

2. Эффективность угнетающего действия углекислоты на микрофлору, обсеменяющую рыбные продукты, усиливается с повышением концентрации ее. Достаточно эффективными являются концентрации выше 60—70% CO₂ и наиболее эффективными — концентрации, близкие к 100% CO₂.

3. Чистый углекислый газ оказывает меньшее угнетающее действие на рост облигатного анаэроба *Cl. tetanomorphum*, чем воздушная среда, однако при содержании 90% CO₂ рост этого анаэроба угнетается почти так же, как в воздухе.

4. Углекислый газ 70—90%-ной концентрации при температуре 20—30° не задерживает, но и не стимулирует жизнедеятельность и токсинообразование *Vac. botulinus* в рыбе горячего копчения.

5. При повышении давления угнетающее действие углекислого газа на микроорганизмы усиливается, а при постепенном понижении его концентрации (парциального давления), наоборот, уменьшается.

6. Некоторые факультативные анаэробы, часто обсеменяющие рыбу горячего копчения, при температуре выше 16° лучше развиваются в атмосфере чистой или почти чистой углекислоты, чем на воздухе. Однако при хранении продукта в газозвушной смеси с содержанием углекислоты от 70 до 90%, рост этих бактерий эффективно угнетается. В углекислом газе на рыбных продуктах развиваются и накапливаются преимущественно негнилостные формы микроорганизмов.

7. Наибольшее угнетающее действие на рост аэробной и факультативно-анаэробной микрофлоры в рыбе горячего копчения оказывает 100%-ная углекислота. Газозвушная смесь с содержанием 70—90% CO₂ по силе действия близка к чистой углекислоте и является оптимальной средой для хранения рыбы горячего копчения.

8. Консервирующее действие углекислоты проявляется сильнее при предварительной обработке рыбы теплом или в сочетании с присутствием в рыбе соли.

9. С понижением температуры хранения консервирующее действие углекислого газа значительно усиливается, что объясняется повышением растворимости углекислоты.

10. Углекислый газ, растворяясь в мясе рыбы, угнетает рост микрофлоры не только на поверхности, но и в глубине тканей.

11. В рыбе горячего копчения, извлеченной из среды углекислого газа (даже после длительного хранения в нем), плесени развиваются приблизительно с такой же скоростью, как и в свежем продукте, а гнилостные бактерии по сравнению со свежим продуктом развиваются медленнее.

ХРАНЕНИЕ СВЕЖЕЙ РЫБЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

ПОСМЕРТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В РЫБЕ

Советскими и зарубежными учеными установлено, что все процессы в живой и мертвой мышечной ткани сводятся к химическим, физико-химическим и коллоидным изменениям белков мышц в сложной совокупности с превращениями в небелковой части мышечной ткани.

В состав мышечной ткани рыбы входит сократимый белок — актомиозин, представляющий собой обратимый комплекс белков миозина и актина. Кроме актомиозина, к основным белкам мышечной ткани относится миоген.

При окоченении и расслаблении мышц физико-химическим превращениям (растворимость и пр.) подвергается сложный белковый комплекс актомиозин, причем состояние его в мышцах зависит от наличия свободной и связанной аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ).

Сокращение мышцы объясняется набуханием актомиозина, предварительно дегидратированного АТФ. Необходимым условием расслабления сократившейся мышцы является разрушение комплекса актомиозин — АТФ.

В результате накопления в мышцах снулой рыбы продуктов ферментативного распада углеводов, главным образом гликогена (молочной кислоты и неорганических соединений фосфорной кислоты), происходит смещение рН мышечной ткани в кислую сторону. Это создает условия для глубоких коллоидных изменений белковой субстанции мышечных волокон, приводящих к их сокращению. Мышечные волокна твердеют, становятся непрозрачными, наступает так называемое посмертное окоченение.

Считают, что непосредственной причиной возникновения посмертного окоченения мышцы является распад АТФ [33, 34, 66, 170, 234]. Окоченение мышц нарастает в обратной зависимости от концентрации АТФ. Наступление окоченения и его продолжительность зависят от ряда факторов: вида рыбы, предсмертного состояния (способа лова), температуры.

Эти факторы в той или иной степени влияют на биохимические посмертные процессы, протекающие в мышечной ткани, и тем самым оказывают влияние на развитие и длительность посмертного окоченения, а следовательно, и на сроки сохранения рыбы.

Дальнейшее повышение кислотности приводит к свертыванию белков мышечной плазмы — миозина и миогена, — переходящих в нерастворимые формы миозинфирина и миогенфирина, частичной дегидратации и уменьшению способности белков связывать воду [169, 170].

Снижение рН создает условия для ускорения ферментативного распада белков (оптимум рН для катепсина около 4,5—5,0), обуславливающего расслабление мышечной ткани — автолиз.

По опытам Н. А. Головкина и Л. И. Першиной, начало расслабления мышц рыбы совпадает с некоторым повышением содержания АТФ [35], которая активизирует диссоциацию актомиозина на актин и миозин, наблюдающуюся при расслаблении мышечной ткани. Автолиз протекает в широком температурном диапазоне. Автолитические изменения в мышечной ткани теплокровных животных обнаружены при температуре -10° [44], а протеолитическая активность ферментов рыбы имеет минимальное значение лишь при -24° .

Под действием ферментов молекула белка распадается вначале на пептоны и высокомолекулярные полипептиды, затем происходит более глубокое расщепление с образованием низкомолекулярных полипептидов и аминокислот.

Автолитический распад вызывает глубокие структурные изменения в тканях. Происходит разрушение крови и постепенное размягчение и растворение других тканей тела рыбы. Реакция среды при этом смещается в щелочную сторону.

Потеря воды и части белка при автолизе ведет к сжатию клеток, но распада содержимого клетки на отдельные участки или на разрозненные обрывки или полного перехода клетки в растворенное состояние не наблюдается [14].

Расщепление белков и размягчение тканей, изменение реакции среды создают благоприятные условия для жизнедеятельности бактерий, проникающих в ткани рыбы, в первую очередь, по септическим путям и обуславливающих глубокое разложение белковых веществ.

При бактериальном разложении белков образуются различные продукты полураспада и распада — альбумозы, пептоны, полипептиды, аминокислоты и большое количество менее сложных соединений — различные кислоты и спирты, аммиак, простейшие амины, углекислота, наконец, такие неорганические вещества, как водород, сероводород и другие.

Под влиянием липолитических ферментов, содержащихся в животных тканях и вырабатываемых бактериями и плесенями, а также под влиянием света и воздуха происходит распад и окисление жировых веществ.

Липолиз сопровождается образованием свободных жирных кислот и оксикислот. При окислении продуктов распада — свободных жирных кислот, входящих в состав глицеридов, — образуются летучие вещества: альдегиды, кетоны, низкомолекулярные кислоты (муравьиная, уксусная, масляная, гептиловая); вкус и запах жира при этом изменяются.

Сложные физико-химические изменения, происходящие в снулой рыбе в результате биохимических процессов, исследованы недостаточно. Между тем, они сильно влияют на стойкость продукта при хранении.

Изменения гидрофильных свойств сложной коллоидной системы, какую представляют белки мышц и тканевых соков рыбы, имеют большое значение для понимания сущности процессов, происходящих в рыбе.

Часть воды, удерживаемая белками, является свободной. Она механически захватывается сеткой белковых мембран и белковыми волокнами клетки [233, 274]. Другая, меньшая, часть воды связывается белками, меняются ее теплоемкость, температура замерзания, вода теряет свойство растворителя.

На основании данных рентгеноструктурного анализа белковых кристаллов предполагается, что связанная вода присоединяется главным образом к поверхности белковых молекул и не проникает внутрь.

Количество воды, которое может быть связано белками, некоторыми авторами определено в пределах от 20 до 78% к весу белка [139, 140, 211, 285].

Белки крови могут связывать до 120—135%, а споры бактерий — до 200—250% воды к сухому весу [156]. При коагуляции и денатурации белка содержание связанной воды уменьшается [48].

На количество связанной влаги в веществе оказывает влияние ряд факторов: концентрация вещества, рН, соли, температура, ξ -потенциал, «история» коллоида, технологическая обработка и т. п.

В результате самопроизвольного тепловыделения в рыбе может повыситься температура ее, и рыба может испортиться. Известны случаи порчи рыбы при складывании ее навалом, перевозке во льду при температурах ниже 0°, хранении в толстом слое без предварительного охлаждения даже при -7° .

Наблюдения за повышением температуры туши только что забитого животного были проведены Мораном и Смитом [127], Н. А. Головкиным [34] и А. Г. Диваковым [40], которые нашли, что оно колеблется в пределах 0,9—2,0° и наблюдается в течение 20—30 минут.

Явление это объясняется распадом углеводов и фосфоропротеинов, сопровождающимся выделением тепла.

Знание величины посмертного тепловыделения рыбы, кроме теоретического значения, имеет и практический интерес, особенно при организации хранения охлажденной рыбы без льда или с малым количеством его.

Тепловыделение определяли при хранении свежего судака, тюльки и хамсы в адиабатических условиях, для чего куски рыбы или целые рыбы общим весом около 0,5 кг помещали в сосуды Дьюара, которые затем закрывали пробками (рис. 23).

При проведении экспериментов тщательно измеряли температуру внешней среды и рыбы с учетом всех необходимых поправок на теплопотери; одновременно вели наблюдения за ходом посмертных изменений в контрольной рыбе и в некоторых опытах определяли рН и связанную воду ($W_{связ}$).

Повышение температуры рыбы наносили на график, а величину посмертного тепловыделения рыбы определяли по формуле

$$q = C \Delta t, \quad (16)$$

где: q — тепловыделение в ккал/кг;

C — теплоемкость рыбы в ккал/кг°;

Δt — разность между конечной и начальной температурой рыбы в °С.

Тепло начинает выделяться через 1—2 часа после смерти рыбы. Температура повышается равномерно до некоторого предела, затем после прекращения тепловыделения некоторое время (6—10 часов) дер-

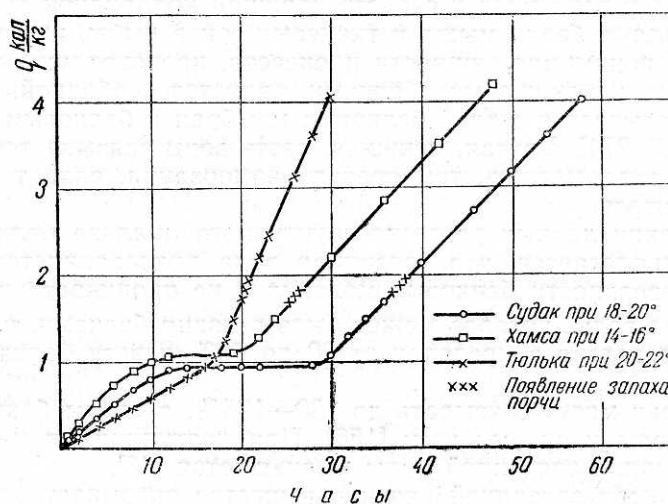


Рис. 23. График посмертного тепловыделения у судака, тюльки и хамсы.

жится на одном уровне, после чего вновь начинает равномерно повышаться, причем более энергично (в особенности у тюльки), чем в первой стадии.

Наблюдения показывают, что тепловыделение, например в мясе судака, обусловлено развитием посмертного окоченения и прекращается, по-видимому, с завершением этого процесса; при разрешении посмертного окоченения и в стадии автолиза заметных количеств тепла не выделяется.

Тепловыделение у судака составляет 0,76 ккал/кг, у тюльки 0,78 ккал/кг и хамсы 0,83 ккал/кг.

Количество выделяемого тепла незначительно и не может препятствовать хранению предварительно охлажденной рыбы с уменьшенными дозировками льда или совсем без льда.

Вторая стадия тепловыделения начинается с развитием процессов гнилостной порчи, так как через 4—6 часов после начала вторичного повышения температуры в рыбе обнаруживаются запахи порчи. Повышение температуры во второй стадии происходит более энергично, чем в первой. В опыте с судаком, например, температура рыбы равномерно повышалась на 0,1° в час в течение 3 суток наблюдения.

Нагревание рыбы при этом, очевидно, может достигать значительной величины, поэтому в практике хранения свежей рыбы необходимо тща-

тельно наблюдать за качеством рыбы и температурным режимом хранения, и избегать хранения неохлажденной рыбы в кучах или штабелях.

Для уточнения взаимосвязи изменений рН тканей рыбы, количества связанной влаги и тепловыделения в процессе посмертных изменений рыбы мы провели специальные опыты. Для определения связанной воды применили метод нерастворяющего объема (метод индикатора), разработанный А. В. Думанским [50, 51, 184] и видоизмененный А. С. Вечером [20]. В качестве индикатора был использован сахар.

Хотя этим методом и нельзя найти абсолютное значение связанной воды, однако вполне возможно определять динамику изменения гидрофильности белковых веществ, входящих в сложную структуру мышечной ткани рыбы.

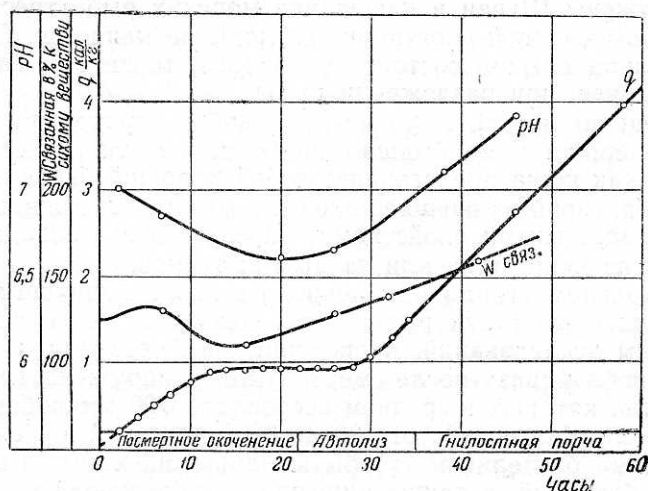


Рис. 24. Изменение величин рН, связанной воды и тепловыделения в судачьей тушке.

У тюльки и хамсы, ввиду неодновременности срока наступления и окончания посмертного окончание отдельных экземпляров, изменения рН не вполне характерны, но у крупной рыбы, где все определения проводились на одном экземпляре, наблюдается достаточно четкая картина.

На рис. 24 изображены результаты определений рН, связанной воды и тепловыделения у судача на различных стадиях посмертных изменений при температуре 20°.

Наблюдается прямая зависимость между изменениями рН и содержанием связанной воды (связанная вода везде выражена в процентах к сухому веществу). В период развивающегося посмертного окончание в тканях рыбы тепло выделяется, рН и количество связанной воды уменьшаются.

Уменьшение содержания связанной воды в первый период развивающегося посмертного окончание мышечной ткани рыбы, очевидно, зависит от понижения рН, так как по мере приближения рН к изоэлектрическим точкам белков гидрофильность их понижается. При развивающемся автолизе выделение тепла тканями рыбы не обнаруживается, однако, в дальнейшем при гнилостном разложении тепло тканями рыбы выделяется; рН непрерывно повышается.

Изменение рН в процессе автолиза, увеличение дисперсности белковых молекул и образование гидрофильных соединений, например растворимых белков, приводит к повышению способности мышечной ткани связывать воду.

МИКРОФЛОРА СВЕЖЕЙ РЫБЫ И СПОСОБЫ СОХРАНЕНИЯ РЫБЫ

Состав микрофлоры свежей рыбы отличается большим постоянством. Результаты десяти исследовательских работ, выполненных в различных частях света, показывают, что микрофлора свежей морской рыбы всегда представлена родами *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* [229, 280, 281]. Кроме того, часто встречаются другие группы, в том числе *Proteus*, *Lactobacillus*.

Главными возбудителями гнилостного разложения при нулевых температурах хранения, по мнению авторов, являются бактерии родов *Achromobacter*, *Pseudomonas*, *Fluorescens* и виды рода *Flavobacterium*, обладающие протеолитической способностью и растущие при низких температурах.

Облигатные анаэробы обычно не находятся в слизи рыбы, но они были обнаружены Шеван в кишечнике морских рыб (тресковые). При хранении рыбы видовой состав микрофлоры не меняется. Первоначальная микрофлора обычно состоит из аэробов, тогда как анаэробы развиваются позднее, при разложении рыбы.

По исследованиям Н. Горовиц-Бласовой и других авторов, свежая рыба, не болевшая и не бывшая долго на снасти, имеет стерильные мышцы, так как кожа представляет собой хороший барьер против проникновения бактерий из внешней среды, а мышечная ткань живой рыбы, обладающая защитными свойствами, препятствует попаданию в нее микрофлоры из кишечника или из других тканей.

При длительном агональном периоде в неблагоприятных для жизни условиях мышечные ткани рыбы могут оказаться нестерильными.

По данным исследований, проведенных в Астрахани, в мышцах леща, судака, воibly сразу после смерти были обнаружены микроорганизмы, количество которых в среднем составляло 100 микробов в 1 г [100]; в свежей пикше обнаружено от 100 до 3200 бактерий в 1 г.

Источниками бактерий могут быть жабры, на которых найдено около 25 видов бактерий, а также кишечник с обитающей в нем разнообразной микрофлорой (*B. coli*, *B. fluorescens*, *Bac. putrificus* и т. д.), в некоторых случаях даже патогенной (*B. paratyphi*, *B. breslaui*, *S. enteritidis* и другими).

Многие виды микроорганизмов, встречающиеся в тканях рыбы, относятся к психротолерантной и даже к психрофильной микрофлоре. Некоторые виды развиваются при 0° и даже несколько ниже 0°.

По данным Центрального научно-исследовательского санитарного института им. Эрисмана, в кишечнике 5,4% живых осетровых, выловленных в Южном Каспии, была обнаружена *Bac. botulinus*, а в кишечнике уснувшей рыбы она встречается почти в три раза чаще (14%). Через 12 часов после смерти при температуре 13—26° эта бактерия проникает и в мышцы.

Сохранение качества и товарного вида свежей рыбы зависит от степени торможения ферментативных и бактериальных процессов.

У рыбы средней жирности и тощей (треска, судак, лещ и т. п.) протеолитические ферменты, очевидно, менее активны, чем у мелкой жирной рыбы (хамса, сардина и другие). Поэтому, при прочих равных условиях, менее жирная рыба дольше сохраняется в свежем виде. Например, охлажденный судак при температуре 0—2° не подвергается порче в течение 9—10 суток, лещ — 10—11, треска — 10—13, тогда как качество сардины, шпрота, хамсы через 2—2,5 дня снижается вследствие автолитического расслабления и размягчения тканей.

Слабое торможение бактериальных и ферментативных процессов, наряду с ухудшением товарного вида рыбы и низким коэффициентом использования тары и транспортных средств, является основным недостатком практикуемого способа охлаждения рыбы льдом.

Автором работы еще в 1938—1939 гг. был разработан способ охлаждения и хранения дальневосточной сардины в холодной морской воде, а в 1948—1950 гг. — способ охлаждения в холодной воде крупной частиковой рыбы и перевозки ее без льда или с уменьшенными дозировками льда.

Исследования по удлинению сроков сохранения свежей рыбы в настоящее время проводятся в двух основных направлениях: быстрое охлаждение рыбы до температуры, близкой к точке замерзания тканевых соков, т. е. до -1 , -2° и даже до -4° , и комбинированное применение охлаждения и консервирующих веществ.

Скорость охлаждения определяет скорость торможения автолитических и бактериальных процессов в рыбе, а глубина охлаждения определяет степень торможения деятельности ферментов и бактерий.

При температуре несколько ниже 0° жизнедеятельность бактерий угнетается значительно эффективнее, чем при температуре 0° [257]. Практически рыбу до температуры -1 и $-1,5^\circ$ охлаждают холодным рассолом [222, 223], холодной морской водой в комбинации с мелким льдом, изготовленным также из морской воды или холодным рассолом без контакта с рыбой, которую предварительно укладывают в металлическую тару. Хранят охлажденную рыбу при температуре воздуха от 0 до минус 2° .

Более эффективное торможение процессов порчи рыбы возможно при комбинированном применении пониженной температуры и физических агентов или химических консервантов.

Физическими агентами, обладающими способностью полностью или частично подавлять развитие микроорганизмов, являются ультразвук [195], ультрафиолетовые лучи [32, 212], токи ультравысокой частоты [157] и, наконец, так называемые ионизирующие излучения, т. е. α -, β -, γ -лучи и катодные лучи [71, 194, 242, 291, 298].

Многочисленные исследования последних лет, проведенные в ряде стран, показали, что γ -лучи и катодные, обладающие большой проникаемостью и высоким бактерицидным эффектом, могут найти широкое применение при хранении скоропортящихся продуктов.

Из консервирующих веществ экспериментально испытывались эфиры ванилиновой кислоты [241], смеси KJO_3 и глюкозы [239], бензойнокислый натрий, средство «Нипсид», нитрит натрия [303, 304], аскорбиновая кислота [305, 306, 307], гидроксилламин, пропионовокислый натрий [302], озон, перекись водорода, борная кислота, формалин, хлор, гипохлориты, сернистый газ, перекись водорода, углекислый газ, танин и ряд других. Эти вещества применяли в виде растворов, обрабатывая ими рыбу или вводя в лед, которым пересыпали продукты (антисептический лед). Кроме того, продукты хранили в атмосфере, содержащей газообразные и парообразные консерванты.

Большая часть исследованных консервирующих веществ замедляет развитие бактерий и удлиняет сроки сохранения рыбы, но ввиду своей вредности не может использоваться в пищевой промышленности. Некоторые из консервантов более или менее приемлемы (хлор, перекись водорода), но и они производят необратимые изменения в продуктах.

Наряду с этим имеется и ряд веществ, которые, обладая антисептическими свойствами, являются в то же время пищевыми, например, пчелиный мед. В. Солнцев сообщает, что в пчелином меду римляне перевозили мясо и дичь на большие расстояния с сохранением их естественного вкуса.

Академик Данилевский еще в 1911 г. предложил разделанную и промытую рыбу погружать на 10—60 мин. в раствор 1—4%-ной HCl , и затем хранить в растворе, содержащем 6—12% $NaCl$, 8—10% этилового спирта и 0,5—1% уксуснокислого натрия.

Кисло-солевую обработку рыбы в дальнейшем изучали многие ис-

следователи, установившие бактерицидное действие уксусно-солевых растворов.

Из органических кислот наиболее сильным стерилизующим действием обладают молочная кислота, лимонная и уксусная [155].

В Астраханском отделении ВНИРО определяли возможность применения в качестве консерванта водных растворов различных кислот с добавлением и без добавления поваренной соли; были проведены исследования по применению с этой целью уксусной кислоты [78, 80].

Д. А. Христуло успешно применял уксусную кислоту для сохранения свежего мяса при комнатной температуре [186, 187, 188]; положительные результаты дало применение комбинированной обработки чистиковой рыбы охлаждением и уксусной кислотой (в жидком и паробразном виде) [109, 110, 111, 112].

Для нежной жирной рыбы (сардины, хамсы) применение уксусной кислоты, как показывает опыт, не является эффективным, так как в них при температуре близкой к нулю в результате автолитических процессов товарная ценность рыбы снижается ранее, чем разовьются гнилостные процессы.

При обработке рыбы слабыми растворами уксусной кислоты внешний вид ее незначительно изменяется. Наружная поверхность рыбы приобретает матовый оттенок, концы жаберных лепестков становятся серыми и серо-коричневыми.

Бактерицидные свойства веществ, вырабатываемых растительными организмами, выявлены исследованиями Б. П. Токина и его учеников [177, 178]. Работами Ленинградского отделения ВНИРО [148] обнаружено бактериостатическое действие фитонцидов чеснока и лука на микрофлору, выделенную из балтийской кильки.

Последующими работами установлено, что фитонциды чеснока, хрена, горчицы оказывают некоторое стерилизующее действие на гнилостные микроорганизмы и способствуют удлинению сроков хранения свежей рыбы. Однако фитонциды, например, горчицы наряду с мощным угнетающим действием на поверхностную микрофлору не проникают внутрь тканей свежей рыбы, а также не тормозят действия протеолитических ферментов.

Фитонциды моркови, свеклы, томатов, чеснока, хрена, перца, корицы, горчицы и других овощей и специй в той или иной степени оказывают бактерицидное действие на микроорганизмы, усиливающееся у многих растений при нагревании [46, 149, 159, 173].

Бактерицидными свойствами обладают также вытяжки растительных соков бобовых растений в разведении 1 : 10 и 1 : 20 [91].

Фитонциды лука, хрена и синтетических горчичных масел оказывают тормозящее влияние на активность фосфорилазы животных тканей, пероксидазы, каталазы, сахаразы и других ферментов.

Положительные результаты при хранении рыбы обнаружены при применении антибиотиков субтилина, ауреомицина (тетрациклинов) [47, 297, 310].

Еще в начале XX века предлагали использовать углекислый газ для хранения мяса и овощей. С этой целью рекомендовали мясо натирать с поверхности поваренной солью, затем в закрытых сосудах подвергать многократному длительному (12—24 часа) действию углекислого газа при давлении 2—3 атм с последующим отсасыванием для уменьшения содержания воздуха.

По предложению других исследователей мясо и овощи после промывки водой должны быть высушены в атмосфере углекислого газа, причем вначале в резервуаре с продуктом создают давление углекислого газа в несколько атмосфер, затем газ откачивают, образуется вакуум, в результате влага с поверхностных слоев, как полагают авторы, выдавливается газом.

Предлагали также хранить продукты в углекислоте под давлением 2—5 атм, покрывая их дополнительно слоем жира.

Проведенными в ряде стран исследованиями установлено, что при охлаждении свежей рыбы во льду в атмосфере с содержанием 25—60% углекислого газа срок сохранения ее, по сравнению с хранением на воздухе, повышается в 2—2,5 раза. Однако внешний вид рыбы при этом изменяется, наблюдается побеление глаз, побурение жабр, потемнение крови [136, 294, 299].

Заслуживают внимания исследования по хранению свежей частиковой рыбы в атмосфере с различным содержанием углекислого газа и при различной температуре, проведенные Всесоюзным научно-исследовательским холодильным институтом [6], которым получены следующие результаты:

1) сроки сохранения свежего (дефростированного) судака в кусках в присутствии углекислого газа увеличиваются в 2—2,5 раза по сравнению с хранением на воздухе;

2) с повышением концентрации углекислого газа увеличивается эффективность консервирующего действия его;

3) при более низких температурах относительная длительность хранения в присутствии углекислого газа увеличивается;

4) при хранении целой рыбы в среде, содержащей углекислый газ, изменяется окраска жабр, причем наибольшее изменение наблюдается при концентрации CO_2 , равной 50%, и наименьшее — при 100% CO_2 .

МЕТОДИКА ПОСТАНОВКИ ОПЫТОВ

В Доно-Кубанской станции и на холодильниках Ростовского, Таганрогского, Керченского рыбозаводов были проведены исследования различных по ферментативной активности рыб. Изучали влияние различных концентраций углекислого газа на микрофлору, сохраняемость свежей рыбы, величину рН, содержание связанной воды и изменение азотистых веществ рыбы при ее хранении. Температурные условия хранения были близкими к 0° , а колебания температуры рыбы не превышали $\pm 0,3^\circ$.

Рыбу для опытов доставляли с ближайших ставных неводов или выбирали из прорези. С момента извлечения рыбы из воды до обработки проходило время от нескольких минут до нескольких часов.

Всю рыбу предварительно охлаждали дробленным льдом или в солевом растворе со льдом до температуры 0° . Затем контрольную рыбу укладывали в ящики с добавлением 15—20% мелкодробленого льда к весу рыбы.

Рыбу, предназначенную для хранения в углекислоте, помещали в металлические контейнеры или большие стеклянные сосуды с притертыми пробками с добавлением 15—20% льда или без него.

Газовоздушную смесь с содержанием 20, 40, 60, 80 и 100% CO_2 вводили в нижнюю часть сосудов или контейнеров до вытеснения имеющегося в них воздуха, после чего их герметично закрывали.

При хранении периодически определяли содержание углекислоты в сосудах и контейнерах, измеряли температуру рыбы, органолептически определяли качество ее, отбирали пробы для бактериологических и химических анализов. Сосуды и контейнеры после вскрытия вновь заполняли углекислым газом заданной концентрации.

У судака и леща на анализ отбирали мясо, у тюльки и хамсы — тушки (без внутренностей). Среднюю пробу измельчали в мясорубке, затем растирали в ступке.

Методики анализов применяли те же, что описаны ранее.

Нерастворимый азот определяли из навески методом экстракции.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Осенью 1953 г. было проведено два опыта хранения судака и леща. Уснувшую рыбу в целом виде (у некоторых экземпляров судака удаляли внутренности и жабры) охлаждали дробленным льдом до 0°, укладывали затем без льда в стеклянные, герметически закрывающиеся сосуды. Результаты этих опытов приведены в табл. 23.

Таблица 23

Качественные изменения судака и леща в процессе хранения в углекислом газе при температуре 0°

Начальное содержание CO ₂ в %	Срок сохранения рыбы в доброкачественном состоянии в сутках		Сроки появления показателей, снижающих качество рыбы, в сутках					
			ослабевшая консистенция мяса		дряблые внутренности		кисловатый запах в жабрах	
	лещ	судак	лещ	судак	лещ	судак	лещ	судак
0	9—11	10—11	10—11	11—12	11	12	10	11
20—30	13—14	13—15	13—15	14—15	15	14	16	16
50—70	14—15	15—16	14—16	16—17	16	16	17	18
100	11—13	11—13	10—12	11—13	12	12	19	20

Снижение качества рыбы при углекислотном хранении происходило прежде всего в результате действия протеолитических ферментов, расслаблявших мясо и внутренности рыбы, затем уже в результате бактериальных процессов появлялся неприятный запах в жабрах.

При концентрациях углекислоты ниже 50—70% размягчение тканей судака и леща было незначительным, но с дальнейшим повышением ее протеолитическое действие ферментов явно усиливалось. При 100%-ном содержании CO₂ протеолиз протекал настолько энергично, что качество рыбы снижалось из-за расслабления консистенции мяса почти так же быстро, как качество контрольных экземпляров в результате развития бактериальных процессов.

Рей и Шеван [281] также отмечают, что при хранении охлажденной рыбы в атмосфере с высоким содержанием углекислоты происходит размягчение тканей.

Гнилостные же процессы при повышении концентрации углекислого газа тормозились эффективнее: например, при 100% CO₂ посторонний (кисловатый) запах в жабрах появлялся лишь на 19—20 сутки хранения, т. е. заметно позднее, чем в других вариантах.

Повышенную по сравнению с контролем сохраняемость свежего судака и леща при углекислотном хранении по органолептическим показателям наблюдали при содержании углекислого газа от 20 до 50—70%.

Сроки сохраняемости рыбы при содержании в атмосфере 20—30% CO₂ увеличивались в 1,3—1,4 раза и при содержании 50—70% CO₂ — в 1,4—1,5 раза сравнительно с контролем. При 100%-ной концентрации CO₂ сроки сохранения рыбы увеличивались лишь на 1—2 дня.

У некоторых экземпляров при углекислотном хранении жабры приобретали буроватую окраску. Наибольшее изменение окраски наблюдали при концентрации углекислоты от 40 до 70%; при 20—30 и 100% CO₂ у большей части экземпляров цвет жабр был розово-красный и лишь у отдельных рыб — с побурением.

У леща, как опытного, так и контрольного, наблюдали покраснение поверхности тела, глаз, оснований брюшных и хвостового плавников, свойственное азозному лещу при хранении в охлажденном виде. Цвет мяса не менялся.

Таким образом, единственным изменением внешнего вида при углекислотном хранении свежих судака и леща является побурение жабр. У экземпляров судака с удаленными жабрами и внутренностями за весь срок хранения дефектов внешнего вида не обнаружено.

В первые дни опытного хранения охлажденной рыбы наблюдали выделение из нее небольшого количества жидкости. Вначале жидкость имела красный цвет, затем в контрольной рыбе и в опытной, хранившейся при средних концентрациях углекислоты, жидкость теряла прозрачность, бурела. При концентрации 20—30% и 100% CO₂ цвет жидкости изменялся незначительно. В контрольной рыбе жидкость выделялась непрерывно в течение всего срока хранения, тогда как в углекислотной атмосфере количество жидкости было меньшим; процесс шел медленно и через 7—8 суток прекратился (табл. 24).

Таблица 24

Выделение жидкости (в % от веса рыбы) из леща при хранении в углекислом газе

Начальное содержание CO ₂ в %	Способ хранения	Сроки хранения в сутках			Примечание
		7—8	11—12	14—16	
0	Со льдом	—	—	1—1,5	При хранении охлажденной рыбы со льдом в первые 11—12 суток наблюдалось незначительное увеличение веса
0	} Без льда	4,5—6,0	10—11	12—14	
20—30		3,5—4,0	3,6—4,0	4—5	
50—70		3,0—3,2	3,2—3,5	3,5—3,8	
100		2—2,5	3—3,2	3—3,5	

В полупромышленных опытах нами [110] осуществлено хранение на Ростовском рыбозаводе и перевозки из Ростова в Москву товарных партий охлажденных судака и леща в контейнерах в атмосфере, содержащей 20—60% и 100% CO₂, причем было отмечено более высокое качество рыбы, хранившейся в атмосфере углекислого газа.

По хранению тюльки проведено два опыта. Первый опыт поставлен в мае, когда нерест тюльки еще не начинался и упитанность ее была высокой. Второй опыт поставлен в июне, когда большая часть тюльки уже отнерестилась. Рыбу охлаждали до 0° (табл. 25).

Таблица 25

Качественные изменения тюльки при хранении в углекислом газе при температуре 0°

Начальное содержание CO ₂ в %	Срок хранения рыбы в доброкачественном состоянии в сутках	Сроки (в сутках) появления показателей, снижающих качество рыбы					
		покраснение жаберных крышек	ослабевшая консистенция	затхлый запах	гнилостный запах		
0	6—7	} 8—9	7—9	—	10—9		
20	10—11		} 11—13	} 14—18	—		
40	11—12				} 16—18	19—23	
60	11—12					} 19—18	—
80	12—13						19—26
100	12—13			19—18	22—26		

Примечание. Первый ряд цифр (по вертикали) — данные первого опыта, второй ряд — второго.

Контрольная рыба в первом опыте сохранилась без порчи 6 суток, во втором опыте — 7, однако к концу срока отмечены признаки некоторого окисления жировых веществ. Через 10 суток у тюльки обнаруживали гнилостный запах, ослабшую консистенцию, обильную слизь.

В углекислом газе тюлька оставалась доброкачественной соответственно 12—13 суток, гнилостный запах в ней появился лишь через 19—26 суток.

При высоких концентрациях углекислого газа тюлька сохраняется лучше, однако большой разницы в консервирующем действии между 20%-ной и 80—100%-ной углекислотой (считая по начальной концентрации) не обнаружено.

Внешний вид тюльки, находившейся в углекислом газе, не менялся, за исключением незначительного побурения жабр и помутнения глаз.

Снижение качества тюльки при хранении в присутствии углекислого газа происходит главным образом в результате ослабления и размягчения мышечной ткани, внутренностей, покраснения жаберных крышек, вызываемых автолизом. Гнилостная порча рыбы начинается значительно позже.

Из вышеизложенного следует, что сохраняемость свежей тюльки в углекислом газе увеличивается сравнительно с хранением на воздухе приблизительно в 1,4—1,8 раза.

Опыты с хамсой проводили (табл. 26) на Керченском рыбозаводе, рыбу доставляли из ставных неводов в стадии развивающегося посмертного окоченения. Размеры отдельных экземпляров колебались от 85 до 95 мм, при среднем весе 6,0—6,5 г. Температура рыбы во время опыта колебалась от —0,3 до 0°.

Заметных изменений в цвете жабр рыбок, хранившихся в углекислом газе, сравнительно с контрольными, не обнаружено. Он во всех образцах был темно-красным.

Таблица 26

Качественные изменения хамсы при хранении в углекислом газе

Начальное содержание CO ₂ в %	Максимальный срок сохранения рыбы в хорошем состоянии в сутках	Сроки появления (в сутках) показателей, снижающих качество рыбы	
		ослабление консистенции	порочащий запах
0	3—4	3—3,5	Появился через 8 суток
20	3,5—4		
40			
60			
80			
100			Через 8 суток запах нормальный

Примечание. Первый ряд цифр (по вертикали) — данные первого опыта, второй ряд — второго.

Из табл. 26 видно, что консервирующие свойства углекислого газа при хранении свежей хамсы не проявляются, так как быстро протекающий, даже при пониженной температуре, автолиз вызывает ослабление и размягчение тканей и потерю товарных свойств рыбы. Гнилостное разложение наступает значительно позднее.

Изменение микрофлоры

В первом и втором опытах хранения свежей частичковой рыбы проведены исследования мышц и внутренностей леща для выяснения степени обсемененности их микрофлорой.

Для анализа стерильно брали среднюю пробу из двух рыб и растирали ее с двукратным объемом физиологического раствора.

Микроорганизмы, обсеменяющие охлажденную рыбу, в присутствии углекислого газа угнетаются сильнее, чем на воздухе, что подтверждают результаты опытной перевозки охлажденного судака из Азова в Москву.

Анализы, сделанные санитарно-бактериологической лабораторией Кировского района г. Москвы, показали меньшую обсемененность микроорганизмами рыбы, перевезившейся в атмосфере углекислого газа, по сравнению с контрольными экземплярами (табл. 27).

Таблица 27

Обсемененность микроорганизмами охлажденного судака после перевозки его из Азова в Москву

Способ хранения	Обсемененность (количество клеток в 1 г рыбы)			
	поверхность	жабры	внутренности	мясо
Контроль (со льдом без CO ₂)	Сплошной рост	810 000	2 800 000	2 000 000
Со льдом и 15 — 20% CO ₂	1 200 000	450 000	700 000	60 000

Изменение рН и связанной воды

У контрольных образцов тюльки рН водной вытяжки вначале заметно снижается с 7—7,2 до 6,7. Это соответствует повышению кислотности тканей рыбы в процессе посмертного окоченения. Качество рыбы в этот период высокое. С развитием автолитических и в дальнейшем бактериальных процессов и образованием щелочных продуктов распада белков через 6—7 суток рН достигает начального значения и продолжает повышаться. Среда становится щелочной и при рН 7,4—7,5 (через 9—10 суток) рыба оказывается испорченной (рис. 25).

Значения рН тюльки, хранившейся в среде углекислого газа, имеют совершенно другой характер, специфичный для хранения рыбы в углекислоте. Величина рН при всех концентрациях углекислоты после незначительного снижения в начале опыта остается приблизительно постоянной во все время хранения. Небольшое повышение рН при концентрации углекислоты, равной 20%, наблюдали лишь в период начала бактериальной порчи рыбы (к 15—16 суткам хранения). При более высоком содержании углекислоты рН остается постоянным и гнилостная порча не обнаруживается в течение 18 суток.

Значение рН водной вытяжки мяса хамсы, хранившейся на воздухе и с углекислотой, не имеет больших различий; во всех вариантах хра-

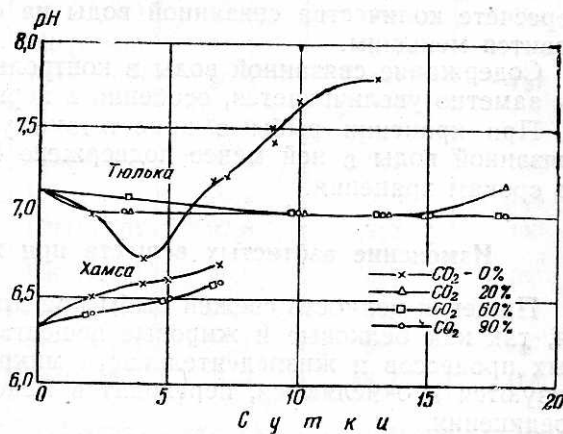


Рис. 25. Изменение величины рН в мышечных тканях тюльки и хамсы при хранении в охлажденном виде.

нения наблюдается небольшая тенденция к повышению его. Эти результаты можно объяснить тем, что вследствие высокой интенсивности автолиза в мясе хамсы образуется большое количество продуктов гидролиза белка, усредняющих реакцию и изменяющих буферную емкость среды. Поэтому увеличенная буферность мяса хамсы, хранившейся в углекислоте, по сравнению с буферностью мяса контрольных рыбок, характеризуется лишь несколько замедленным темпом роста pH опытной рыбы.

Результаты определений связанной воды в мясе тюльки и хамсы представлены на рис. 26.

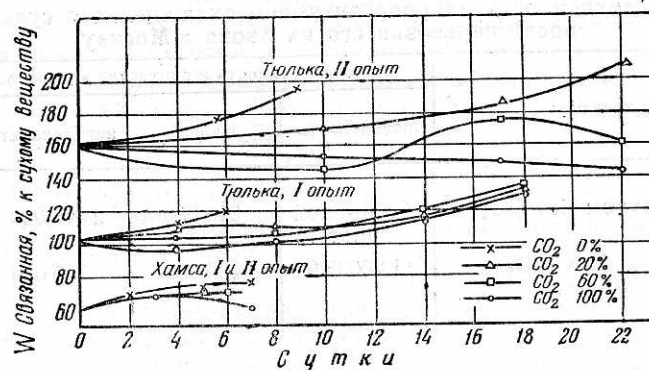


Рис. 26. Изменение содержания связанной воды в мышечных тканях тюльки и хамсы при хранении в охлажденном виде:

I опыт — до нереста; II опыт — после нереста.

У тюльки сухое вещество связывает больше воды, чем у хамсы. При пересчете количества связанной воды на сырой протеин различие становится меньшим.

Содержание связанной воды в контрольных образцах тюльки и хамсы заметно увеличивается, особенно в первые дни хранения.

При хранении рыбы в присутствии углекислого газа содержание связанной воды в ней менее подвержено колебаниям, более однородно по срокам хранения.

Изменение азотистых веществ при хранении свежей рыбы

Пищевая ценность свежей рыбы при длительном хранении изменяется, так как белковые и жировые вещества в результате ферментативных процессов и жизнедеятельности микроорганизмов частично гидролизуются и окисляются, переходят в менее ценные в пищевом смысле соединения.

По данным М. Д. Ильина [67, 68], в мясе некоторых свежих рыб белковый азот составляет от 80,8 до 84,8% от общего азота. По нашим определениям, в свежей сардине белковый азот составляет от 83,6 до 93% от общего азота.

Сводка по содержанию общего, белкового и небелкового азота для некоторых видов рыб приводится К. Шьюэном [193].

Доля небелкового азота в процентах от общего азота у акулы и ската составляет 33—38,6%, трески и пикши — 12,7—14,3%, камбаловых — 9,7—13,3%, сельди, сардины, салаки — 13,1—18,3%, скумбрии — 12,5%, ставриды — 11,2%.

Содержание общего азота и доля белкового азота изменяется даже в пределах одного вида в зависимости от возраста, пола, времени года.

С целью уточнения количественных изменений азотистых веществ в свежей рыбе при хранении в углекислом газе мы провели определения общего, белкового, небелкового, остаточного азота и некоторых других форм его.

При анализе леща среднюю пробу брали из мышечной ткани трех экземпляров, тюльку и хамсу разделявали на тушки (вес пробы 300—350 г).

Качественная характеристика, химический состав, а также условия хранения охлажденной рыбы в первом и втором опытах близки между собой, поэтому величина и характер изменений форм азота в обоих опытах также довольно близки.

Результаты анализов приводятся в табл. 28.

Таблица 28

Изменение различных форм азота в мышечной ткани свежего леща при хранении в углекислом газе

Содержание CO ₂ в %	Время хранения в сутках	Содержание сухих веществ в %	Содержание азота в % к общему азоту			
			общий	белковый	небелковый (остаточный)	аминный (мг %)
0 (без льда)	0	19,89	100 (14,27)	91,9	8,1	165
	7	20,45	100 (13,79)	90,8	9,2	142
	12	19,86	100 (14,50)	90,6	9,4	148
	16	19,72	100 (14,15)	88,5	11,5	165
0 (со льдом)	0	19,89	100 (14,27)	91,9	8,1	165
	7	20,48	100 (13,47)	91,7	8,3	156
	12	19,11	100 (14,34)	89,8	10,2	128
20	0	19,89	100 (14,27)	91,9	8,1	165
	8	20,79	100 (13,75)	92,2	7,8	161
	13	21,25	100 (14,30)	91,1	8,9	161
70	17	20,26	100 (13,92)	90,3	9,7	187
	0	19,89	100 (14,27)	91,9	8,1	165
	8	21,10	100 (14,2)	96,9	3,1	168
100	13	20,90	100 (14,08)	90,2	9,8	149
	17	20,76	100 (14,08)	92,8	7,2	140
	0	19,89	100 (14,27)	91,9	8,1	165
100	7	20,27	100 (13,86)	93,4	6,6	157
	12	20,09	100 (14,28)	90,7	9,3	147
	16	19,46	100 (15,62)	91,3	8,7	154

Примечание. В графе „общий азот“ в скобках даны величины содержания общего азота в процентах к сухому веществу.

Наиболее показательными формами азота, указывающими на изменения, происшедшие в белках рыбы, и характеризующими глубину их распада, являются небелковый и аминный азот.

В содержании общего азота, взятого по отношению к сухому веществу, не обнаружено закономерных изменений. Белковый азот в свежем леще (до хранения) составляет приблизительно 91,9% к общему.

В контрольной рыбе, хранившейся без льда, заметное возрастание небелкового азота наблюдается лишь после 12 суток хранения.

Изменения в содержании небелкового азота во всех образцах опытной рыбы незначительны. Количество аминного азота в контрольной

рыбе снижается лишь при хранении ее со льдом, что можно объяснить экстракцией его водой тающего льда.

В опытной рыбе при концентрации углекислого газа, равной 20%, отмечается небольшое увеличение содержания аминного азота, а при более высоких концентрациях — незначительное уменьшение по сравнению с первоначальной величиной.

Во избежание ошибки при заключении о характере изменений белковых веществ в опытной рыбе следует рассмотреть результаты анализов форм азота в жидкости, выделяющейся из рыбы (табл. 29).

Таблица 29

Изменение форм азота в жидкости, выделившейся из свежего леща при хранении его в углекислом газе

Содержание CO ₂ в %	Время хранения в сутках	Количество выделившейся жидкости в % к весу рыбы	Содержание сухих веществ в %	Содержание форм азота в % к общему азоту			
				общий	белковый	небелковый (остаточный)	аминный (мг %)
0	7	4,5 - 6	3,97	100 (7,8)	83,5	16,5	61,5
	12	10—11	5,64	100 (8,1)	76,5	23,5	63,0
	16	12—14	5,87	100 (6,1)	55,8	44,2	30,7
20	17	5	4,76	100 (4,62)	81,8	18,2	136,0
70	8	2—3	3,51	100 (9,1)	87,7	12,3	62,5
	17	3,8	6,24	100 (8,7)	65,1	34,9	119,0
100	7	2,5	4,53	100 (8,17)	73,1	26,9	140,0
	16	4	5,94	100 (5,22)	41,3	58,7	320,0

Примечание. В графе „общий азот“ в скобках даны величины содержания общего азота в процентах к сухому веществу.

Количество плотных веществ жидкости, главным образом белков и продуктов их распада, с увеличением продолжительности хранения повышается во всех пробах.

Увеличение небелкового азота наблюдается во всех образцах. В жидкости, выделившейся из контрольной рыбы, хранившейся без льда, содержание небелкового азота через 16 суток хранения превышает почти в 3 раза содержание его при анализе через 7 суток.

Наибольшее количество небелкового азота (более половины всего азота) обнаружено в жидкости, выделившейся из рыбы, хранившейся в 100% CO₂.

Содержание аминного азота во всех образцах жидкости, выделившейся из опытной рыбы увеличивается по мере увеличения сроков хранения и превышает количество его в жидкости, образовавшейся из контрольной рыбы. Наибольшее содержание аминного азота обнаружено в жидкости, выделившейся из рыбы в атмосфере 100% CO₂.

Из вышеизложенного следует, что при хранении охлажденной рыбы в результате автолитических и бактериальных процессов белковые вещества через 8—12 суток частично гидролизуются с образованием преимущественно соединений, растворимых в воде. В результате изменяющейся при этом структуры тканей из рыбы выделяется жидкость, содержащая некоторую часть белков и значительную часть растворимых продуктов их распада.

Аналогичные изменения происходят с белковыми веществами тюльки и хамсы. Содержание белкового азота в мясе тюльки уменьшается от 90,0% в начале хранения до 84,6% через 5 суток и до 81,7% через 9 суток хранения, в хамсе содержание его уменьшается с 86,01% до 80,4% через 5 суток и до 79,5% — через 7 суток хранения.

У хамсы изменение белковых веществ происходит интенсивнее, а у леща медленнее, чем у тюльки.

С удлинением срока хранения свежей рыбы происходит увеличение потерь общего и белкового азота. Уменьшение общего азота происходит в основном за счет небелкового азота, образовавшегося от распада белка. Небелковый азот экстрагируется талой водой или выделяющимися из рыбы в небольшом количестве соками.

При хранении свежей рыбы в атмосфере от 20 до 100% CO_2 тормозится жизнедеятельность микроорганизмов, но стимулируется ферментативный гидролиз белковых веществ, причем скорость гидролиза, незначительная при содержании 20% CO_2 , усиливается с повышением концентрации газа и при 100%-ной концентрации имеет наибольшее значение.

Количество белкового азота в тюлке, хранившейся в среде с содержанием 20, 40 и 60% CO_2 , через 5—6 суток от начала хранения составляет соответственно 88,7, 86,0 и 82,9%, а при 100%-ной концентрации CO_2 через 7 суток оно составляет только 74,6%.

Наименьшее изменение белковых веществ мяса тюльки и леща при продолжительном хранении происходит в среде с содержанием углекислого газа в пределах от 20 до 50—70%. Относительная стабильность рН и постоянство содержания связанной воды в мышечной ткани тюльки, хранившейся при этих концентрациях, подтверждают это заключение.

Выводы

1. Самопроизвольное тепловыделение, наблюдаемое в тканях исследованных рыб в процессе посмертного окоченения, составляет от 0,76 до 0,83 ккал/кг; в стадии развивающейся гнилостной порчи в адиабатических условиях хранения температура рыбы повышается приблизительно на $0,1^\circ$ в час.

2. Содержание связанной воды в тканях свежего судака при хранении изменяется в прямом соответствии с изменением величины рН.

3. Установлена определенная взаимосвязь между активностью мышечных протеиназ рыбы и ее технологическими свойствами (сохраняемостью в свежем виде). Сроки сохранения свежей рыбы в доброкачественном состоянии находятся в обратной зависимости от активности мышечных протеиназ. Чем активнее мышечные протеиназы рыбы, тем быстрее наступает и проходит автолиз, тем быстрее размятчаются ткани ее и появляются другие признаки снижения товарных качеств.

По возрастающей степени активности мышечных протеиназ исследованные рыбы можно расположить в такой последовательности: лещ (и судак) → тюлька → хамса. В такой же последовательности уменьшаются сроки сохранения этих рыб в свежем виде.

4. Углекислый газ, стимулирующий активность мышечных протеиназ рыбы, совершенно не пригоден для хранения свежих рыб, обладающих высокоактивными протеолитическими ферментами, как например хамсы, но может найти применение для сохранения рыб с малоактивным ферментативным комплексом, например, леща, судака, трески и др.

Оптимальными газовоздушными смесями, обладающими достаточным консервирующим действием и в наименьшей степени стимулирующими активность мышечных протеиназ, являются смеси с содержанием от 20 до 70% CO_2 (не выше). Сроки сохранения охлажденной рыбы в этих условиях повышаются в 1,5—1,6 раза.

5. При хранении свежей рыбы в атмосфере углекислого газа нужно учитывать изменения внешнего вида рыбы (побурение жабр и т. п.). Возможно хранение разделанной рыбы или с удаленными жабрами (например, трески на траулерах).

6. Длительное хранение любой свежей рыбы в атмосфере с высоким содержанием углекислого газа (90—100%) может найти применение в тех случаях, когда предполагается использовать ее для последующего приготовления, например, гидролизатов, кормовой муки и т. п.

ОПЫТЫ ХРАНЕНИЯ КОПЧЕНОЙ РЫБЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И СУХОГО ЛЬДА

ВЛИЯНИЕ КОПЧЕНИЯ НА ТКАНИ И МИКРОФЛОРУ РЫБЫ

Горячим копчением обрабатывают свежую или мороженую рыбу, которую после подсаливания и промывки подвергают термической обработке, подсушивают, проваривают и одновременно, в той или иной степени, пропитывают древесным дымом.

Температура дымовых газов достигает 110—170°, а внутри рыбы она доходит до 80—90°. Длительность копчения, в зависимости от вида рыбы, составляет от 1 до 4 часов.

Древесный дым представляет собой смесь продуктов разложения древесины при неполном сгорании и состоит из паров воды, газов и мельчайших твердых частиц. В составе дыма обнаружены формальдегиды, высшие альдегиды, кетоны, муравьиная, уксусная кислоты, вода, спирты и смолы [275].

При копчении рыбы основная масса веществ, составляющих дым, оседает на поверхности рыбы, незначительная часть их, растворимая в воде или жире, например фенолы, проникает в ткани рыбы, в количествах десятых долей грамма на килограмм сухого вещества [39].

Различные структурные элементы рыбы по-разному реагируют на воздействие соли и тепла при копчении. Кожа при посоле обезвоживается, затем при подсушивании уплотняется. Эпидермис непрочен и обычно в результате автолиза и посола отпадает до начала копчения. Сарколемма очень стойка по отношению к температуре и лишь уплотняется. Коллаген межклеточного вещества септ и перемизиума от воздействия температуры переходит в глютин. Белковая оболочка клеток жировой ткани разрывается, и вытекший жир образует гомогенную массу.

Кожа при горячем копчении уплотняется только с поверхности, в нижних дермальных слоях набухает и отслаивается в подкожной клетчатке от мышечной массы рыбы. Белки мышечной ткани коагулируют. Подкожная клетчатка, септы и перемизиум полностью желатинизируются. При этом глютин вместе с жирами мигрирует в новые участки ткани [15].

Сравнение гистологической структуры срезов мышечной ткани салаки до и после горячего копчения проведено Ленинградским отделением ВНИРО [88]. Срез мышечной ткани свежей салаки имеет ровную плотную поверхность. Составные части ткани распределены равномерно, отдельные мышечные волокна вплотную прилегают друг к другу. Ядра и поперечно-полосатая исчерченность хорошо видны.

Мышечная ткань копченой салаки неплотная, разрыхленная. При копчении происходит частичное набухание и изменение соединительнотканых прослоек, связывающих отдельные волокна в пучки. Мышечная ткань после копчения при разрезе распадается на отдельные волокна. Межмышечные промежутки увеличиваются, ядра и поперечно-полосатая исчерченность сохраняются.