*;

действие химических агентов, высокая концентрация водородных или гидроксильных ионов - *кислотная или щелочная денатурация*;

действие ультрафиолетовых лучей, ионизирующей радиации, ультразвука.

Поверхностная денатурация. Например, при взбивании яичных белков, сливок от механического воздействия образуется пышная пена. Пена представляет собой воздушные пузырьки, окруженные тонкой оболочкой в виде пленок из белкового раствора. В хорошо взбитых белках оболочки эти делаются настолько тонкими, что глобулы молекул белка, которые должны уложиться по этой плоской пленке, вынуждены разворачиваться, то есть, изменять свою структуру, свою конформацию за счет разрыва связей при механическом воздействии. Таким образом, при образовании пленок происходит частичная или полная денатурация белка. При чрезмерном взбивании яичных белков благодаря поверхностной денатурации пленки пены теряют упругость, и пена оседает.

Механическая денатурация – изменение структуры белков яйца при взбивании.

Химическая денатурация – изменение структуры белка под действием кислот или щелочей.

Свертывание в результате изменения pH среды часто встречается в производстве продуктов питания: свертывание белка молока при добавлении кислот (скисание молока, при котором образующая кислота разрушает ионные и водородные связи, в результате чего разрыхляется структура и изменяется форма молекул белка), помутнение желе вокруг ломтиков лимона, быстрое свертывание поверхности яйца при варке его без скорлупы в подкисленной воде.

Тепловая денатурация (происходит под действием тепла).

При производстве продуктов питания наибольшее практическое значение имеет тепловая денатурация белков.

При нагревании белков усиливается тепловое движение атомов и полипептидных цепей в белковых молекулах, в результате чего разрушаются так называемые слабые поперечные связи между полипептидными цепями (например, водородные), а также ослабляются гидрофобные и другие взаимодействия между боковыми цепями. Однако разрыва ковалентной связи белковой молекулы не происходит. В результате этого происходит изменение конформации полипептидных цепей в белковой молекуле, расположение полярных и неполярных групп. Структура молекулы белка, ее форма, пространственное расположение цепей легко изменяются под действием тепла. Молекула белка разворачивается, строение ее меняется, происходит перегруппировка части звеньев в цепи. Этот процесс изменения строения молекул глобулярных белков и называется **денатурацией**.

Денатурация сопровождается изменениями важнейших свойств белка: потерей биологической активности, видовой специфичности, способности к гидратации (растворению, набуханию); улучшением атакуемости протеолитическими ферментами (в том числе пищеварительными); повышением реакционной способности белков; агрегированием белковых молекул.

Потеря белками биологической активности в результате их тепловой денатурации приводит к инаktivации ферментов, содержащихся в растительных и животных клетках, а также к отмиранию микроорганизмов, попадающих в продукты в процессе их производства, транспортирования и хранения. В целом этот процесс оценивается положительно, так как готовую продукцию при отсутствии ее повторной обсемененности микроорганизмами можно хранить сравнительно продолжительное время (в охлажденном или замороженном виде).

В результате потери белками видовой специфичности пищевая ценность продукта не снижается. В ряде случаев это свойство белков используется для контроля технологического процесса. Например, по изменению окраски хромопротеида мяса - миоглобина с красной на светло-коричневую судят о готовности большинства мясных блюд.

Потеря белками способности к набуханию и гидратации объясняется тем, что при изменении конформации полипептидных цепей на поверхности молекул белка появляются гидрофобные группы, а гидрофильные оказываются блокированными в результате образования внутримолекулярных связей.

Улучшение гидролиза денатурированного белка протеолитическими ферментами (в том числе пищеварительными – трипсином), повышение его

чувствительности к многим химическим реактивам объясняется тем, что в нативном белке пептидные группы и многие функциональные (реакционноспособные) группы экранированы внешней гидратной оболочкой или находятся внутри белковой глобулы и таким образом защищены от внешних воздействий. При денатурации указанные группы оказываются на поверхности белковой молекулы.

Агрегирование - это взаимодействие денатурированных молекул белка, в результате которого образуются межмолекулярные связи как прочные, например дисульфидные, так и многочисленные слабые.

Следствием агрегирования белковых молекул является образование частиц более крупных размеров. Дальнейшее агрегирование частиц белка приводит к разным последствиям в зависимости от концентрации белка в растворе.

Учитывая, что в пищевых продуктах белок находится в виде коллоидных растворов, студней (обводненных гелей), или обезвоженных частиц (в муке, крупах); учитывая, что растворы белков во многих продуктах могут быть малоцентрированные (молоко), концентрированные (яичные, творожные продукты) в зависимости от того, в каком коллоидном состоянии белок находится в сыром продукте, денатурация протекает по-разному.

Удержание белковыми системами влаги за счет других форм связи (осмотически и капиллярно связанная, а также иммобилизационная влага) или выделение её из системы в значительной степени зависят от характера свертывания белковых систем.

Деструкция белков. Деструкция белков имеет место при производстве некоторых видов теста. В этом случае разрушение внутримолекулярных связей в белках происходит при участии протеолитических ферментов, содержащихся в муке и вырабатываемых дрожжевыми клетками. Протеолиз белков клейковины оказывает положительное влияние на ее эластичность и способствует получению выпечных изделий высокого качества. Однако этот процесс может иметь и отрицательные последствия, если активность протеаз муки слишком высокая (мука из недозревшего зерна и пр.).

В ряде случаев деструкция белков с помощью протеолитических ферментов является целенаправленным приемом, способствующим интенсификации технологического процесса, улучшению качества готовой продукции, получению новых продуктов питания. Примером может служить применение препаратов протеолитических ферментов (порошкообразных, жидких, пастообразных) для размягчения жесткого мяса, для ослабления клейковины теста, для получения белковых гидролизатов.

Гидратация белков. Гидратация белков имеет большое практическое значение, так как определяет способность полуфабрикатов удерживать

количество влаги. Способность удерживать влагу обусловлено не только гидратацией белков, но и определяется особенностями морфологического строения продукта.

Так, при перемешивании измельченных компонентов процесс гидратации белков состоит из накладывающихся друг на друга двух процессов: растворения белков и набухания их с образованием студней. При этом повышается липкость массы, в результате чего она хорошо формуется в виде полуфабрикатов, предназначенных для тепловой обработки.

Классическим примером гидратации такого типа является приготовление теста, в процессе которого белки муки при контакте с водой набухают, образуя клейковину. Реологические свойства теста, приготовляемого на основе муки и воды, в значительной мере зависят от соотношения этих компонентов. Изменяя это соотношение, регулируют степень гидратации белков муки и связанные с этим процессом такие свойства теста, как эластичность, вязкость и др.

При оценке роли гидратационных процессов необходимо иметь в виду, что в пищевых продуктах наряду с адсорбционной водой, прочно связанной белками, содержится большее или меньшее количество осмотически и капиллярно-связанной воды, которая также оказывает влияние на качество продукции.

Растворение и набухание белков. В результате гидратации белки подвергаются растворению и набуханию. Растворению белка всегда предшествует процесс набухания. Оно характерно для всех высокомолекулярных соединений и никогда не наблюдается у низкомолекулярных веществ.

Процесс растворения условно можно разделить на четыре стадии. В первой стадии до начала растворения система состоит из чистых компонентов: низкомолекулярной жидкости и полимера (белка). Вторая стадия процесса - набухание, которое заключается в том, что молекулы жидкости проникают в погруженный в нее белок, раздвигают полипептидные цепочки и разрыхляют его. Расстояние между молекулами в белке становится больше, что сопровождается увеличением его массы и объема. Третья стадия растворения заключается в том, что по мере набухания объем белка и расстояние между макромолекулами увеличивается настолько, что макромолекулы начинают отрываться друг от друга и переходить в слой низкомолекулярной жидкости. В четвертой стадии растворения молекулы полимера равномерно распределены по всему объему системы, образуя истинный гомогенный раствор.

Важнейшим свойством белков является способность к набуханию. Белки принадлежат к гидрофильным коллоидам, они способны поглощать в процессе набухания большое количество воды (300 %) к сухому весу, заметно

увеличиваясь при этом в объеме. В определенных условиях часть белков набухает неограниченно, пептизируется и переходит в коллоидный раствор.

Набухание, как и растворение, носит избирательный характер. Белки (полярные полимеры) хорошо набухают в полярных жидкостях. Например, желатин хорошо набухает в воде.

Скорость набухания зависит от температуры. С повышением температуры увеличивается скорость диффузии, а, следовательно, и скорость набухания. Однако существуют определенные температурные интервалы, в которых белок под воздействием тепла денатурирует, а, следовательно, теряет способности к гидратации и набуханию. Скорость набухания увеличивается с увеличением степени измельченности полимера, так как это вызывает увеличение поверхности соприкосновения набухающего вещества с растворителем.

Дегидратация белков. Потеря белками связанной воды происходит под влиянием внешних воздействий. Различают обратимую дегидратацию, являющуюся составной частью целенаправленного технологического процесса - сублимационной сушки продуктов, и необратимую дегидратацию при денатурации белков.

Метод сублимационной сушки пищевых продуктов основан на способности льда при определенных условиях возгоняться, т.е. испаряться, минуя жидкую фазу.

В процессе сублимационной сушки из продукта удаляется капиллярносвязанная вода, осмотически связанная и большая часть воды, адсорбционносвязанной белками. Высушенный продукт сохраняет свой естественный внешний вид, структуру и пищевую ценность. Механическая прочность высушенного продукта вполне достаточна для его хранения и транспортирования.

Вода, адсорбционно-связанная белками, при сублимационной сушке удаляется из продукта не полностью, так как мономолекулярный слой ее, имеющийся на поверхности белковых молекул, очень прочно связан с белком.

При выпечке изделий из теста имеет место денатурация и дегидратация белков клейковины. Однако вода в этом случае не выделяется в окружающую среду, а поглощается клейстеризующимся крахмалом муки.

Таким образом, дегидратация белков может быть причиной уменьшения массы продукта, некоторого снижения его пищевой ценности, а в ряде случаев и органолептических показателей. Поэтому изучение механизма необратимой дегидратации белков является важным условием для снижения отрицательного влияния этого процесса при производстве пищевых полуфабрикатов и изделий.

Контрольные вопросы к теме 15.

1. Внешние факторы, вызывающие денатурацию белков.
2. Что такое агрегирование белковых молекул?
3. Охарактеризуйте процесс деструкции белков.
4. Объясните практическое значение процесса гидратации белков.
5. Какие процессы происходят при набухании и при дегидратации белков.

Тема 16. Общие вопросы создания функциональных продуктов

Человечество испытывало и продолжает испытывать дефицит продуктов питания. Однако простое увеличение потребления пищи не может решить всех проблем, связанных с питанием. Оно должно быть рациональным, соответствовать основным положениям науки о питании, которые необходимо учитывать при разработке стратегии развития пищевой промышленности.

Исходя из этого, проблема здорового питания населения имеет важное социально-экономическое значение. Научные представления о специфике ассимиляции пищевых веществ получили свое выражение в концепции сбалансированного питания, которая предусматривает качественные взаимосвязи и оптимальные количественные соотношения и особенности взаимодействия основных пищевых веществ при поступлении в организм человека.

Организованный институтом питания РАМН мониторинг состояния питания свидетельствует о том, что структура питания населения в последнее время не соответствует концепции сбалансированного питания. Ведущим по степени негативного влияния на здоровье является дефицит животных белков, растительных жиров и микронутриентов, что приводит к ослаблению сопротивляемости организма воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. Это указывает на необходимость совершенствования научно-практических подходов к созданию продуктов питания.

Создание новых технологий позволило выделить направление по разработке так называемых «функциональных продуктов». Нынешнее развитие мирового рынка функционального питания подобно лавине, о чем красноречиво указывают следующие данные: в 1995 г. объем продаж продуктов «для здоровья» составил 10 млрд долларов США, в 2000 г. - 15 млрд долларов, а к концу 2002 г. - 33 млрд долларов. Предполагается, что к 2010 г. Объем продаж в Европе превысит 30 % реализуемых продуктов питания. Так, например, рост рынка функциональных молочных продуктов в России составляет не менее 25-30% в год и обгоняет рост всего молочного рынка России в целом в 3 раза. Превышение цен функциональных молочных

продуктов по сравнению с ценами на обычные в настоящее время составляет 8-10 %, на Западе - 25-30 %.

К основным причинам интенсивного роста и развития продуктов функционального назначения относятся: растущие расходы на здравоохранение, старение населения в большинстве развитых стран, осознание необходимости следить за своим здоровьем.

Формирование научных представлений о питании и роли пищевых веществ в процессах жизнедеятельности началось в середине XIX в. с появлением классической парадигмы питания, становлению которой предшествовал ряд научных открытий, непосредственно или опосредованно связанных с питанием. К ним относятся открытие витаминов, ионов микроэлементов, научные достижения, связанные с выяснением структуры белков, жиров, углеводов и нуклеиновых кислот, роли микроэлементов в жизнедеятельности организма, структуры и организации биологических систем, научные данные, связанные со строением организма на клеточном уровне. Впервые за всю историю эволюции цель питания стали связывать со здоровьем человека.

Концентрированным выражением классической парадигмы явилась окончательно сформировавшаяся в XX в. *теория сбалансированного питания*, в основе которой лежат три главных положения: при идеальном питании приток веществ точно соответствует их потере; приток питательных веществ обеспечивается путем разрушения пищевых структур и использования организмом образовавшихся органических и неорганических веществ; энергетические затраты организма должны быть сбалансированы с поступлением энергии.

Согласно этой теории, нормальное функционирование организма обеспечивается при его снабжении не только необходимыми энергией и белком, но также при соблюдении определенных соотношений между многочисленными незаменимыми факторами питания, каждый из которых выполняет свою специфическую функцию в обмене веществ. В основе теории сбалансированного питания лежит определение пропорций отдельных пищевых веществ в рационе, отражающих сумму обменных реакций, которые характеризуют химические процессы, обеспечивающие в итоге жизнедеятельность организма. Исходя из формулы сбалансированного питания, полноценный рацион должен содержать питательные вещества пяти классов: источники энергии: белки, жиры, углеводы; незаменимые аминокислоты; витамины; незаменимые жирные кислоты; неорганические элементы.

В 80-х годах XX в. сформулирована новая теория питания, представляющая собой развитие теории сбалансированного питания с учетом новейших знаний о функциях балластных веществ и кишечной микрофлоры в

физиологии питания. Эта теория, автором которой явился российский физиолог академик РАМН А.М. Уголев, названа «теорией адекватного питания». В ее основу положено четыре принципиальных положения:

- пища усваивается как поглощающим ее организмом, так и населяющими его бактериями;
- приток нутриентов в организме обеспечивается за счет извлечения их из пищи и в результате деятельности бактерий, синтезирующих питательные дополнительные вещества;
- нормальное питание обуславливается не одним, а несколькими потоками питательных и регуляторных веществ;
- физиологически важными компонентами пищи являются балластные вещества, называемые «пищевыми волокнами».

Теория адекватного питания формулирует основные принципы, обеспечивающие рациональное питание, в котором учитывается весь комплекс факторов питания, взаимосвязи этих факторов в обменных процессах и соответствие ферментных систем организма индивидуальным особенностям протекающих в нем химических превращений.

Впервые *функциональные продукты* (*FOSHU* - «*food for specified health use*» - специфические продукты питания, применяемые для улучшения здоровья) появились в Японии в 1980-1985 гг. Термин объединял продукты естественного происхождения, которые при систематическом потреблении, в отличие от продуктов рационального питания, оказывали положительное влияние на органы человека или их функции, или организм в целом.

До 1990-х годов идея функционального питания для всего мира была всего лишь «причудой», ограниченной пределами Японии, в дальнейшем основные принципы концепции функционального питания взяты на вооружение в развитых и развивающихся странах мира (Германии, Франции, Финляндии, Швеции, США, Канаде, Китае, Корее). Как результат - очевидное улучшение состояния здоровья населения на фоне ухудшения экологии.

Японские исследователи, основоположники концепции функционального питания, определяют три основных качества продуктов данного назначения: пищевая ценность, вкусовые качества и физиологическое воздействие на организм. Согласно названной совокупности свойств, функциональные пищевые продукты рассматриваются не только как источник пластических веществ и энергии, но и как сложный комплекс, который обеспечивает достоверно проявляющийся лечебный эффект. В то же время продукты функционального питания не относятся к категории лекарственных препаратов и лечебной пищи, хотя и используются для улучшения функционирования систем организма и повышения качества здоровья человека. Известно, что к лечебным относятся продукты специального назначения, используемые в

качестве лечебного приема в комплексной терапии заболеваний. Они характеризуются измененным химическим составом и физическими свойствами. Следовательно, в структуре питания современного человека функциональные продукты занимают среднее место между обычными продуктами, изготовленными по традиционным технологиям, и продуктами лечебного питания. Вместе с тем, функциональные продукты можно условно отнести к группе лечебно-профилактических, предназначенных для лиц, подвергающихся воздействию неблагоприятных факторов. Важно отметить, что эти требования относятся к продукту в целом, а не только к отдельным его ингредиентам.

Директор НИИ питания РАМН академик *В.А. Тутельян* назвал продукты функционального питания продуктами с заданными свойствами, обогащенными эссенциальными пищевыми веществами и микронутриентами. Развернутая формулировка дана одним из ведущих специалистов по функциональному питанию *Б.А. Шендеровым*: «*Продукты функционального питания* - это такие продукты естественного или искусственного происхождения, которые предназначены для систематического ежедневного употребления и оказывают регулирующее действие на физиологические функции, биохимические реакции и психосоциальное поведение человека через нормализацию его микрoэкологического статуса».

Функциональные пищевые продукты - это продукты, которые оказывают потенциально благотворное воздействие на здоровье, когда они употребляются как часть разнообразного питания на регулярной основе и в эффективных дозах. Благотворное воздействие функциональных продуктов обусловлено присутствием в них определенных функциональных ингредиентов, перечень которых многообразен. Физиологическое воздействие функциональных пищевых композиций может заключаться в улучшении процесса пищеварения, иммуностимуляции, антиканцерогенном действии, гепатопротекции, снижении содержания холестерина в крови, улучшении состояния гипертоников, улучшении состояния костей и зубов за счет специальных минеральных добавок и т.д.

Первоначально по классификации японских ученых принадлежность к функциональным продуктам устанавливали по наличию в них бифидобактерий, олигосахаридов, пищевых волокон. В последующем перечень ингредиентов был расширен и стал включать пищевые волокна, олигосахариды, сахароспирты, протеины, пептиды и аминокислоты, гликозиды, спирты, изопреноиды, витамины, холины, бифидо- и молочнокислые бактерии, минеральные элементы, полиненасыщенные жирные кислоты, фитопрепараты, антиоксиданты и т.д.

В Европе в Международном институте науки о жизни (ILSI) в 1998 г. сформулировали рабочее определение функциональных продуктов: «...пищевой продукт можно считать «функциональным», если он достаточно убедительно продемонстрировал благоприятное воздействие на одну или более заданных функций организма, кроме адекватного питательного эффекта, таким образом, что состояние здоровья улучшилось и/или снизился риск заболеваемости». Согласно этому определению функциональные пищевые продукты должны оставаться продуктами питания (не таблетки или капсулы, а часть нормального питания). В Европейском союзе функциональные продукты подразделены на два типа: тип А - усиление функций организма; тип Б - снижение риска заболеваемости.

По теории Д. Поттера, на современном рынке представлены ингредиенты, которые могут быть разделены на семь основных групп: пищевые волокна, витамины (С, группа В, D), минеральные вещества (кальций, железо), липиды, содержащие полиненасыщенные жирные кислоты, антиоксиданты, олигосахариды, некоторые виды полезных микроорганизмов (пробиотиков).

Производство продуктов функционального питания занимает все более заметное место в пищевой промышленности развитых стран и постоянно контролируется государственными органами здравоохранения. Функциональные продукты выпускают как в виде привычных для потребителей изделий, так и в виде сиропов, сухих завтраков или других полуфабрикатов.

В современных публикациях высказывается мнение о том, что в связи с появлением на российском рынке большого количества продукции, производимой в странах Западной Европы, а также в связи с использованием отечественными производителями различного рода добавок и растительных компонентов ассортимент продуктов на основе традиционных значительно увеличился. Это требует упорядочения его номенклатуры в соответствии с международными документами и, в первую очередь, с «Codex Alimentarius». Достижение намеченного возможно лишь с учетом современных требований науки о питании, а также трансформации классической теории адекватного питания, которая обновляется благодаря развитию гигиены питания.

Н.Н. Липатов (мл.) классифицирует комбинированные продукты на три группы (поколения): продукты, приближенные по органолептическим показателям к традиционным, однако часть основного сырья заменена гидратированными, эквивалентными по содержанию белка компонентами; продукты, удовлетворяющие потребности в эссенциальных нутриентах; продукты, обеспечивающие материальный и энергетический баланс в организме человека.

Сырье, используемое для получения комбинированных продуктов, должно *отвечать следующим требованиям*: балансировать все или отдельные

компоненты в соответствии с теорией сбалансированного питания; гарантировать гигиеническую безопасность получаемого продукта; не придавать продуктам выраженных вкусов, ощущений и запахов; обеспечивать получение продукта с высокими органолептическими показателями; обогащать продукт биологически активными веществами.

Источники такого сырья весьма разнообразны. Условно их можно разделить на *шесть основных групп*.

К первой группе следует отнести плодово-ягодные и овощные добавки, применяемые в натуральном виде, а также в виде сиропов, концентратов или сухих смесей. Эти добавки позволяют отрегулировать содержание в продуктах витаминов, углеводов, минеральных веществ, пищевых волокон. Кроме того, они, как правило, придают продуктам выраженный вкус и аромат фруктов или овощей, а также привлекательный внешний вид.

Вторую группу составляют продукты морских промыслов. Следует отметить, что эта группа представляет собой весьма большой резерв для создания разнообразных комбинированных продуктов на молочной основе. Использование рыбы и рыбных продуктов позволяет регулировать в них белковый и липидный состав, относительное содержание свободных аминокислот, жирнокислотный состав, содержание йода, фтора, калия, а также органических кислот.

В особую группу следует выделить дикорастущее растительное сырье (съедобные виды папоротника, грибы, калину, шиповник, боярышник, крапиву и другие растения). Как правило, они содержат биологически активные вещества профилактического назначения (флавоноиды, дубильные вещества, пектины, органические кислоты, витамины, алкалоиды, эфирные масла, микроэлементы и другие соединения). Природные запасы такого сырья весьма значительны и вполне могут удовлетворить потребности промышленности.

К четвертой сырьевой группе следует отнести бобовые и злаковые культуры. Особенно перспективным является использование продуктов переработки сои. С их использованием можно вырабатывать практически все продукты. Применение сои позволяет регулировать белковый и липидный обмен, а также влиять на соотношение в них свободных жирных кислот.

Основная проблема, возникающая при использовании растительных полифункциональных добавок природного происхождения, заключается в нестабильности количественного и качественного состава вносимых с ними биологически активных веществ. Данная проблема усугубляется еще и тем, что химический состав одних и тех же растений, животных, а также различных видов минерального сырья может сильно варьировать в зависимости от целого ряда факторов окружающей среды, способов переработки и хранения. Это создает серьезные трудности в обеспечении реального содержания вносимых

биологически активных веществ в обогащаемом продукте на одном и том же регламентируемом уровне.

Отдельную группу компонентов, используемых при выработке комбинированных продуктов, составляют биологически активные вещества. На первостепенную важность разработки и организации массового производства продуктов с биологически активными веществами указывает их постоянный дефицит в рационах населения. Особенно такие продукты необходимы для регионов, неблагополучных в экологическом отношении. Увеличение в продуктах биологически активных веществ придает им лечебно-профилактические свойства.

К перспективным следует отнести сырье микробного синтеза (*шестая группа*). Это один из нетрадиционных способов получения пищевых продуктов, связанный с биосинтезом микроорганизмов. Считается, что в будущем он способен ликвидировать одну из важнейших продовольственных проблем - белковый дефицит.

Наличие большого количества разнообразных пищевых компонентов, применение которых возможно при производстве комбинированных продуктов питания указывает на необходимость четкого научного подхода к их выработке. На базе современных представлений науки о питании сформулированы основные принципы проектирования многокомпонентных пищевых продуктов. Этими принципами следует руководствоваться при практической реализации подходов по созданию многокомпонентных продуктов.

На начальном этапе формулируется техническое задание, включающее основные требования к составу, свойствам, органолептике, пищевой и биологической ценности проектируемого продукта. Второй этап включает поиск необходимых ингредиентов и их сочетаний, позволяющих реализовать требования технического задания. При этом учитывают экономические показатели. Следующий этап заключается в отработке технологии получения нового продукта. На этом этапе устанавливаются способы и режимы подготовки отдельных ингредиентов к переработке, а также основные технологические параметры выработки и хранения нового продукта. В последующем проводится изучение состава и свойств вновь полученного продукта и определяется его соответствие заданным параметрам. При наличии отклонений в составе или свойствах проводится корректировка рецептур и технологических параметров до полного соответствия продукта заданным характеристикам. Заключительным этапом создания нового комбинированного продукта является разработка нормативно-технической документации и внедрение результатов работы в практику.

Контрольные вопросы к теме 16.

1. Какие ученые внесли вклад в развитие современной парадигмы питания?
2. Что такое FOSHU - “food for specific health use”?
3. Какие ученые внесли значительный вклад в развитие принципов моделирования состава функциональных продуктов?
4. Что учитывают при проектировании аминокислотного состава?
5. Какой белок является идеальным? Для чего он используется?

Список литературы

1. Бобренева И.В. Функциональные продукты питания: учеб.пособие / И.В. Бобренева. - СПб.:Интермедиа, 2012. – 177 с.
2. Горбатова, К.К. Биохимия молока и молочных продуктов [Текст] / К.К. Горбатова. - СПб.: Ги, 2003. - 320 с.
3. Жарикова, Г.Г. Микробиология продовольственных товаров. Санитария и гигиена [Текст] / Г.Г. Жарикова. - М.: Изд. центр "Академия", 2005. - 304 с.
4. Закревский, В.В. Безопасность пищевых продуктов и биологически активных добавок к пище [Текст] : практическое руководство / В.В. Закревский. - СПб.: Гиорд, 2004. - 280 с.
5. Зимон А.Д. Коллоидная химия / А.Д. Зимон, Н.Ф. Лещенко – М.: «АГАР», 2003 – 318 с.
6. Зуев, Е.Т. Питьевая и минеральная вода. Требования мировых и европейских стандартов к качеству и безопасности [Текст] / Е.Т. Зуев, Г.С. Фомин. - М.: Прожектор, 2003. - 320 с.
7. Казаков, Е.Д. Биохимия зерна и хлебопродуктов [Текст] / Е.Д. Казаков, Г.П. Карпиленко. - СПб.: Гиорд, 2005. – 512 с.
8. Корячкина С.Я. Научные основы производства продуктов питания: учебное пособие для высшего профессионального образования / С.Я. Корячкина, О.М. Пригарина. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», 2011. – 377 с.
9. Максимов, А.С. Лабораторный практикум по реологии сырья, полуфабрикатов и готовой продукции хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств [Текст] / А.С. Максимов, В.Я. Черных. - М.: Издательский комплекс МГУПП, 2004. – 163 с.
10. Матюхина, З.П. Основы физиологии питания, гигиены и санитарии [Текст] / З.П. Матюхина. - ПрофОбрИздат, 2004. -184 с.
11. Мелькина, Г.М. Введение в технологии продуктов питания [Текст] : лабораторный практикум / Г.М. Мелькина [и др.]. - М.: Колос, 2005. - 248 с.
12. Нечаев, А. П. Пищевая химия [Текст] / А.П. Нечаев. - Изд. 3-е. - СПб.: Гиорд, 2004. - 640 с.
13. Нечаев, А.Л. Технологии пищевых производств [Текст] / А.Л. Нечаев [и др.]. - М.: Колос, 2005. - 60 с.
14. Оноприенко, А.В. Производство молочных продуктов [Текст] / А.В. Оноприенко, А.Г. Храмцов [и др.]. - Ростов-на-Дону: Изд. центр "МарТ", 2004. - 304 с.
15. Пищевые загустители, стабилизаторы и гелеобразователи / под ред. А. Аймесона. - СПб.: Профессия, 2012. – 408 с.

16. Позняковский, В.М. Гигиенические основы питания, качество и безопасность пищевых продуктов [Текст] / В.М. Позняковский. - Н.: Сиб. унив. изд-во, 2005. - 522 с.
17. Просеков А.Ю. Научные основы производства продуктов питания: Учебное пособие / А.Ю. Просеков. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2005. – 234 с.
18. Пучкова, Л.И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства [Текст] / Л.И. Пучкова. - Изд. 4-е. - СПб.:Гиорд, 2004. - 264 с.
19. Тутельян В.А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания [Текст] / В.А. Тутельян. - М.: ДеЛи плюс, 2012. - 288 с.