

ЛЕКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

Дата проведения: 06.11.2025 г.

Место проведения: ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности»

Адрес: г. Алматы, Серекбаева 62

Направление: Переработка растениеводческой продукции

Тема вебинара: Технология овощных полуфабрикатов

Лектор: д.б.н., ассоц. профессор Велямов Масимжан Турсунович.

Основные вопросы:

1. Особенности консервирования плодоовощного сырья замораживанием. Способы и режимы замораживания растительной продукции.
2. Технология производства быстрозамороженных овощей. Размораживание продуктов (дефростация).
3. Особенности овощей как объекта сушки. Способы сушки овощей. Типы сушильных установок.

1. Особенности консервирования овощного сырья замораживанием. Способы и режимы замораживания растительной продукции.

Замораживанием называют процесс понижения температуры продукта на 10...30°C ниже криоскопической, сопровождаемый переходом в лед почти всего количества содержащейся воды. В результате микроорганизмы не могут питаться, увеличивается концентрация растворов, создаются неблагоприятные осмотические условия и резко сокращается скорость биохимических реакций в продукте. Замороженный продукт характеризуется такими внешними признаками и физическими свойствами, как твердость (вызвана превращением воды в лед), яркость окраски (результат оптических эффектов, вызванных кристаллизацией льда), уменьшение плотности (результат расширения воды при замораживании), значительное изменение теплофизических характеристик.

Любой процесс консервирования тем лучше, чем меньшие изменения он вызывает в продуктах с их первоначальными свойствами и чем более длительный срок хранения он обеспечивает. Из всех применяемых методов консервирования продуктов процессы холодильной обработки и замораживания лучше всего удовлетворяют этому требованию, так как вызывают слабые изменения свойств продуктов и обеспечивают практически достаточно долгую их сохраняемость.

Овощи содержат от 70 (чеснок) до 95 % (томаты и огурцы) воды. Она является растворителем, обуславливающим скорость течения диффузионных процессов, а также химических и биохимических реакций. Изменение фазового состояния воды - главный фактор, обуславливающий торможение этих процессов.

Основная задача замораживания и хранения картофеля и овощной продукции в состоянии криоанабиоза заключается в сохранении их питательных, вкусовых свойств и биологически активных веществ, для чего необходимо добиваться обратимости изменений, происходящих под влиянием отрицательных температур.

Пригодность овощного сырья для замораживания определяется рядом факторов: видовым составом, особенностями сорта, степенью зрелости. Замораживанием можно консервировать не все виды этой продукции. Так, продукцией низкого качества получается из огурцов, главным образом из-за явно выраженного ухудшения консистенции и вкуса после их дефростации (оттаивания). Не замораживают салат, редис, а также белую смородину, так как в ягодах происходят изменения, снижающие товарный вид продукта. При оттаивании ягоды приобретают бурый оттенок, что не наблюдается у черной и красной смородины. Замораживают готовые фруктовые и овощные пюре и соки.

При понижении температуры в клетках наступает переохлаждение клеточного сока, возникают центры кристаллизации, приводящие к образованию кристаллов льда внутри клетки. В созревших плодах больше содержится пектина, который обладает гигроскопическими свойствами. Пектин связывает свободную воду и способствует образованию структуры, препятствующей возникновению кристаллов внутри клетки.

При быстром замораживании овощной продукции протекают процессы: кристаллизации, рекристаллизации и дефростации (при оттаивании), а при сверхбыстром замораживании в жидком азоте - витрификации (застекловывание) и сверхбыстром оттаивании - девитрификации (расстекловывание).

Кристаллизация. Она характеризуется скоростью образования зародышей кристаллов и скоростью их роста. При замораживании воды образуются кристаллы гексагональной формы, которые появляются при медленном темпе замораживания. При средних и высоких скоростях замораживания возникают кристаллы неправильной формы (дендриды), при сверхбыстрой - формируются кристаллы округлой формы. Форма кристаллов обуславливается скоростью охлаждения. При быстром замораживании с интенсивным отводом теплоты получают замороженный продукт растительного происхождения более высокого качества. Чем ниже температура замораживания, тем больше возникает центров кристаллизации в тканях продукта и тем они мельче. При этом меньше деструктурные изменения стенок клеток тканей продукта и при дефростации сок остается в тканях, а не вытекает. Во время кристаллизации рост кристаллов непрерывно затормаживается с увеличением концентрации раствора, так что в конце концов процесс полностью прекращается. Устанавливается определенное состояние равновесия между силами притяжения частиц воды к кристаллу льда и силами сопротивления раствора. Количество воды, которое не может быть выморожено из раствора, зависит от концентрации и температуры. При снижении температуры это количество уменьшается до определенного

минимума, который характеризует количество воды, не вымораживающейся при данной температуре, - это связанная вода.

Рекристаллизация. До последнего времени считали, что замороженный продукт стабилен и не подвержен структурным изменениям вплоть до дефростации. Раствор, замороженный в виде прозрачных шаровидных кристаллов (сверхбыстрое замораживание), после превышения определенной температуры становится непрозрачным. По мере повышения температуры кристаллы начинают приобретать вид крупных зерен, которые постепенно объединяются в монолитные кристаллы льда. Вначале этот процесс идет медленно, но по мере приближения к криоскопической точке скорость процесса возрастает. При температуре, близкой к точке таяния, наблюдается сильный рост больших кристаллов за счет малых, т. е. рекристаллизация. Причина миграции частиц воды от малых кристаллов к большим - наличие более высокого давления водяных паров на поверхности малых кристаллов по сравнению с крупными. Движущей силой рекристаллизации является градиент давления. При температуре $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ разница давлений водяных паров над крупными и малыми кристаллами в 4 раза ниже, чем при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Полное затормаживание рекристаллизации возможно при температуре ниже криогидратной, которая для биологических объектов приближается к $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для снижения отрицательного влияния рекристаллизации на качество замороженной продукции рекомендуется ее хранить при определенной температуре и дефростацию проводить быстро.

Дефростация. Теоретически процесс таяния замороженного раствора происходит с началом рекристаллизации, а на практике за точку таяния принимают переход из твердого состояния в жидкое.

Замораживание биологических систем протекает иначе, чем физиологических растворов, так как во время замораживания в живых организмах, с одной стороны, продолжают протекать биологические процессы, с другой, - происходит разрушение структуры ткани и затормаживание биологических процессов.

Характерно, что при замораживании живых тканей криоскопическая температура ниже, чем в случае замораживания мертвых тканей или выжатого сока. Она не является величиной постоянной во время всего процесса замораживания. По мере вымораживания воды и концентрирования оставшегося раствора криоскопическая температура снижается.

Изменения в биологических тканях, вызванные замораживанием, очень разнообразны. Прежде всего изменяются свойства клеточных стенок, которые теряют свою полупроницаемость. После размораживания ткань теряет тургор, упругость, наблюдается вытекание сока, клетки теряют способность к сокращению или увеличению объема под влиянием гипертонических или гипотонических растворов. Имеет место повреждение ткани кристаллами льда, что подтверждают микроскопические исследования. Свободная вода, находящаяся между клетками, служит растворителем для содержащихся в продукте органических соединений и минеральных веществ. Эта вода непосредственно участвует в общем процессе биофизико-химического

обмена. Под воздействием внешних факторов свободная вода легко выделяется из продукта и в первую очередь подвергается кристаллизации при вымораживании.

В криобиологии в зависимости от скорости понижения температуры объекта замораживания различают охлаждение: медленное (продолжительность охлаждения от 10 мин до 1 ч), быстрое (1... 10 мин) и сверхбыстрое (менее 5 с). При этом температура падает от 10 до 100 °С в секунду и более.

Крупные кристаллы льда, образующиеся при медленном охлаждении, повреждают клетки сильнее, чем мелкие кристаллы, возникающие при быстром замораживании.

Сохранение жизнеспособности биологических объектов при сверхбыстром замораживании связывают с витрификацией (за-стекловыванием) воды в протоплазме клеток и последующей девитрификацией (расстекловыванием), требующей такого же быстрого отепления при дефростации. Действительно, витрификация и девитрификация протоплазмы исключают перегруппировку молекул воды, происходящую при кристаллизации и плавлении льда, и тем самым должны способствовать сохранению тонкой структуры протоплазмы.

Обязательными условиями витрификации биологических объектов считают их предварительное частичное обезвоживание в концентрированных растворах, приводящее к повышению вязкости протоплазмы, и высокую, порядка нескольких сот градусов в секунду, скорость охлаждения.

Однако исследования, проведенные с помощью микроскопии и рентгеноструктурного анализа, показывают, что биологические объекты, охлажденные с максимально доступной скоростью и ранее считавшиеся верифицированными, всегда содержат наряду с иморфной массой затвердевшей жидкости определенное количество мельчайших кристаллов льда.

Способы и режимы замораживания растительной продукции

Способы замораживания. Их классифицируют по принципу отвода тепла от продукта. При замораживании в воздухе продукты упаковывают в паронепроницаемые оболочки или замораживают непосредственно в жидких практически не испаряющихся (хлористый натрий, хлористый кальций, пропиленгликоль, этиленгли - коль и др.) и испаряющихся (диоксид углерода, азот, фреон и др.) средах, а также в металлических закрытых формах или между ме- иллическими поверхностями. В холодильной технологии наиболее распространены способы, основанные на отводе тепла от продукта теплопроводностью, конвекцией, радиацией и теплообменом при фазовых превращениях.

Как правило, охлаждающей средой является воздух с различной скоростью движения и температурой, чаще всего -30...-40 °С. Замораживание осуществляют в морозильных аппаратах разной конструкции, в которых воздух движется со скоростью 1...2м/с. Для ускорения замораживания

охлаждающие батареи размещают поблизости от замораживаемого объекта, вследствие чего достигается ускорение этого процесса. Лучший эффект получают при замораживании фасованной продукции, так как при этом обеспечивается оптимальная толщина. Хороший эффект дает замораживание продуктов малого размера (ягод) россыпью на охлаждающих поверхностях и лучше в «кипящем слое», называемом еще методом флюидизации.

Способ контактного одностороннего замораживания на металлической охлаждающей пластине используют в конструкциях ряда морозильных аппаратов. При этом способе наблюдают недостаточный теплообмен поверхности продукта, продолжительное время замораживания, смещение в сторону слабого теплообмена границы раздела между замороженными слоями.

При *контактном двустороннем способе замораживания* в активном теплообмене участвует примерно 60...70 % поверхности в зависимости от толщины продукта, а границы раздела располагаются в середине его толщины.

При *замораживании продукта с помощью жидкого хладоносителя*, подаваемого через форсунки или другие устройства, распределяющие жидкость (см. рис. 13.5, в), граница раздела между замороженными слоями располагается ближе к той поверхности, где менее интенсивен теплообмен. Лучший эффект достигается, когда продукт омывается хладоносителем с двух сторон или когда продукт погружается в перемешивающийся жидкий хладоноситель. В последнем случае замораживание равномерно и линия раздела проходит по середине объекта.

Если в качестве хладоносителя используют *поток воздуха*, подаваемого с *одной стороны*, то не вся поверхность продукта участвует в активном теплообмене и трудно достичь равномерного замораживания, а граница раздела между замороженными слоями сдвигается в сторону слабого теплообмена.

При *замораживании в поперечно-проточном потоке воздуха* с перемещающимся направлением в активном теплообмене участвует вся поверхность продукта. При использовании низких отрицательных температур и достаточной скорости движения воздуха происходит быстрое замораживание и, самое главное, - структура льда образуется равномерно.

При *замораживании в банках жидких скоропортящихся продуктов* целесообразно придать им медленное вращательное движение, горизонтальное расположение банок исключает вредное влияние воздушной прослойки на скорость замораживания и на изменение внешнего вида поверхности продукта, так как воздух во время вращения банки постепенно перемещается к центру и там остается.

Способ замораживания в «кипящем слое» (способ флюидизации). Высокая скорость подаваемого под давлением холодного воздуха и омывание им всей поверхности взвешенных в потоке частиц продукта обеспечивает наибольший эффект по скорости замораживания и сохранению качества продукта.

К сверхбыстрому способу относится замораживание продукта в

кипящих хладоносителях, таких, как жидкий азот, фреон и др. В этом случае вся поверхность продукта участвует в теплообмене, а очень низкие температуры хладоносителя обеспечивают замораживание в течение нескольких минут или секунд.

Разработаны аппараты, в которых продукты замораживают погружением, орошением или комбинированно с использованием низкотемпературной газовой среды, создаваемой в результате испарения жидкого хладоносителя. Наиболее совершенен способ, когда в первой стадии происходит охлаждение и подмораживание газовой средой, а затем замораживание путем орошения и дальнейшего выравнивания температуры по всему объему продукта. В этом случае отсутствует вредное влияние, наблюдаемое при замораживании погружением, т. е. деформация замораживаемого продукта при образовании льда.

Режим замораживания плодоовощной продукции. Он состоит из трех стадий: первая - *стадия охлаждения* - интенсивный отвод тепла от продукта и снижение температуры до криоскопической; вторая - *стадия кристаллизации* - фазовое изменение воды, когда после переохлаждения начинают образовываться и расти кристаллы; третья - *стадия домораживания* - охлаждение до криоскопических температур, перемещающихся с периферийных слоев в центр продукта. На этой стадии замораживание характеризуется дальнейшим снижением температуры продукта до $-18...-20$ °С, при которой происходит инактивация всех ферментных систем, останавливаются биохимические процессы во всех клетках тканей и наступает его консервация.

Понижение температуры теплопроводящей среды на 10 °С увеличивает в среднем скорость теплообмена в стадии охлаждения в 1,7 раза, в стадии кристаллизации в 2,8 раза, а в стадии домораживания в 3 раза. Изменение же толщины продукта с 20 до 10 мм увеличивает скорость теплообмена по стадиям соответственно в 1,3; 1,5 и 1,8 раза. Таким образом, определяющее значение в процессе теплообмена имеют температура охлаждающей среды и толщина подготовленного к замораживанию продукта.

Замораживание рекомендуют проводить при температуре $-30...-35$ °С. Дальнейшее понижение температуры не позволяет резко сократить продолжительность процесса, но при этом возрастают энергетические затраты, что экономически нецелесообразно.

Время замораживания картофеля, овощей, плодов и ягод зависит от вида продукта, степени его измельчения (для крупных овощей), а также от других операций подготовки сырья (очистка, сульфитация, бланширование и др.) к замораживанию.

Классификация холодильных установок. Холодильные установки различают по следующим признакам: назначению - стационарные и передвижные с централизованным и децентрализованным охлаждением; производительности - крупные (3,0 МВт), средние (1,0 МВт), мелкие (до 60 кВт); температурному режиму - высокотемпературные ($10...-10$ °С), среднетемпературные ($5... -20$ °С) и низкотемпературные ($-20...-120$ °С);

режиму работы - непрерывные или циклические, нестационарные с аккумулятором тепловой энергии; виду холодильного агента - аммиачные, фреоновые, этановые, пропановые, углекислотные и на смесях холодильных агентов.

Выполняя Международное соглашение, подписанное в Монреале (1986 г.), в нашей стране ведут работу по замене фреонов, сильно воздействующих на озоновый слой атмосферы. Аммиачные холодильные установки - самые распространенные и экологически наиболее чистые, их широко применяют для холодоснабжения предприятий пищевой промышленности.

Для замораживания пищевых продуктов, в том числе картофеля, овощей и фруктов, используют гравитационные конвейерные скороморозильные аппараты типа ГКА-4, многоплиточные типа АМП-7, туннельные СА-4, флюидизационные типа АЗФ-1, роторные, морозильный аппарат Я1-ФЗВ для погружного метода и др.

Замораживание осуществляют в одноступенчатом скороморозильном аппарате с направленным псевдооживленным слоем (СМАНПС). Этот аппарат исключает длительный контакт ягод между собой и с холодильными поверхностями, а следовательно, смерзание их и примерзание к металлическим поверхностям аппарата, что обеспечивает высокое качество продукта.

Ягоды клюквы, брусники, черники и другие непрерывно подают через загрузочное устройство 2 в камеру /, где они попадают в струю воздуха с температурой $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скоростью 5 м/с из распределительной решетки 5. Не касаясь решетки, ягоды движутся в слое вдоль аппарата в сторону разгрузочного устройства 6 и выгружаются в замороженном состоянии. Отработанный воздух через патрубок 7 направляется к вентиляторному блоку, а затем возвращается в холодильную машину.

Сравнительные исследования химического состава клюквы при хранении в течение 30 нед показали, что содержание витамина С, общего сахара и кислотность снижались. Однако в клюкве, хранившейся при температуре $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ в замороженном состоянии в течение 30 нед, эти изменения были менее резкими, чем в свежей клюкве, сохраняющейся при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Применение азотных скороморозильных аппаратов, экологически безопасных, не требующих значительных капитальных затрат, позволяет приблизить холодильную обработку к месту возделывания растительной продукции, что обеспечит ее безотходную переработку, а также даст возможность организовать низкотемпературную непрерывную холодильную цепь от грядки - к столу потребителя. На рисунке показано компоновочное решение автопоезда криогенного замораживания с использованием АСТА (азотный скороморозильный туннельный аппарат) и транспортировки пищевых продуктов, в том числе и растительного происхождения.

Проточные безмашинные системы имеют значительные преимущества перед машинными. Это прежде всего высокая надежность эксплуатации системы, незначительные затраты на техническое обслуживание и ремонт,

высокая скорость замораживания.

2. Технология производства быстрозамороженных овощей и плодов

Производство быстрозамороженных продуктов включает цех подготовки сырья, цех замораживания, участок инспектирования, фасования, маркирования и участок утилизации отходов.

В цехе подготовки сырья продукты моют, очищают от кожицы. Например, корнеплоды доочищают при инспекции остатков кожицы и поврежденных мест, затем бланшируют, охлаждают, обсушивают, обдувая воздухом, чтобы снять поверхностную влагу, и передают в цех замораживания. В цехе замораживания подготовленное сырье поступает в скороморозильный аппарат, где оно замораживается, затем его инспектируют и фасуют в пакеты из полимерных материалов, а потом упаковывают в картонные коробки и маркируют в соответствии с государственными стандартами. На участке утилизации отходов заботятся об их рациональном использовании: или они идут на фуражные цели, или как вторичное сырье для производства другой продукции.

Технология производства быстрозамороженных овощей. Ассортимент овощей, используемых для быстрого замораживания, включает: морковь бланшированную в целом виде и нарезанную кубиками или брусочками; свеклу бланшированную и нарезанную; зелень петрушки, укропа, сельдерея измельченную или веточками; зеленый горошек бланшированный; цветную капусту бланшированную, разделенную на части соцветий. Быстрому замораживанию подвергают стручковую фасоль, кабачки (ломтиками), тыкву (кубиками), баклажаны, сладкий перец, капусту белокочанную, краснокочанную (нашинкованную), лук репчатый и др. Популярны у потребителя ассорти из набора быстрозамороженных овощей: например, зеленый горошек с морковью, или морковь с цветной капустой, или наборы овощей для супов, щей, борщей и т. д.

Для быстрого замораживания овощи готовят так же, как при производстве натуральных консервов, их калибруют, моют, очищают, инспектируют, вторично моют, режут, бланшируют, охлаждают, обсушивают и направляют на замораживание. Таким образом, быстрозамороженные овощи вырабатывают по технологическим схемам, принятым для натуральных и закусочных консервов, на тех же технологических линиях, дополнительно оснащенных скороморозильными аппаратами.

Приготовленные овощи фасуют в полиэтиленовые пакеты и герметизируют их путем сварки. Масса нетто в пакетах: 0,5; 1; 3; 5 кг и блоками для промышленной переработки - 12 кг. Зелень измельченную или веточками фасуют в пакеты: 0,5; 1; 3 и 5 кг. Толщина слоя пакета не должна быть более 60 мм. При отсутствии машин для фасования овощей допускается ручная упаковка.

Расфасованный в пакеты продукт замораживают в многоплиточном скороморозильном или другого типа аппарате. При замораживании хладагент

подается в установку с температурой $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Продукт считается замороженным, если температура в центре пакета достигла $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, т. е. температуры камеры хранения морозильника. Пакеты с замороженными продуктами упаковывают в изотермические контейнеры из гофрированного картона, швы которых заклеивают влагонепроницаемой лентой, маркируют и направляют в камеры хранения.

Сотрудниками Всероссийского НИИ консервной и овощесушильной промышленности разработана технологическая инструкция по быстрому замораживанию овощей с последующим комплектованием наборов для приготовления борщей, супов, гарниров и пюре для вторых блюд, винегретов и др. Применение быстрозамороженных многокомпонентных наборов овощей сокращает затраты труда и сроки приготовления пищи, обеспечивает использование сезонных овощей в любое время года и исключает значительные потери при их хранении в свежем виде в овощехранилищах.

Размораживание продуктов (дефростация)

Большинство замороженных продуктов перед их употреблением или дальнейшей переработкой размораживают.

Размораживание быстрозамороженных продуктов в мелкой расфасовке часто совмещают с их кулинарной обработкой.

Существующие способы размораживания группируют в зависимости от способа подвода тепла. Тепло продукту сообщается воздухом, паровоздушной смесью, жидкостью, электрическим полем, инфракрасными лучами.

Продукты размораживают в воздухе в специальных камерах или аппаратах, в которых подаваемый воздух нагревается в кондиционерах или калориферах. Поток теплоносителя подается снизу вверх.

При размораживании в жидкости (вода, рассол, бульон) достигают эффективного теплообмена. Это происходит в результате большой теплоемкости воды и высокого коэффициента теплоотдачи.

При нагревании электрическим полем пищевые продукты одновременно нагреваются по всей толщине. При прохождении токов высокой частоты через продукт электрическая энергия превращается в тепловую. В этом случае тепло выделяется по всей толщине продукта и вся его масса нагревается, причем с большой скоростью. В промышленности наибольшее распространение в качестве источников высокой частоты получили ламповые генераторы.

Токи высокой частоты применяют для размораживания пищевых продуктов как животного, так и растительного происхождения, например ягод, плодов, овощей.

Часто овощи размораживают непосредственно при кулинарной обработке. Например, если при производстве консервированных компотов, приготовлении варенья или джема используют не свежие, а замороженные плоды, то технологией допускается размораживание в горячем сахарном сиропе - совмещение операций по дефростации и настаиванию плодов и ягод в сахарном сиропе.

Быстрозамороженный гарнирный картофель без размораживания обжаривают в нагретом растительном масле или в другом жире до готовности.

При использовании замороженных ассорти и I овощей, предназначенных для производства первых обеденных блюд, их размораживают в кипящем бульоне, а если овощи предназначены для приготовления винегретов, то их без размораживания варят в кипящей воде.

Десертные плоды и ягоды (персики, абрикосы, землянику и др.) размораживают на воздухе или используют токи высокой или сверхвысокой частоты.

Размороженные овощи не подлежат повторному замораживанию и длительному хранению даже в условиях пониженных положительных температур (в домашнем холодильнике) в связи с тем, что при замораживании плодовоовощных продуктов большая часть микроорганизмов остаются жизнеспособными и при размораживании, а особенно при хранении размороженных продуктов, они активизируются и вызывают порчу этих продуктов и как следствие - пищевые отравления. Размороженные продукты должны (нить употреблены или подвергнуты кулинарной обработке).

Размораживание растительных продуктов может быть медленным в воздухе при температуре 0...4°C, быстрым в воздухе при 15-20 °C, в паровоздушной среде при 25...40 °C, в воде - орошением или погружением при температуре 4...20 °C или в электрическом поле высокой частоты.

При размораживании картофеля, овощ восстанавливаются их первоначальные пищевые достоинства. Если обратимость процесса хорошая, то сохраняется высокое качество продуктов. При этом образующаяся при таянии льда вода должна перемещаться в клетки ткани. Биохимические процессы при размораживании в растительных тканях направлены в сторону гидролиза, что в какой-то степени ухудшает их гидрофильные свойства и способствует вытеканию сока, потере питательных веществ и ухудшает товарный вид продукции, особенно если используются сорта, которые не рекомендуются для замораживания.

Качество замороженных плодов и овощей оценивают по органолептическим (внешний вид, вкус, запах, консистенция), физико-химическим (размер, форма, допустимые отклонения от установленных норм) и микробиологическим показателям (общее количество микроорганизмов, количество бактерий группы кишечной палочки, дрожжей и плесневых грибов).

Дефекты. При оценке качества быстрозамороженных овощей выделяют следующие дефекты: потемнение; дряблая консистенция; горьковатый вкус; сухая жесткая консистенция; наличие минеральных и других посторонних примесей; отклонения во вкусе и запахе (при размораживании и повторном замораживании).

3. Особенности овощей как объекта сушки

Повышенное содержание воды в картофеле, овощах осложняет их длительное хранение. Поэтому с древних времен часть этой продукции всегда подвергали тем или иным видам консервирования (сушка, замораживание, квашение и др.). Наиболее широко в практике сельского хозяйства распространена сушка овощного сырья.

Сушка овощной продукции основана на повышении концентрации субстрата до таких пределов, при которых нет условий для нормального обмена веществ как в клетках самого продукта, так и в клетках микробов. Поэтому продукт консервируют на длительное время.

В процессе высушивания из овощей испаряется влага. Ее массовая доля в сушеных продуктах снижается в 4...6 раз и более. Например, у картофеля, высушенного до 12 %, - в 6 раз, до 8 % - в 9 раз.

С уменьшением влаги *возрастает не только массовая доля сухих веществ в сушеных овощах, но и их энергетическая ценность* за счет углеводов, белков и других ценных питательных веществ. При этом *на 60% сохраняется их витаминная ценность*. В процессе высушивания объем картофеля и овощей *уменьшается* в 3...4 раза, а следовательно, во столько же раз *возрастает их транспортабельность*.

Обезвоживание может быть осуществлено

- механическим способом (прессованием, фильтрованием, отстаиванием, центрифугированием),
- смешиванием продуктов с различной влажностью или с влагопоглотителями,
- с помощью солнечной энергии (воздушно-солнечная сушка),
- сушкой в сушильных аппаратах с затратой тепла на превращение воды в пар и отвод образующихся паров в окружающую среду.

Механический способ обезвоживания продуктов более экономичен, чем тепловая сушка. Однако для сушки картофеля и овощей его нельзя применять, так как этот способ не обеспечивает полного обезвоживания и сохранения исходных показателей качества сырья из-за значительных потерь водорастворимых веществ (сахаров, аминокислот и др.). *На интенсивность процесса сушки влияют не только химический состав, но и распределение них веществ и структура растительных тканей*. Неоднородность структуры тканей и химического состава овощного сырья заметно влияет на водоудерживающую способность, интенсивность протекающих при сушке процессов.

Физико-химические свойства продукта обуславливают его теплофизические характеристики. Влага из продукта в процессе сушки удаляется за счет испарения только до значения равновесного влагосодержания, соответствующего определенным параметрам сушильного агента (нагретого воздуха). Чем ближе характеристики влажных продуктов и агента сушки к состоянию равновесия, тем медленнее будет протекать процесс сушки.

Сушка, с одной стороны, - диффузионный процесс, с другой - тепловой. Это сложный технологический процесс, в результате которого изменяются свойства высушиваемого продукта.

Чем меньше содержание в клетках растворимых в воде веществ, тем быстрее протекает сушка, так как легче испаряется влага. Наличие в клеточном соке большого количества растворимых веществ, особенно обладающих осмотической активностью (сахара), а также гидрофильных коллоидов, легко связывающих влагу, приводит к затруднению испарения и

увеличению продолжительности сушки. Поэтому плоды, содержащие значительное количество сахаров, а также пектиновых веществ, обладающих способностью связывать воду, высыхают медленно.

Анализ кривой сушки

Интенсивность процесса высушивания меняется по мере удаления влаги. Первый период сушки характеризуется постоянной скоростью испарения (прямолинейный участок кривой сушки). Снижение влагосодержания от начального значения W_0 , до критического W_K - период постоянной скорости сушки.

Второй период сушки характеризуется уменьшением скорости испарения - криволинейный участок кривой от W_K до W_v (влаго- содержание, соответствующее равновесному состоянию), его называют периодом убывающей скорости сушки. При достижении fV_p скорость сушки равна нулю.

Соответственно с изменением влагосодержания в растительных тканях при сушке изменяется температура продукта. В первый период сушки при интенсивном испарении температура поверхности продукта не может превышать температуру испарения, т.е. температуру смоченного термометра. Во второй период сушки на поверхности, а затем и в глубинных слоях продукта температура повышается и к концу сушки достигает значения температуры сушильного агента.

Режим сушки некоторых овощных культур

Показатель	Капуста	Морковь	Свекла	Картофель
Температура смоченного термометра, °С	45...65	36...67	37...76	36...65
Относительная влажность воздуха (агента) сушки, %	35	36	36	46
Скорость движения агента сушки, м/с	0,4	0,4	0,4	0,4
Нагрузка на поверхность ленты, кг/м	9,5	14	12,5	16,5
Влажность продукта в конце сушки, %	9	13	13	11
Время сушки, мин	150	205	205	210

Процесс обезвоживания продуктов в сушилках с помощью циркулирующего нагретого воздуха представляет собой комплекс одновременно протекающих и влияющих друг на друга явлений. К ним относятся: перенос тепла от нагретого воздуха (агента) к высушиваемому продукту через его поверхность (нагревание продукта), испарение влаги, перенос влаги с поверхности продукта в среду сушильной камеры, перемещение влаги внутри продукта.

В период постоянной скорости сушки (первый период) интенсивность процесса определяется только параметрами сушильного агента и не зависит от влажности и физико-химических свойств продукта.

В период убывающей скорости сушки (второй период) скорость обезвоживания снижается по мере уменьшения влажности продукта, температура его постепенно увеличивается, приближаясь к температуре сушильного агента. Процесс сушки продолжается до достижения продуктом равновесной влажности, соответствующей параметрам воздуха в сушилке.

Процесс сушки происходит правильно, если скорость испарения влаги с поверхности продукта равна скорости перемещения влаги из глубинных слоев. При быстром испарении на поверхности появляется корка, препятствующая выделению влаги, что снижает скорость сушки, а при медленном испарении продукт запаривается.

Скорость сушки зависит от ряда факторов. Чем больше скорость движения воздуха в сушилке, тем скорее он уносит испарившуюся влагу, препятствуя повышению парциального давления водяного пара над продуктом. Скорость испарения тем больше, чем выше температура воздуха в сушилке. Интенсивность испарения влаги зависит также от физико-химических свойств продукта, от размеров кусочков и их формы (чем больше поверхность кусочков, тем быстрее идет процесс сушки), от интенсивности перемешивания, способа укладки и высоты слоя продукта на лентах сушилки.

Оптимальный режим сушки - это такой режим, при котором обеспечиваются: получение высушенного продукта, наиболее полно восстанавливающего свои исходные свойства и химический состав сырья; достижение наилучшей сохранности готового продукта; удаление влаги из сырья при наименьших затратах топлива, электроэнергии и труда; полное использование сушильной поверхности, обеспечивающее максимальную производительность сушильной установки.

Основные параметры режима сушки: температура агента сушки, его относительная влажность и скорость движения.

При обезвоживании овощного сырья в начальный период сушки высокая температура воздуха (100 °С и выше) не создает опасности перегрева продукта, так как его температура на этапе прогрева соответствует температуре смоченного термометра.

Чем ниже относительная влажность агента сушки, тем больше он поглощает влаги из продукта и тем быстрее будет проходить сушка. Однако при слишком низкой относительной влажности агента сушки расходуется лишнее тепло (топливо), а следовательно, увеличивается стоимость процесса.

Поток воздуха, движущийся в сушильной установке, способствует лучшему перемешиванию его с испарившейся влагой и удалению увлажненного воздуха из сушилки. Без движения воздуха сушка невозможна. Скорость движения воздуха зависит от его количества, поступающего в сушилку в единицу времени, сечения канала сушилки, внутренних сопротивлений, создаваемых лентами, ситами, высушиваемыми продуктами, и других факторов.

Кроме параметров воздуха режим сушки определяют и другие факторы, влияющие на процесс обезвоживания. Например, удельная нагрузка сырья на сушильную поверхность (кг на 1 м²) зависит от вида сырья, его химического состава, начальной и конечной влажности, а также от формы и размеров кусочков. Удельная нагрузка обуславливает толщину слоя продукта на лентах или ситах, степень уплотнения продукта при сушке, удельную поверхность испарения, скорость сушки и в конечном итоге качество сушеного продукта.

Сушка картофеля, овощей тонким слоем в начале процесса и более

толстым в конце создает благоприятные условия для получения сушеного продукта высокого качества и эффективного использования сушильной установки.

Способы сушки овощей

Установки, применяемые для сушки, различаются между собой способами подвода тепла к объектам сушки: конвективным, кондуктивным (или контактным), термоизлучением (при помощи инфракрасных лучей) и токами высокой и сверхвысокой частоты. Для сушки овощной продукции применяют также сублимационный метод.

Конвективный способ сушки. При этом способе агент сушки (нагретый воздух, перегретый пар) выполняет функцию теплоносителя и влагопоглотителя. Преимущество способа - возможность регулирования температуры высушиваемого продукта. Установки для этого способа сушки просты по конструкции и надежны в эксплуатации. Недостатки конвективного способа сушки: градиент температуры T направлен в сторону, противоположную градиенту влагосодержания W , что тормозит удаление влаги из продукта; относительно низкий коэффициент теплоотдачи от сушильного агента к поверхности продукта вследствие того, что последний сушится в неподвижном слое, омываясь агентом сушки и отдавая ему влагу.

Интенсификация конвективной сушки связана с увеличением тепломассообмена между сушильным агентом и продуктом путем повышения скорости и температуры сушильного агента или с уменьшением размера частиц продукта.

Сушка во взвешенном состоянии - это более интенсивный конвективный способ. Осуществляют ее в аппаратах кипящего (псевдооживленного) слоя, который образуется в камере постоянного сечения. Скорость агента сушки в верхней камере выше, чем внизу, из-за стремления воздуха к расширению и в связи с этим частицы продукта начинают движение в верхней части слоя.

Сушка во взвешенном слое характеризуется непрерывным хаотическим движением и перемещением частиц в определенном объеме по высоте, высокоразвитой поверхностью соприкосновения продукта с нагретым воздухом, так как при этом способе сушки каждая частица омывается потоком агента равномерно со всех сторон. Это обеспечивает равномерное нагревание продукта и срыв пограничного слоя испаряющейся влаги, что, в свою очередь, позволяет применять повышенные температуры агента сушки в зависимости от вида продукции. При этом значительно сокращается продолжительность сушки и уменьшаются сроки теплового воздействия на продукт. Кроме того, по сравнению с сушкой в неподвижном слое увеличивается удельная нагрузка. Начальная фаза кипящего слоя не обеспечивает движения и полного перемещения всех частиц, поэтому сушку осуществляют в развитой фазе кипящего слоя, при которой высота слоя движущихся частиц вдвое превышает начальную высоту неподвижного слоя продукта.

Кондуктивный способ сушки. Он основан на передаче тепла материалу при соприкосновении с горячей поверхностью. Воздух служит только для удаления водяного пара из сушки и является влагопоглотителем.

Коэффициент теплоотдачи кондуктивного способа значительно выше, чем конвективного, и составляет 170-180 Вт/м²- К). Применение этого способа сушки ограничено, хотя он отличается высокой интенсивностью и экономичностью. На 1 кг испарившейся влаги затрачивается всего 1,3...1,4 кг пара (вальцовые сушилки).

Сушка инфракрасными лучами (термоизлучением). Скорость сушки инфракрасными лучами (ИКЛ) увеличивается по сравнению с конвективной, но непропорционально увеличению теплового потока. Так, для овощей скорость сушки ИКЛ на 25-95 % больше по сравнению с интенсифицированными способами конвективной сушки. Это объясняется тем, что скорость сушки зависит не только от скорости передачи тепла, но и от скорости перемещения влаги внутри продукта. Для сохранения качества высушиваемого продукта не рекомендуется применять мощные потоки термоизлучения.

Для интенсификации терморadiационной сушки необходимо, чтобы ИКЛ проникали в продукт возможно глубже. Это зависит как от пропускной способности материала, так и от длины волн ИКЛ. Чем они меньше, тем больше проникающая способность ИКЛ.

Проницаемость пищевых растительных волокон увеличивается с уменьшением толщины слоя и с понижением его влажности. Например, проницаемость ИКЛ в картофеле достигает 6 мм в сыром и 15... 18 мм в сухом.

При сушке ИКЛ возникают перепады температур, под воздействием которых влага перемещается по направлению теплового потока, т. е. внутрь частиц продукта. Таким образом, градиент температуры не совпадает с градиентом влагосодержания и оказывает тормозящее действие на перенос влаги при сушке этим способом. Тем не менее терморadiационные сушилки с газовыми панелями-излучателями более экономичны и обеспечивают более равномерную сушку по сравнению с другими способами.

Сушка токами высокой и сверхвысокой частоты. Способ сушки токами высокой (ВЧ) и сверхвысокой (СВЧ) частоты основан на том, что диэлектрические свойства воды и сухих веществ продуктов резко различаются (у воды диэлектрическая проницаемость составляет 81 Ф/м, у сухих веществ - 2,7...4,5 Ф/м), поэтому влажный материал нагревается значительно быстрее, чем сухой.

В процессе сушки с применением ВЧ и СВЧ температура внутренних слоев продукта выше, чем наружных, более обезвоженных. Тепловой поток направлен к периферии продукта, и влагоперенос имеет то же направление, что способствует ускорению сушки. Возникающий градиент температуры и градиент влагосодержания способствуют перемещению влаги изнутри к поверхности, в результате процесс сушки проходит интенсивнее.

При сушке ВЧ и СВЧ испарение происходит во всем объеме частиц продукта и внутри возникает еще градиент давления, ускоряющий перенос влаги. Изменяя напряженность поля, можно плавно регулировать температуру высушиваемого продукта. Чем меньше диэлектрическая проницаемость, тем глубже в продукт проникают электромагнитные колебания токов ВЧ и СВЧ.

Преимущества сушки ВЧ и СВЧ по сравнению с конвективной и контактной сушкой - возможность регулирования и поддержания определенной температуры продукта и более интенсивный процесс обезвоживания, что способствует улучшению качества высушиваемых продуктов.

Сублимационная сушка (криогенная сушка с вакуумом). Все большее распространение получает способ сушки пищевых продуктов в замороженном состоянии в условиях глубокого вакуума.

Процесс, при котором твердое вещество (лед) переходит в парообразное состояние, минуя жидкое, называют сублимацией или возгонкой, а обратный процесс, то есть конденсацию пара с непосредственным переходом его в твердое состояние, минуя жидкую фазу - десублимацией.

При сублимационной сушке отсутствует контакт продукта с кислородом воздуха, так как создается вакуум. Основное количество влаги (75...90 %) удаляется при сублимации льда (температура ниже 0 °С) и только остаточная влага - при нагреве продукта до 40-60 С. Продукты, высушенные сублимационным способом, отличаются высоким качеством, сохраняют все питательные вещества, обладают повышенной восстанавливающей способностью, имеют незначительную усадку, пористое строение и сохраняют цвет и аромат свежего продукта. Из всех способов сушки с точки зрения сохранения качества сублимационная сушка наиболее совершенна.

В качестве теплоносителя при сублимационной сушке применяют глицерин, трихлорэтилен, этиленгликоль и др.

Первая технологическая операция при этом способе - замораживание подготовленных продуктов. Для этого применяют либо быстрое замораживание в морозильных камерах, либо самозамораживание (пастообразных продуктов, некоторых видов овощей и фруктов) в сублиматоре. В процессе самозамораживания из продукта испаряется 10...15% всей влаги за счет выделения теплоты плавления льда при замерзании воды. Кристаллы льда образуются путем постепенного углубления зоны кристаллизации. Окончание самозамораживания определяют конкретно для каждого вида продукта при достижении температуры в середине частиц продукта (или слоя продукта) от -5 до - 20 °С. Продолжительность самозамораживания 10... 15 мин. При удлинении этого процесса возможно образование слишком крупных кристаллов льда, которые могут разрушить клетки тканей продукта и снизить его качество.

Вторая технологическая операция (сублимация) характеризуется постоянной скоростью сушки материала. Сублимация льда происходит путем постепенного углубления зоны испарения, в это время удаляется основная масса влаги (до 60 % и более). Чем больше влаги удаляется в этот период, тем лучше сохраняются природные свойства сырья.

Третья технологическая операция - удаление остаточной влаги - характеризуется падающей скоростью сушки. К началу третьей операции сублимация льда в основном заканчивается и температура материала становится положительной. В этот период удаляется связанная влага, не

замерзшая в продукте. Скорость сушки зависит от интенсивности подвода тепла и углубления зоны испарения, удаления пара из зоны испарения через высохшие слои поверхности продукта.

На интенсивность испарения влияют структура, пористость высушиваемого продукта, а также форма, размер, толщина частиц и др.

По мере снижения скорости сушки температура продукта постепенно увеличивается до температуры окружающей среды.

Температура поверхности конденсаторов - десублиматора должна быть на 10-15 °С ниже температуры замораживания продуктов, чтобы обеспечить достаточную разность давлений для быстрого удаления сублимированного пара.

Комбинированные способы сушки плодоовощного сырья. Вырабатываемые сушеные картофель, овощи в процессе восстановления медленно поглощают влагу, и при кулинарной обработке их необходимо варить в течение 18...25 мин. Этот недостаток нивелируют, используя технологии получения быстровосстанавливаемых сушеных продуктов.

Конвективная сушка с предварительным замораживанием. При этом способе сушки картофель, овощи, подготовленные по обычно принятым схемам, замораживают, после чего высушивают на паровых конвейерных сушилках. Вводя в технологические схемы процесс замораживания, получают высокопористые, быстро восстанавливающиеся сушеные продукты с продолжительностью варки, мин: картофеля - 1...2, моркови - 2...5, свеклы - 3...5, капусты - 5...6; при этом процесс сушки сокращается на 25...30 % по сравнению с сушкой овощей без замораживания.

С образованием кристаллов льда при замораживании картофеля и овощей нарушается структура ткани, что ускоряет процесс удаления влаги при сушке, а при кулинарной обработке способствует их быстрому восстановлению. Ускорение процесса сушки предварительно замороженных овощей связано с уменьшением их влагоудерживающей способности. Разработан ступенчатый режим замораживания: вначале замораживание ведут при температуре, близкой к -10 °С, с целью получения крупных кристаллов льда, а затем - при -25...-35 °С для увеличения количества вымороженной воды.

Предварительно замороженные картофель и овощи сушат в паровых конвейерных сушилках при температуре агента сушки над продуктом 55...70°С, скорость движения лент составляет 0,5...1,0 м/мин при удельной нагрузке 12... 16 кг/м².

Полученные сушеные овощи и картофель имеют пористую структуру, быстро восстанавливаются, а по органолептическим показателям (внешнему виду, цвету, запаху, консистенции и вкусу) близки к овощам, сваренным из свежего сырья.

Во ВНИИ детского питания разработана технология, позволяющая получить сухой порошок из овощей, полностью сохраняющий пищевую ценность первоначального продукта. Это обеспечивается низкой температурой сушки под вакуумом, глубоким охлаждением (температура

жидкого азота -195,6 °С) продукта при использовании сублимации. Мелкодисперсный порошок из овощей, полученный методом вакуумной сушки и последующего криогенного измельчения, в отличие от порошков-соков, изготовленных на распылительной сушилке, представляет собой натуральный концентрат не только витаминов, но и микроэлементов, пектиновых веществ, органических кислот, легкоусвояемых углеводов, белков, содержащихся в свежих продуктах. Высокие качественные характеристики криопорошка делают его уникальной добавкой при изготовлении продуктов детского и диетического питания.

К числу перспективных высоких технологий относится сушка термолabileного овощного пюре на *гранулированных капсулах из инертного материала*, который представляет собой продукт полимеризации тетрафторэтилена - фторопласт-4Д. Он обладает высокими стойкостью к сильнодействующим агрессивным средам и механической прочностью.

Особенность новой технологии сушки в псевдооживленном слое заключается в значительном сокращении времени сушки продукта, находящегося в виде тонкой пленки на поверхности гранул. Сухая пленка легко удаляется с гранул, а высушенные таким образом плодовоовощные продукты не требуют варки и употребляются в виде пюре, восстановленного из порошка при добавлении горячей воды или молока.

Федеральная служба санитарно-эпидемиологического надзора (Роспотребнадзор) выдала разрешение на применение фторопласта-4Д в качестве контактного материала при производстве сухих плодовоовощных продуктов для детского диетического питания.

Разработана *низкотемпературная сушилка* с использованием кондиционированного воздуха. Воздух окружающей среды охлаждается, обезвоживается и подается в сушильную камеру, поглощает влагу от подготовленного продукта и выбрасывается наружу или частично используется на рециркуляцию. Низкотемпературная сушилка перспективна для конвективной сушки пищевых продуктов, и в первую очередь плодов и овощей, содержащих эфирные масла (укроп, петрушка, лук, чеснок и др.). Эти установки являются экологически чистыми технологическими системами, обеспечивающими сохранение всех природных свойств высушиваемых продуктов.

Классификация сушильных установок. Для сушки картофеля, овощей применяют разнообразные сушильные установки, которые классифицируют по следующим признакам:

по способу подвода тепла к влажному подготовленному сырью - *конвективные* (тепло передается продукту через агент сушки - нагретый воздух), *кондуктивные* (тепло передается через нагретую поверхность, этот способ еще называют контактным), *терморadiационные* - сушка осуществляется при помощи инфракрасных лучей и токов высокой (ВЧ) и сверхвысокой (СВЧ) частот;

по давлению воздуха в сушильной камере различают установки *атмосферные, вакуумные, сублимационные'*,

по характеру работы установки могут быть *периодического и непрерывного действия'*,

по виду агента сушки - аппараты, использующие *нагретый воздух, перегретый пар, дымовые газы* или их смеси с воздухом (последние при сушке картофеля, овощей и фруктов запрещены);

по характеру циркуляции агента сушки - установки с *естественной и принудительной подачей агента сушки*, когда используются центробежные или осевые вентиляторы;

по характеру движения агента сушки относительно высушиваемого сырья - *прямоточные* (при одинаковом направлении движения агента сушки и продукта), *противоточные* (при противоположных направлениях) и с *пронизыванием слоя продукта* потоком агента сушки;

по способу нагрева агента сушки сушильные установки могут быть *электрическими, паровыми, огневыми* и с *калориферным нагревом*;

по кратности использования агента сушки - с *однократным и многократным* применением нагретого воздуха в разных вариантах (с полной или частичной рециркуляцией);

по виду объекта сушки различают установки для твердых (крупных, мелких и пылевидных), *жидких и пастообразных продуктов'*,

по конструктивным признакам сушилки подразделяют на *конвейерные, туннельные, камерные, шахтные, вальцовые, распылительные, коридорные, барабанные* и др.