

ТЕМА: ЗАМОРАЖИВАНИЕ И ДЕФРОСТАЦИЯ РЫБЫ

План лекции:

1. Замораживание как способ консервирования рыбы.
2. Изменения свойств рыбы при замораживании.
3. Режим, скорость и продолжительность замораживания.
4. Способы замораживания.
5. Глазурование рыбы.
6. Упаковка, транспортировка и хранение замороженной рыбы.
7. Размораживание (дефростация) рыбы.

1. Замораживание как способ консервирования рыбы

Замораживание – один из наиболее древних способов консервирования пищевых продуктов. До 19 века рыбу замораживали, используя естественный холод или применяя смесь соли и льда. С созданием машин для получения искусственного холода появилась возможность замораживать и хранить мороженую рыбу в любое время года. За сравнительно непродолжительный срок замораживание стало главным способом консервирования пищевого сырья, в т.ч. и рыбы. Основным условием производства мороженых рыбных товаров является создание непрерывной ускоренной цепи, сущность которой в том, что с момента замораживания до реализации замороженный продукт находится под непрерывным воздействием холода.

Замораживание – один из самых надежных способов консервирования. Оно основано на создании условий, при которых невозможно развитие микробиологических процессов. При отрицательной температуре микроорганизмы не погибают, а находятся в состоянии анабиоза. Различные виды бактерий по-разному реагируют на отрицательную температуру, например, психрофилы могут развиваться при температуре минус 8°C. Однако жизнедеятельность самых опасных микроорганизмов – гнилостных подавляется при температуре минус 4–6°C.

Ферменты довольно устойчивы к отрицательным температурам, протеолитический процесс прекращается только при минус 18–20°C. Однако эта температура недостаточно низка для торможения липолитического процесса. Всякие ферментативные процессы протекают только в растворах, и пока жир находится в жидком состоянии – липолитические процессы не прекращаются. Температура полного застывания (кристаллизации) рыбьего жира – около минус 27 °C. Следовательно, для полного прекращения микробиологических и ферментативных процессов необходимо понизить температуру рыбы до минус 30°C. Чем ниже температура, тем больше затраты энергии на производство холода, поэтому температуру замораживания выбирают в зависимости от вида рыбы.

Замораживание позволяет в максимальной степени сохранить естественные свойства сырья, поэтому и требования к технологическим условиям за-

мораживания особенно высокие. Замороженной считается рыба, у которой температура в центре тела (у позвоночника) не выше минус 8°C. Рыбу с такой температурой можно отгружать только на такие предприятия, у которых нет холодильных установок. На предприятиях, оборудованных машинным холодильниками, рыбу замораживают до температуры не выше минус 18°C. Жирную рыбу рекомендуется замораживать до минус 28°C.

Таким образом, мороженной называют рыбу с температурой в центре тела минус 8, минус 18 или минус 28°C. В большинстве случаев рыбу замораживают до минус 18°C.

2. Изменение свойств рыбы при замораживании

Несмотря на низкие температуры, в замороженной рыбе происходят сложные физико-химические процессы, обуславливающие разрушение тканей и денатурацию белков. В результате этих процессов мясо рыбы после замораживания и хранения не соответствует по качеству свежельвленной рыбе (особенно по консистенции).

Основными причинами, вызывающими изменения свойств мяса рыбы при замораживании являются:

- разрушение структуры тканей кристаллами льда, образующимися при замораживании тканевой воды;
- денатурация белков мяса рыбы под действием солевых растворов, концентрация которых увеличивается при вымораживании воды;
- распад некоторых химических веществ содержащихся в мясе рыбы (разрушение аденозинфосфата, креатинфосфата и гликогена).

В процессе замораживания в рыбе происходят биологические, биохимические и физические изменения.

К *биологическим изменениям* относится подавление жизнедеятельности микроорганизмов, которые находятся на поверхности и внутри рыбы, а также снижения их количества.

В процессе медленного понижения температуры при замораживании воздействие холода на микроорганизмы ослабляется и они приспосабливаются к действию низких температур. Количество микроорганизмов при медленном замораживании становится больше чем при быстром.

Определить *биохимические изменения*, происходящие в мышечных тканях при замораживании, практически невозможно, т.к. любое аналитическое исследование можно осуществлять лишь при положительной температуре, а следовательно, после оттаивания тканей рыбы, при котором обязательно происходят дополнительные биохимические изменения. В связи с этим обнаруживаемые в мороженой рыбе после её оттаивания биохимические изменения условно относят к изменениям, происходящим под влиянием замораживания.

Основные изменения обнаружены в белках мышечной ткани: уменьшается их растворимость в воде, так и в слабых растворах поваренной соли, они становятся более доступными для ферментов. Совокупность этих изменений в

структурах белковых молекул называется денатурацией. Степень этих изменений зависит от температуры по которой замораживалась рыба и от скорости замораживания.

Основным *физическим процессом*, характеризующим замораживание, является превращение тканевого сока в лед. С увеличением продолжительности предварительного хранения рыбы размер кристаллов льда при замораживании, степень гистологических изменений тканей возрастают.

При замораживании и хранении наблюдаются изменения гидрофильных свойств тканей, которые определяют их водоудерживающую способность к концу хранения и влияют на количество тканевой жидкости, отделяющейся при размораживании. Во время замораживания клеточного сока из клеток в межклеточные пространства выделяется вода, а растворенные в клеточном соке вещества остаются и создают высокое осмотическое давление в межклеточном пространстве. Внутри клеток кристаллы образуются с опозданием. Высокое осмотическое давление в межклеточной жидкости вызывает перемещение влаги из клеток в межклеточное пространство. Кристаллы льда в межклеточных пространствах увеличиваются в объеме, отрывают клетки одна от другой и деформируют их. Чем медленнее при этом идет замораживание, тем больше тканевого сока переходит в межклеточное пространство и больше травмируется саркоlemma.

Потери тканевого сока зависят не только от гидрофильных свойств тканей, но и от степени разрушения структуры тканей кристаллами льда.

Изменение структуры тканей вызывает изменение цвета, из-за разрушения гемоглобина, во время замораживания и частичного его перемещения в кровяную плазму, окружающую ткань.

Цвет рыбы изменяется также вследствие оптического преломления кристаллов разных размеров и форм в зависимости от скорости замораживания. В случае быстрого замораживания продукт становится бледным с желтоватым оттенком, а при медленном он приобретает; темно-красный цвет.

При замораживании происходит уменьшение массы рыбы (потери или утечка), зависящее от способа замораживания: чем лучше контакт замораживаемой рыбы с воздухом, тем больше потеря массы, величина потерь находится в прямой зависимости и от температуры рыбы, поступающей на замораживание.

Основная часть теряемой массы составляет испаряющаяся вода. В зависимости от условий замораживания потери составляют от 0,5 до 2,0 % массы рыбы.

Потеря массы рыбы связана с испарением воды и следовательно, не отражается на изменении пищевой ценности готового продукта, так как и белок и жир количественно не изменяются. Однако уменьшение массы рыбы имеет большое производственное значение, т.к. испарение воды из рыбы при её замораживании повышает расход холода.

3. Режим, скорость и продолжительность замораживания

Одной из основных задач технологии является сохранение структуры тканей при замораживании. Чем раньше после вылова замораживается рыба, тем лучше сохраняется её структура. Происходит это благодаря достаточной пластичности сарколеммы волокон и кристалла льда, образующем внутри мышечных волокон, не разрушает оболочку. В глубине тела рыбы замораживание идет медленнее, чем в поверхностных, поэтому кристаллы льда по сечению тела рыбы имеют различные размеры. Важным фактором при замораживании является характер кристаллообразования. Желательно получение более мелких кристаллов, что обеспечит большую обратимость замораживания.

Рыбу следует замораживать до такой температуры, при которой в мясе рыбы фактически уже не остается свободной воды, обладающей свойствами растворителя. Вещества мышечного сока не могут проявить своего денатурирующего действия, а ферментативная деятельность протекает настолько медленно, что не оказывает заметного влияния на изменение качества рыбы. В последние годы имеется тенденция к понижению температуры замораживания до -30°C .

Конечная температура продукта и связанная с ней температура камеры хранения должны устанавливаться в соответствии с биохимическими и физическими изменениями, протекающими в продукте при различных температурах, а также возможными сроками его хранения. Денатурация белка приостанавливается при температуре минус 20°C . Рыбу с большим содержанием жира необходимо замораживать до конечной температуры минус $28-30^{\circ}\text{C}$ и ниже. Кроме того, лучше жирную рыбу замораживать только в герметических камерах, одновременно с ее глазированием.

Для того, чтобы до возможного минимума уменьшить химические изменения в замороженной рыбе, необходимо до температуры минус 10°C вести процесс замораживания с максимальной скоростью.

Скорость замораживания – это скорость движения зоны кристаллизации воды вглубь тела рыбы. Под зоной кристаллизации подразумевается слой мяса рыбы, в котором под действием низких температур значительная часть воды превращается в лед. Скорость замораживания зависит от химического состава мяса рыбы, способа и температуры замораживания, но не зависит от размера рыбы или блок-формы. Чаще всего рыбу замораживают со скоростью более $3,3$ см/ч.

Продолжительность замораживания – это время, необходимое для охлаждения рыбы до заданной отрицательной температуры, одинаковой по всему сечению тела. Последнее условие является обязательным и очень важным. С уменьшением толщины замораживаемой рыбы или блока, уменьшается продолжительность замораживания. Она зависит и от перепада температуры продукта и окружающей среды. Чем он больше, тем меньше продолжительность замораживания. Увеличение скорости и уменьшение продолжительности достигается понижением температуры среды до минус 30°C с одновременной циркуляцией охлаждающего воздуха со скоростью $5-8$ м/с.

4. Способы замораживания

Среди существующих способов замораживания рыбы наиболее распространенными являются: естественный, искусственный и смесью льда и соли.

Замораживание естественным способом. Данный способ в настоящее время практически утратил свое значение и наиболее приемлем для районов Севера. Живую рыбу укладывают в один слой на ледяной площадке водоема. При сильном морозе и ветреной погоде рыба замораживается очень быстро. При данном способе рыба замораживается до наступления посмертных изменений. Жабры рыбы застывают в раскрытом состоянии, плавники поднимаются, глаза выдаются наружу. В промежутке между жабрами появляется полоса бордового цвета, что указывает на признаки свежести рыбы. Способ применяется, когда температура воздуха находится ниже минус 15°C.

Искусственное замораживание. К нему относят воздушное (сухое), криогенное и мокрое (рассольное) замораживание.

Воздушное замораживание осуществляется в морозильных камерах холодильников при температурах -25...-35 °С. Рыбу, рассортированную по видам, размерам и качеству раскладывают на стеллажах слоем до 13 см. Крупную рыбу (осетровых, лососевых и др.) замораживают в подвешенном состоянии или на полках. Продолжительность замораживания зависит от размера рыбы, температуры воздуха в камере, степени ее загрузки, скорости движения воздуха. При температуре внутри камеры минус 30 °С и скорости движения воздуха 4 – 4,5 м/с рыба, толщиной слоя 60–70 мм, замораживается за 2,5–3 ч.

Более широкое распространение получил способ *интенсивного воздушного замораживания* рыбы в аппаратах и установках непрерывного конвейерного действия, предварительно сформованной и подпрессованной в блок-формах.

Недостатком данного метода является то, что из-за низкого коэффициента теплоотдачи от продукта к воздуху и от воздуха к приборам охлаждения скорость замораживания невысокая. Кроме того, аппараты для замораживания металлоемки и имеют большие габариты.

Широкое распространение получил способ контактного *плиточного замораживания*. Оно происходит в аппарате, имеющем 2 металлические плиты (известны аппараты и с большим числом плит – 20–21), внутри которых циркулирует хладагент. Расстояние между плитами в пределах 20–70 мм. Плиты заполняют рыбой или рыбным филе и плотно прижимают друг к другу. Замораживание происходит под давлением при температурах минус 35–40 °С.

Эти аппараты отличаются компактностью по сравнению с воздушными морозилками. Процесс замораживания в них протекает значительно быстрее за счет высокого коэффициента теплоотдачи хладагента к продукту. При температурах плиты минус 30–35 °С рыба замораживается за 2 – 2,5 ч.

Недостатком плиточного замораживания является применение ручного труда при загрузке и разгрузке аппарата, а также необходимость разделки крупных рыб на филе.

Криогенный способ замораживания или замораживание в кипящем хлада-

генте. Это наиболее высокоэффективный способ. Продукт, находясь в испаряющейся среде, быстро замораживается. В качестве хладагента может быть использована углекислота и двуокись азота. Наиболее приемлемым считают жидкий азот. Хладагент при температуре минус 183 °С быстро испаряется, мгновенно замораживая рыбную продукцию. При его использовании замораживание рыбного продукта толщиной 1 – 3 см происходит за 10 – 15 мин. Быстрое замораживание обеспечивает высокое качество продуктов. Основным недостатком – высокая стоимость хладагента. В США и Англии в качестве хладагента используют жидкий хладон который имеет невысокую стоимость. В Германии замораживают рыбу с использованием жидкого диоксида углерода. Кроме мелкого кристаллообразования при этом на поверхности образуется тонкая защитная оболочка, которая препятствует порче продукта.

Мокрое (рассольное) замораживание может быть контактным и бесконтактным. В качестве жидкой среды широко используется раствор поваренной соли. Контактное замораживание может осуществляться путем орошения рыбы рассолом или погружением рыб в рассол. Замораживание контактным способом в жидкой среде происходит с большей скоростью, чем в воздушной и без потерь массы продукта. Недостатком служит то, что рыба просаливается и ее качество при этом ухудшается.

Наиболее приемлемым методом является бесконтактный способ рассольного замораживания, когда рыбу, заключенную в оболочку, погружают в рассол. В качестве рассола могут быть использованы растворы солей хлористого кальция, хлористого магния. При их использовании рассол можно охлаждать до температур минус 40-45 °С, а при использовании поваренной соли только до минус 20 °С.

Льдосоляное замораживание. Способ льдосолевой заморозки применяется только при отсутствии морозильных камер и установок, поскольку у технологии много недостатков. Как и рассольное замораживание, данный способ может быть контактным и бесконтактным. Он основан на замораживании рыбы путем самоохлаждения смесью льда и соли. Температура таяния смеси зависит от соотношения льда и соли и может быть доведена до минус 20 °С. При льдосоляном замораживании соотношение рыбы, льда и соли составляет 1 : 1 : 0,25.

Техника замораживания заключается в том, что рыбу пересыпают смесью льда и соли. Длительность замораживания до 24 ч. Замораживание идет под действием трех факторов: непосредственный контакт рыбы со льдом и солью, с рассолом, образующимся при таянии смеси, ячейками воздуха между компонентами смеси.

При *бесконтактном способе* рыба ограждена от смеси хорошо проводящей тепло перегородкой. Замораживание может проводиться в штабелях и в формах.

Недостатками является частичное просаливание продукта, а также низкие сроки хранения рыбы. При длительном хранении качество продукта и его товарный вид ухудшаются.

Температура на выводе из морозильных камер должна быть не выше ми-

нус 18°С при сухом искусственном замораживании, не выше минус 12 °С при рассольном и минус 8 °С при льдосолевом и естественном способах.

5. Глазурование рыбы

Глазурование – это процесс, при котором поверхность рыбы покрывается тонкой ледяной оболочкой, предотвращающей обезвоживание продукта и окисление жира, содержащегося в ней. Масса глазури не должна быть меньше 4 % от массы рыбы, толщина 2-4 мм. При легком постукивании она не должна отставать от рыбы.

Качество глазури зависит от температуры рыбы и воды при глазировании, способа и продолжительности процесса, удельной поверхности рыбы и свойств кожно-чешуйчатого покрова.

Для образования глазури мороженую рыбу опускают в пресную воду, температура которой 1–2 °С. Количество глазури на рыбе, замороженной до температуры минус 10 °С не зависит от времени пребывания в глазурированной ванне. При температуре рыбы минус 20 °С количество глазури увеличивается, через 30 секунд она составляет около 2 %, а через 2 мин – около 3,5 % массы рыбы. Повышение температуры воды до 7 – 9 °С приводит к уменьшению массы глазури примерно в 2 раза.

Глазирование может проводиться также путем орошения мороженой рыбы водой или погружением в специальные растворы.

При глазировании рыбы чистой водой срок хранения продукта увеличивается. Дополнительно в воду при глазировании жирных рыб (лососевых, осетровых и др.) добавляют антиокислители. В этом качестве используются аскорбиновая и лимонная кислоты, глютаминат натрия, которые вносят в раствор в количестве 0,1 – 0,2 %. Эффективным антиокислителем может быть прополис в дозе 0,01 %.

Водная глазурь механически непрочна. При транспортировке и длительном хранении она сублимируется и через 4 – 5 месяцев поверхность рыбы полностью оголяется. Для предотвращения этого процесса в глазурированную смесь добавляют альгинаты или водорастворимые полимерные вещества (карбоксиметицеллюлозу и поливинилового спирта).

Для защиты мороженой рыбы от окисления жиров широко используется вакуумная упаковка в полимерные пленки, а также пергамент, подпергамент, полиэтиленовую пленку.

6. Упаковка, транспортировка и хранение мороженой рыбы

Мороженую рыбу упаковывают в картонные ящики, корзины, бочки, коробки и пакеты из синтетических материалов. Вместимость суходонной бочки до 250 кг, картонных ящиков – до 40, корзин – до 60, картонных коробок и пакетов – до 1 кг. Глазированную рыбу упаковывают только в ящики, выложенные изоляционным материалом. Рыбу семейства лососевых и осетровых обертывают в пергамент, целлофан или пакет из синтетической пленки каж-

дую в отдельности. Мелкую рыбу упаковывают сыпью, а остальную - укладкой рядами. Перевозят замороженную рыбу в холодильных камерах вагонов и автомобилей при температуре не выше минус 18 °С и относительной влажности воздуха 90 – 95 %.

Хранение рыбы сопряжено с рядом физических и биохимических изменений, при которых ухудшается качество продукта и снижается длительность хранения.

Физические изменения в мороженой рыбе при хранении. К физическим изменениям относится усушка, изменение цвета и гистологической структуры тканей. При продолжительном хранении происходит постепенное увеличение кристаллов льда, т.е. перекристаллизация.

Перекристаллизация льда в мороженой рыбе зависит от температуры хранения. Чем она выше, тем больше интервалы колебаний температур и тем быстрее протекает перекристаллизация. При повышенной температуре хранения мелкие кристаллы плавятся, а образованная жидкость перемещается к поверхности крупных кристаллов и намораживается на нее

При хранении уменьшается масса продукта или происходит усушка. Она возникает за счет сублимации льда на поверхности мороженой рыбы. На степень усушки влияют вид, состояние и размер продукта, род упаковки, способ укладки и расположение продукта в холодильной камере, продолжительность хранения и степень загрузки камеры. Она выше, если отношение площади поверхности к объему большое.

Чем больше доля влаги в рыбе, тем больше вероятность усушки. У тощих рыб она больше, чем у жирных. Чем выше плотность укладки тем меньше усушка. Упаковка может предотвратить потерю в весе. Чем выше относительная влажность воздуха и холодильной камере, тем ниже усушка.

При обезвоживании или усушке происходит не только потеря массы, но и возникает явление холодильного ожога. Оно выражается в изменении цвета на поверхности рыбы, консистенция поверхностного слоя становится губчатой, эластичной. Цвет рыбы изменяется вследствие разрешения красящих веществ при низкой температуре и развития в этих условиях некоторых микроорганизмов. Причиной изменения цвета служит также перекристаллизация льда вследствие различного оптического преломления при разных размерах кристаллов.

Биохимические изменения в рыбе при хранении. К биохимическим изменениям относятся окисление, гидролиз жира и денатурация белков.

При понижении температуры ферментативные процессы в рыбе хотя и незначительно, но продолжают. Окислительные ферменты стимулируют окислительные процессы. При повышении температуры хранения в контакте с кислородом наблюдается окисление и гидролиз жиров. У тощих рыб окисление наступает быстрее, чем у жирных. В ходе реакции с водой из жиров образуются глицерин и жирные кислоты. При этом ухудшается вкус, запах и цвет рыбьих жиров. Гидролиз сопровождается окислением, в результате окисления и деятельности микроорганизмов происходит ржавление жира, в связи с накоплением летучих кислот. Для предотвращения гидролиза и окис-

ления жиров необходимо практиковать быстрое замораживание и хранение при наиболее низких температурах минус 30 °С и ниже.

При хранении замороженной рыбы изменяются и физико-химические свойства белков. При денатурации белка происходит изменение его растворимости, уменьшается способность к набуханию, к удерживанию тканевого сока. При денатурации изменяется качество продукта, он приобретает сухую и жесткую консистенцию.

7. Размораживание (дефростация) рыбы

Размораживание - это процесс превращения льда, содержащегося в тканях мороженой рыбы, в воду.

Способ размораживания рыбы по возможности должен обеспечивать большую степень сохранения первоначальных свойств продукта при минимальных необратимых процессах, вызываемых условиями самого размораживания.

При выборе способа размораживания учитывают условия замораживания продукта (поштучно или блоком), способ разделки (непотрошенная, потрошенная, филе и т.д.).

Размораживание на воздухе или в другой газообразной среде. Его проводят при высоких (15-10°С) или низких (5-10°С) температурах. Воздушное размораживание относят к медленному. Продолжительность процесса составляет от 24 до 30 ч. Для ее сокращения используют искусственную циркуляцию воздуха (5-8 м/с).

В качестве газообразной среды при размораживании может использоваться азот, оксид углерода и т. д.

К недостаткам способа относят подсушку внешней поверхности рыбы и значительную окислительную порчу жиров. Он приемлем для размораживания тощей рыбы. При повышении температуры размораживания консистенция мяса становится мягкой.

Размораживание в жидкой среде. В качестве жидкой среды используют пресную воду или раствор поваренной соли. Размораживают погружением рыбы в жидкую среду, которая может быть подвижной или неподвижной.

Оптимальной температурой жидкости считается 15-25 °С. Если температура ниже 15 °С, то увеличивается длительность процесса, а если выше 25 °С, то резко ухудшается качество продукта.

Недостатками данного способа является экстаркция азотистых веществ тканевого сока вместе с белками, экстрактивными веществами и витаминами группы В, ухудшение качества поверхностного слоя из-за перегрева или набухания рыбы. мин.