

Изменения биохимических свойств молоди атлантического лосося при замораживании и хранении при низких температурах

Л.А. Похольченко

Биологический факультет МГТУ, кафедра биохимии

Аннотация. Целью работы является систематизированный анализ динамики химического состава мышечной ткани молоди атлантического лосося в процессе хранения при низких температурах (-28°C) в течение 6 месяцев. В статье представлены данные по сравнительному анализу химического состава молоди атлантического лосося, дикой и выращенной в условиях искусственного воспроизводства.

Abstract. The aim of the work is the systematic analysis of dynamics of muscular tissue chemical content of young generation *Salmo salar* during storage under low temperatures (-28°C). The data on comparative analysis of the chemical content of young *Salmo salar* have been presented in the paper.

1. Введение

Хранение мороженой рыбы при низкой температуре позволяет замедлить или прекратить посмертные автолитические и бактериальные процессы и в значительной степени сохранить свойства, присущие свежей рыбе.

При хранении мороженой рыбы в тканях её тела развиваются физико-химические процессы, в результате которых с поверхности тела испаряется влага, увеличиваются размеры кристаллов льда при одновременном уменьшении их количества в межклеточном пространстве. Все эти изменения усиливаются при колебаниях температуры во время хранения.

Присутствие на поверхности мороженой рыбы бактерий в стадии анабиоза, а также микроорганизмов, развивающихся при отрицательных температурах, предопределяет возможность развития биохимических процессов, затрагивающих протеины и липиды. Во время длительного хранения мороженой рыбы возможна адаптация ферментов и микроорганизмов к низким температурам, что облегчает развитие протеолитических процессов, сопровождающихся накоплением в мясе свободных аминокислот и азотистых оснований.

2. Теоретические сведения

При стабильной низкой температуре во время хранения биохимические процессы в тканях мороженой рыбы развиваются медленно. Однако при колебаниях температуры во время хранения и высокой относительной влажности воздуха биохимические процессы могут возникать и развиваться довольно интенсивно, ускоряя процесс "старения" мяса мороженой рыбы за счёт накопления продуктов ферментативного расщепления белков и глицеридов. Особенно ускоряется процесс старения мяса мороженой рыбы (в частности, молоди атлантического лосося), когда она заморожена без удаления внутренностей. В этом случае присутствие комплекса активных пищеварительных ферментов и обильного количества микроорганизмов в кишечнике значительно ускоряет накопление продуктов протеолиза (Бостылев, Рябошапка, 1982).

Устойчивы к действию низких температур тканевые и пищеварительные липазы, вызывающие гидролиз глицеридов, поэтому даже при температурах $-10-15^{\circ}\text{C}$ в тканях мороженой рыбы происходит гидролиз липидов, в результате чего их кислотное число увеличивается.

Под действием кислорода воздуха липиды мороженой рыбы окисляются. В процессе окисления жира могут принимать участие окислительные ферменты, присутствующие в клетках плесневых грибов, но основную роль играет кислород воздуха.

При замораживании происходит денатурация белков, в результате которой наблюдаются необратимые изменения структуры белковых молекул и коллоидной структуры мяса рыбы, ухудшается способность мяса удерживать влагу при размораживании и появляется его сухость. Степень денатурации зависит от температуры и продолжительности хранения мороженой рыбы: с повышением температуры и увеличением продолжительности хранения количество денатурированного белка увеличивается. При этом наибольшая денатурация белка происходит в первоначальный после замораживания период хранения рыбы. Для достижения максимальной технологической обратимости необходимо быстрее проходить при замораживании температурную зону $-1 \div -5^{\circ}\text{C}$. При холодильной обработке наибольшим

превращениям подвергаются миофибриллярные белки, саркоплазматическая фракция белков является более стойкой к холодильному воздействию. Поскольку миофибриллярные белки наиболее подвержены действию холода и составляют наибольшую часть белков мышц, ухудшение свойств мяса рыбы при холодильной обработке относят за счёт превращения актомиозинового комплекса (нарастание жёсткости мяса у мороженой рыбы совпадает с понижением растворимости актомиозина) (Никитин, 1978).

Дегидратация молекул белков в результате замораживания является следствием миграции воды из гидратной оболочки молекулы белка и образования кристаллов льда, в результате чего разрушаются системы водородных связей и освобождаются поверхностные части молекул, как гидрофобные, так и гидрофильные, что делает их незащищёнными и уязвимыми.

Одной из основных причин денатурации мышечных белков при холодильной обработке рыбы считалось увеличение концентрации соли в тканевом растворе при замораживании. Влияние увеличения концентрации соли на денатурацию и агрегацию белков может основываться на взаимосвязи второстепенных сил взаимодействия (Ван-Дер-Ваальса, водородных, гидрофобных), которые способствуют стабилизации третичной и четвертичной конфигурации белковых макромолекул.

В результате замораживания и холодильного хранения внутриклеточная жидкость перемещается в межклеточные пространства, вследствие чего происходит дегидратация миофибрилл, способная вызывать денатурацию белков, которая сопровождается агрегацией молекул миозина или актомиозина в миофибриллах. Предотвращение дегидратации миофибрилл является одним из эффективных методов предупреждения денатурации актомиозина мышц.

Гидролиз тканевых липидов является фактором, влияющим на денатурацию мышечных белков во время холодильного хранения рыбы. Образующиеся в результате гидролиза липидов ненасыщенные жирные кислоты взаимодействуют с миофибриллярными белками и образуют нерастворимые белково-липидные комплексы. Под влиянием продуктов окисления липидов отмечается потеря таких аминокислот, как лизин, гистидин и метионин, а также разрушение пигментированных белков – цитохрома С и гемоглобина. Образование некоторых белково-липидных комплексов ведёт к покоричневению тканей рыбы.

В процессе холодильного хранения мороженой рыбы при температуре -20°C полиненасыщенные жирные кислоты окисляются быстрее, чем мононенасыщенные, вызывая образование различных продуктов окисления, включая пропанол, пентанол, гексанол (Никитин, 1978).

Во время замораживания рыбы происходит распад гликогена, креатинфосфата и АТФ, причём эти процессы имеют наибольшую скорость при температурах минус $1,7-2^{\circ}\text{C}$, т.е. в зоне максимального кристаллообразования. При медленном замораживании распад идёт полнее, а при быстром замораживании, когда температура тела очень быстро достигает минус 2°C , гликоген, креатинфосфат и АТФ сохраняются полнее. При распаде АТФ образуется АДФ, АМФ и, в конечном счёте, инозиновая кислота. Наряду с распадом АТФ во время замораживания снижается значение рН тканей, уменьшается растворимость актомиозина и снижается водоудерживающая способность белков. Результаты этих процессов проявляются после дефростации замороженной рыбы (Бостылев, Рябошапко, 1982).

При исследованиях мяса дефростированной рыбы установлено, что наиболее значительный распад АТФ (95-98 % исходного содержания), снижение рН (на 0,5-0,8 единицы) и увеличение потерь сока (в 3,5-4,6 раза больше, чем до замораживания) наблюдается в тех случаях, когда замораживают рыбу в состоянии до завершения стадии посмертного очоенения. После дефростации рыбы, мороженой после завершения стадии посмертного очоенения, рН тканей снижается значительно меньше (не более чем на 0,3 единицы), а потери сока возрастают всего в 1,5-2 раза по сравнению с не замороженным мясом (Бостылев, Рябошапко, 1982).

Охлаждение тела рыбы до температуры ниже точки замерзания протоплазмы ведёт к прекращению активной деятельности тканевых ферментов, а также жизнедеятельности всех мезофильных и многих видов психрофильных микроорганизмов. Наиболее устойчивы к действию низких температур плесени. Известно несколько десятков видов микроорганизмов, которые могут размножаться при отрицательных температурах (кокки, беспоровые палочки, дрожжи, плесени). На мороженой рыбе при температуре минус $4-6^{\circ}\text{C}$ обычно растут ахромобактер и псевдомонас (*Pseudomonas*) и в меньших количествах – флавобактер, аэробактер и несколько видов микрококков. При температуре минус $8-10^{\circ}\text{C}$ активно развивается несколько видов плесневых грибов, и в частности мукор (*Mucor*), аспергиллус (*Aspergillus*), пенициллум (*Penicillium*). Плазма *Penicillium* замерзает при температуре $-12-15^{\circ}\text{C}$, поэтому развитие плесеней на мороженых продуктах, хранящихся при температуре ниже -15°C , не происходит. Протеолитические процессы в тканях замороженного сырья водного происхождения развиваются очень медленно. Так, уже при 0°C активность протеолитических ферментов уменьшается в 3-4 раза по сравнению с активностью при температуре $15-18^{\circ}\text{C}$, при минус 3°C – в 6-8 раз, а при минус $8-10^{\circ}\text{C}$ – в 10-12 раз (Быкова, Белова, 1986).

Физические изменения в мороженой рыбе сводятся к усушке, перекристаллизации льда, изменению гистологической структуры тканей, изменению цвета кожного покрова и мяса рыбы. Во время хранения рыбы, особенно при повышенных температурах (выше -18°C), часть воды в мясе рыбы находится в жидком состоянии. Эта вода испаряется из тканей рыбы, а лёд сублимируется. В результате этого масса рыбы уменьшается и происходит усушка. Степень усушки мороженой рыбы зависит от вида рыбы, температуры хранения, влажности воздуха в камере, способа упаковки и наличия глазури на поверхности рыбы. В среднем усушка при хранении рыбы составляет 0,1-0,4 % в месяц (Быкова, Белова, 1986).

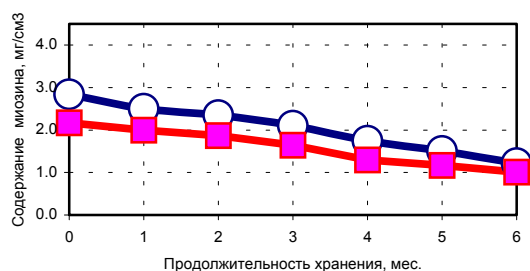
Для сохранения качества мороженой рыбы, замедления процессов окисления жира и испарения влаги с её поверхности применяют глазирование рыбы, а также антиокислители, и поддерживают в камерах хранения оптимальный температурно-влажностный режим (Родин, 1977).

3. Исследования динамики химического состава мышечной ткани молоди атлантического лосося в процессе хранения при низких температурах

В лабораториях кафедры биохимии МГТУ были проведены систематические исследования состояния мышечной ткани лосося атлантического в процессе хранения в течение 6 месяцев при низких температурах.

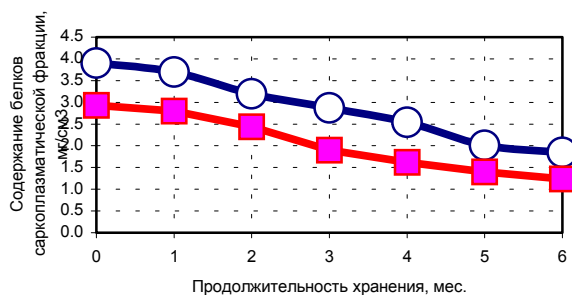
Объектами исследования стали молодь атлантического лосося, дикая и выращенная в условиях искусственного воспроизводства, одинакового возраста (2 года). В соответствии с госстандартом готовились образцы мышечной ткани, которые помещались в морозильную камеру при -28°C . Анализ образцов проводился в течение 6 месяцев.

Были проведены серии исследований по изучению изменения количества белков (миозин, альбумин, глобулин) в тканях молоди лосося в ходе их хранения в замороженном виде. В процессе хранения содержание белков в мышечной ткани уменьшается (рис. 1, 2). Содержание белков в мышечной ткани дикой молоди значительно превышает содержание данных веществ в заводской. Это говорит, по-видимому, о различиях в питании, условиях обитания и содержания.



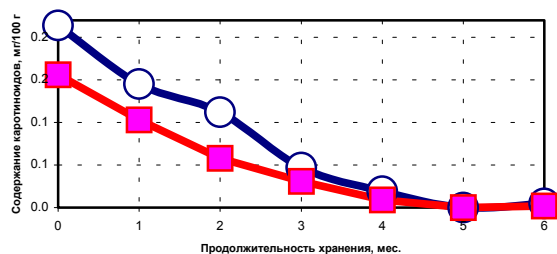
—●— молодь дикой семги —■— молодь заводской семги

Рис. 1. Зависимость содержания миозина в мышечной ткани рыбы от продолжительности хранения в замороженном виде



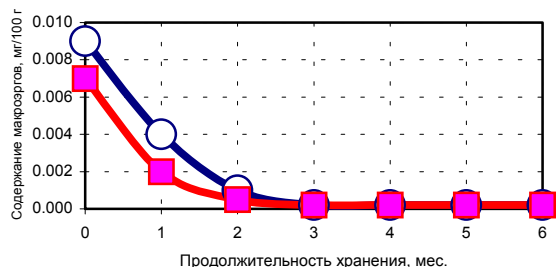
—●— молодь дикой семги —■— молодь заводской семги

Рис. 2. Зависимость содержания белков саркоплазматической фракции в мышечной ткани рыбы от продолжительности хранения в замороженном виде



—●— молодь дикой семги —■— молодь заводской семги

Рис. 3. Зависимость содержания каротиноидов в мышечной ткани рыбы от продолжительности хранения в замороженном виде



—●— молодь дикой семги —■— молодь заводской семги

Рис. 4. Зависимость содержания макроэргов в мышечной ткани рыбы от продолжительности хранения в замороженном виде

Определение количества белка проводили фотоколориметрическим методом Лоури.

Были проведены серии исследований по изучению изменения количества каротиноидов в тканях молоди лосося в ходе их хранения в замороженном виде. В процессе хранения содержание каротиноидов в мышечной ткани уменьшается (рис. 3). Содержание каротиноидов в мышечной ткани дикой молоди значительно превышает содержание данных веществ в заводской.

Для проведения анализов по определению содержания каротиноидов использовали спектрофотометрический метод.

Также были проведены серии исследований по изучению изменения количества макроэргов (АТФ и креатинфосфат) в тканях молоди лосося в ходе их хранения в замороженном виде. В процессе хранения молоди семги содержание макроэргов в мышечной ткани уменьшается (рис. 4). Содержание макроэргов в мышечной ткани дикой молоди значительно превышает содержание данных веществ в заводской.

Для определения содержания макроэргов (АТФ) использовали колориметрический метод.

4. Заключение

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- проведенные опыты показали, что содержание белковых фракций (миозин, альбумин, глобулин), макроэргов (АТФ и креатинфосфата) и концентрация каротиноидов в мышечной ткани дикой молоди атлантического лосося в процессе хранения при низких температурах уменьшается;
- результаты экспериментов с мышечной тканью заводской молоди семги показали статистически достоверное уменьшение содержания белковых фракций (миозин, альбумин, глобулин), макроэргов (АТФ и креатинфосфата) и концентрации каротиноидов в процессе хранения при низких температурах;
- за период 6-месячного хранения при низкой температуре происходит уменьшение содержания миозина, альбумина, глобулина в мышечной ткани молоди атлантического лосося. Причиной уменьшения содержания белковых фракций является распад белков под действием протеолитических ферментов. В процессе хранения при низких температурах наблюдается значительное снижение количества каротиноидов и макроэргов (АТФ и креатин фосфата) в мышечной ткани молоди;
- содержание миозина, альбумина, глобулина, концентрация каротиноидов и макроэргов (АТФ и креатинфосфата) в мышечной ткани дикой молоди семги выше, чем содержание тех же соединений в мышечной ткани заводской молоди, что соответствует литературным данным. С увеличением срока хранения при низких температурах уменьшается содержание исследованных в данной работе веществ как у дикой, так и у заводской молоди атлантического лосося.

Литература

- Быкова В.М., Белова З.И.** Справочник по холодильной обработке рыбы. М., *Агропромиздат*, 208 с., 1986.
- Бостылев Э.Ф., Рябошапко А.П.** Биохимия сырья водного происхождения. М., *Легкая пищевая промышленность*, 144 с., 1982.
- Никитин Б.П.** Хранение рыбы и рыбных продуктов. М., *Пищевая промышленность*, 176 с., 1978.
- Родин Е.М.** Справочник по холодильной обработке рыбы. М., *Пищевая промышленность*, 200 с., 1977.