

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ГИДРОБИОНТОВ

УДК 664.951.014

О.П. Дворянинова, Л.В. Антипова, А.В. Соколов*Воронежский государственный университет инженерных технологий,
394036, г. Воронеж, просп. Революции, 19**БИОХИМИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ
В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ ПРУДОВЫХ РЫБ
В ПРОЦЕССЕ АВТОЛИТИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ**

Рассмотрены физико-химические процессы, протекающие главным образом в мышечном волокне прудовых рыб. Установлено, что главную роль в мышечном сокращении играют миофибриллы, которые из веществ, входящих в состав саркоплазмы, используют необходимую энергию для выполнения своих функций. Проведенные исследования позволили установить, что интенсивный распад мышечного гликогена приводит к резкому снижению величины рН мышечной ткани в кислую сторону, что в свою очередь сказывается на химическом составе и физико-коллоидной структуре белков. Доказано, что затверждение мышечной ткани наблюдается в первые часы хранения и обусловлено образованием из белков актина и миозина нерастворимого актомиозинового комплекса. Наивысший уровень содержания актомиозина отмечался в первые 3–5 ч, что свидетельствует о разной скорости протекающих биохимических процессов и связано с уровнем активности ферментных систем. Максимум накопления актомиозинового комплекса приходится на 8 ч хранения для всех исследуемых видов рыб. Отмечено, что в процессе созревания мяса происходит существенное улучшение органолептических и технологических характеристик. На ранних стадиях автолиза мясо не имеет выраженного вкуса и запаха, которые в зависимости от температуры хранения появляются лишь на 3–4-е сут в связи с образованием продуктов ферментативного распада белков и пептидов, нуклеотидов, углеводов, липидов и др. Полученные теоретические данные позволили создать систему рекомендаций по ассортиментным группам продуктов исходя из начальных свойств сырья.

Ключевые слова: прудовые рыбы, мышечное волокно, гликоген, актомиозиновый комплекс, органолептические характеристики, ферментативный распад белков, ассортиментные группы.

DOI: 10.26428/1606-9919-2018-194-193-204.

Dvoryaninova O.P., Antipova L.V., Sokolov A.V. Biochemical and morphological changes in muscular tissue of pond fish in the process of autolytic transformations // *Izv. TINRO*. — 2018. — Vol. 194. — P. 193–204.

Physical and chemical processes in muscular tissue of pond fish are considered in the process of storage. The muscle contraction appears mainly because of the myofibrils activity that utilizes energy of the sarcoplasm substances. Intense disintegration of glycogen causes

* Дворянинова Ольга Павловна, доктор технических наук, декан факультета, заведующая кафедрой, e-mail: olga-dvor@yandex.ru; Антипова Людмила Васильевна, доктор технических наук, профессор, e-mail: antipova.l54@ya.ru; Соколов Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: sokol993@yandex.ru.

Dvoryaninova Olga P., D.Sc., dean, e-mail: olga-dvor@yandex.ru; Antipova Ludmila V., D.Sc., professor, e-mail: antipova.l54@ya.ru; Sokolov Alexander V., Ph.D., assistant professor, e-mail: sokol993@yandex.ru.

sharp acidification (pH decreasing) in the muscular tissue that affects on chemical composition and physical-colloidal structure of proteins. Hardening of the muscular tissue is observed in the first hours of storage because of the proteins transformation to actin and myosin in insoluble actomyosin complex. The highest level of actomyosin is observed in the first 3–5 hours that is the evidence of unstable rate of biochemical processes corresponded to changing activity of enzyme systems. Cumulative level of the actomyosin complex grows in the first 8 hours of storage for all investigated fish species. Organoleptic and technological characteristics of the fish meat improve significantly in the process of its maturation: the meat has no definite taste and smell in early stages of autolysis, but these properties appear in 3–4 days, depending on the storage temperature, due to enzymatic decomposition of proteins, peptides, nucleotides, carbohydrates, lipids, etc. Recommendations on storage are presented for certain groups of fish products in dependence on initial properties of raw materials.

Key words: pond fish, muscle fiber, glycogen, actomyosin complex, organoleptic characteristics, enzymatic disintegration of protein, fish product.

Введение

Рыба является одним из важнейших источников белкового питания человека, способствует укреплению здоровья, повышению работоспособности, профилактике старения и различных заболеваний. В настоящее время многие виды морских рыб, традиционно составляющих основу нашего рыбного стола, перешли в более высокую ценовую категорию и за счет этого стали менее доступны покупателям. К тому же ее качество имеет выраженную тенденцию к снижению из-за длительных транспортировок, часто не регулируемых условий хранения. Очевидно, ввиду стремительно развивающегося сегмента сырьевых ресурсов в виде прудовых хозяйств водные биоресурсы требуют самого пристального внимания ученых и специалистов. При этом возросший спрос на недорогую прудовую рыбу и изделия из нее дает возможность задействовать для их производства местные сырьевые ресурсы. В связи с этим особое значение приобретают научно-обоснованные подходы к оценке качества рыбного сырья, его технологической пригодности, обеспечения высоких потребительских оценок, разработки системы контроля качества сырья и выпускаемой продукции. По данным О.П. Дворяниновой и А.В. Алехиной (2009), в основе инфраструктуры перерабатывающих животных организмы предприятий лежат биохимические процессы, связанные с прижизненными функциями и накладывающие отпечаток на свойство тканей после убоя.

Цель исследования — научно обосновать и экспериментально подтвердить закономерности изменения биохимических и физико-химических свойств при хранении и переработке прудовых рыб.

Материалы и методы

Объектами исследования послужила живая прудовая рыба (каarp, толстолобик, белый амур, сазан, щука) по ГОСТ 24896-81 «Рыба живая. Технические условия». Сырье принимали в соответствии с требованиями нормативной документации, стандарта на правила приема рыбы, а также инструкции № 5 «О порядке приема живой рыбы, рыбы-сырца и охлажденной рыбы на обрабатывающих предприятиях и судах».

Все рыбосырье соответствовало по показателям качества Техническому регламенту Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» (ТР ЕАЭС 040/2016) и СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».

Сырье, добытое в осенний период, доставлялось из Павловского, Поворинского и Бобровского районов Воронежской области (соответственно рыбхозы ООО «Восход», ООО «Ильмень», ООО «Сухая Березовка»).

Транспортировка живой рыбы осуществлялась в живорыбных машинах в соответствии с правилами перевозок скоропортящихся грузов при соблюдении соответствующих температурных режимов, оптимальная температура воды для перевозки рыбы составляла 5–6 °С при кислородном режиме 4 мг O₂ на 1 л воды.

В работе использовались современные химические и биохимические методы исследования, а также модифицированные и усовершенствованные методики.

Микроструктуру исследуемых образцов мышечной ткани исследовали гистологическим методом с использованием световой микроскопии (Хвьяля и др., 1994). Микрофотосъемку гистологических препаратов проводили на микроскопе БИОМЕД 2 с фотонасадкой на базе фотоаппарата CANON с изготовлением микрофотографий. Полученные цифровые фотографии обрабатывали на PC Intel Celeron HDD 337 MHz 64 Mb RAM с применением программы Adobe Photoshop 6.0 фирмы Microsoft.

Определение гликогена и актомиозинового комплекса проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии; определение глюкозы и аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) — согласно рекомендациям Л.В. Антиповой с соавторами (2001); определение пировиноградной кислоты (ПВК) — колориметрическим методом по Умбрайту.

Результаты и их обсуждение

В основе посмертного окоченения мышечной ткани прудовых рыб лежат сложные физико-химические процессы, протекающие главным образом в мышечном волокне. По данным А.Н. Тихонова*, главную роль в мышечном сокращении играют миофибриллы, которые из веществ, входящих в состав саркоплазмы, используют необходимую энергию для выполнения своих функций. Источником энергии в данном случае служат только биохимические процессы ферментативного распада (гидролиз, фосфоролит) некоторых веществ, в частности, нуклеозидфосфатов гликогена, находящихся главным образом в саркоплазме (Антипова и др., 2016).

Как видно на рис. 1, в первый период интенсивность гидролиза сравнительно невелика, а в дальнейшем гидролитический распад гликогена резко повышается. Это объясняется присутствием в мышечных волокнах двух ферментативных механизмов гидролитического расщепления гликогена: амилазы и нейтральных олигоглюкозидаз, содержащихся в матриксе саркоплазмы; γ -амилазы и кислых олигоглюкозидаз, содержащихся в лизосомах, высвобождение из которых и обуславливает рост гидролитического распада. При этом минимальное содержание гликогена наблюдается к 24 ч хранения. Это связано с тем, что в мышцах живой рыбы отмечается достаточно высокое содержание АТФ, которая удерживает актин и миозин в диссоциированном состоянии, при этом происходит распад находящейся в мышцах АТФ с образованием аденозиндифосфатов (АДФ), аденозинмонофосфатов (АМФ) и фосфорной кислоты под влиянием АТФазной активности миозина (Антипова и др., 2015).

В уснувшей же рыбе, в отличие от живой, вследствие прекращения доступа кислорода, регулирования обмена веществ и энергии в тканях обратимые жизненные процессы становятся необратимыми, распад клеточных веществ превалирует над синтезом. При этом процесс идет преимущественно в направлении автолитического распада энергетических веществ: АТФ, креатин фосфата и гликогена, что и объясняет характер кривой на рис. 1.

Закономерности изменения содержания гликогена имеют общий характер для всех исследуемых видов рыб, что подтверждает классические представления о механизме автолитических превращений (Антипова и др., 2012).

В связи с отсутствием поступления кислорода в организм ресинтез гликогена в мясе рыбы после засыпания идти не может, и начинается его анаэробный распад, который протекает по пути фосфоролита и амилализа с образованием молочной кислоты и глюкозы, а также глюкозо-1-фосфата, глюкозо-6-фосфата и др. Совершается незначительный гидролитический распад гликогена за счет различных гликозидаз саркоплазмы.

Согласно исследованиям О.П. Дворяниновой и Л.В. Антиповой (2012), о протекании биохимических процессов можно судить по изменению в содержании продуктов распада гликогена, в частности по образованию глюкозы и пирувата.

* Тихонов А.Н. Мышечное сокращение: молекулярные основы биологической подвижности // Биология. 2003. № 41, 42.

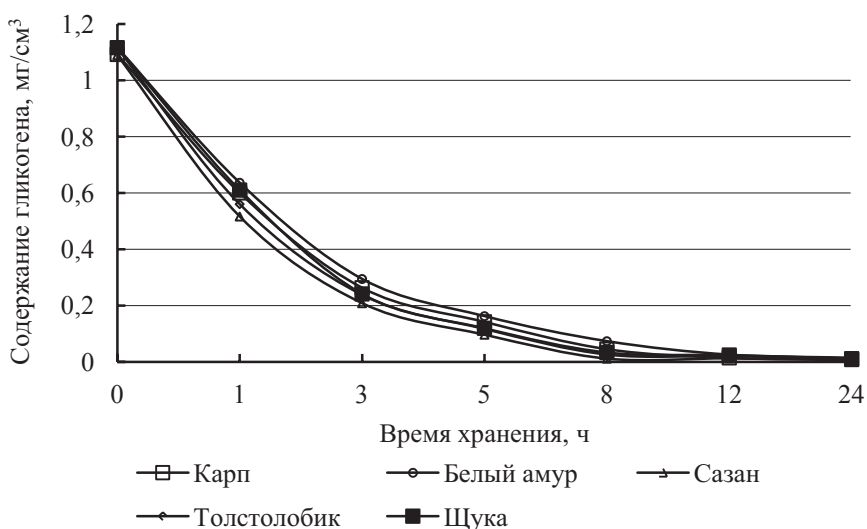


Рис. 1. Динамика содержания гликогена в мышечной ткани прудовых рыб в процессе хранения

Fig. 1. Dynamics of glycogen content in muscular tissue of pond fish during storage

На рис. 2 видно, что содержание глюкозы для всех видов исследуемых рыб увеличивается в процессе хранения. Менее заметное увеличение глюкозы происходит в первые часы хранения (от 0 до 5 ч), о чем свидетельствует активный распад гликогена во время гликогенолиза.

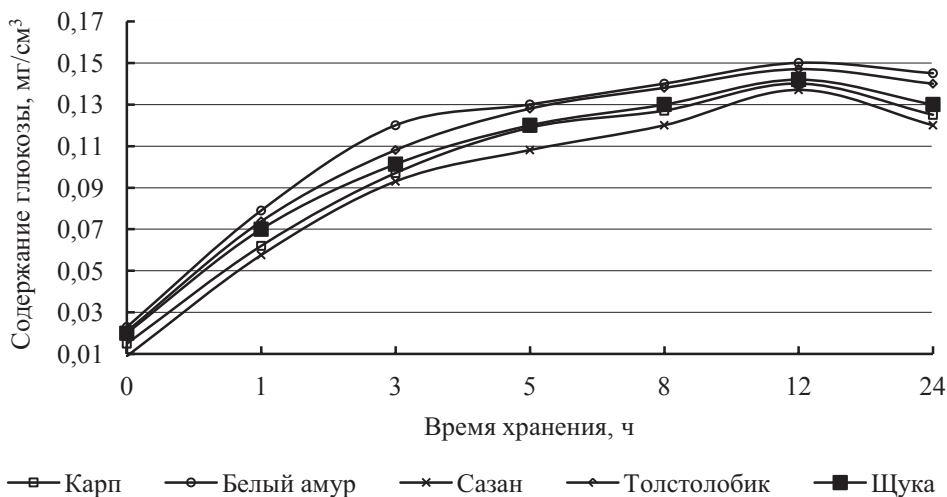


Рис. 2. Динамика изменения содержания глюкозы в мышечной ткани прудовых рыб в процессе хранения

Fig. 2. Dynamics of glucose content in muscular tissue of pond fish during storage

Максимальное накопление глюкозы наступает через 12 ч хранения для всех видов рыб и составляет: 0,140 мг/см³ — для карпа, 0,137 — для сазана, 0,142 — для щуки, 0,147 — для толстолобика, 0,150 мг/см³ — для белого амура. В дальнейшем глюкоза вовлекается в цикл трикарбоновых кислот с образованием кислот, способствующих снижению pH среды в мышечной ткани, что является этапом начала действия тканевых ферментов — катепсинов.

Результаты исследований показывают (рис. 3), что рост содержания пирувата характерен для всех исследуемых рыб. По сравнению с рыбой, не подвергавшейся хранению, за 24 ч содержание ПВК увеличивается в мясе карпа от 182,3 до 312,4 мг/100 г, для толстолобика — от 194,5 до 320,0 мг/100 г, для белого амура — от 201,3

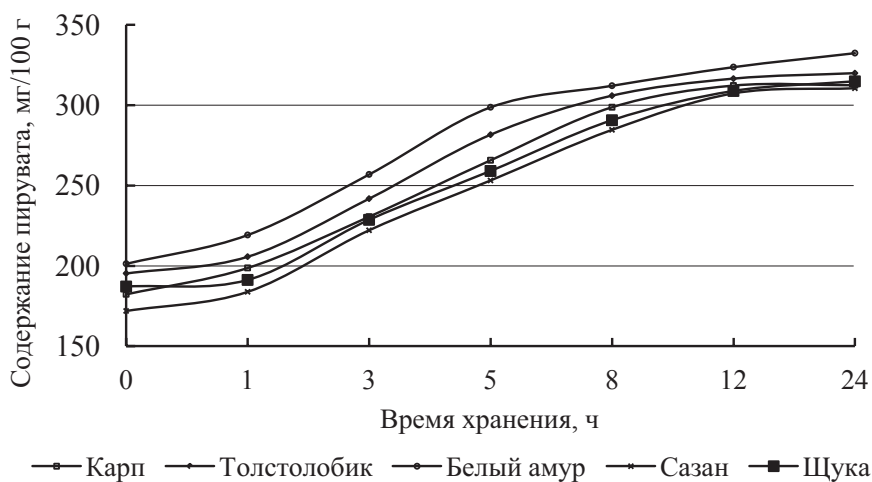


Рис. 3. Динамика изменения содержания пировиноградной кислоты в процессе хранения прудовых рыб

Fig. 3. Dynamics of pyruvic acid content in the pond fish tissues during storage

до 332,4 мг/100 г, для сазана — от 171,9 до 310,5 мг/100 г и для щуки — от 187,1 до 314,8 мг/100 г. Изменения количества пировиноградной кислоты и глюкозы у всех исследуемых рыб носят аналогичный характер. Однако у толстолобика и белого амура их содержание выше, чем у щуки, карпа и сазана, что свидетельствует о более активных автолитических превращениях в мясе этих видов рыб.

На начальной стадии автолиза большое значение имеет уровень содержания в мясе рыбы энергоемкой АТФ, из-за распада которой происходит ферментативный процесс расщепления гликозидных связей (Харенко и др., 2017). Одновременно процесс распада аденозинтрифосфата обеспечивает сокращение миофибриллярных белков. Динамика изменения содержания АТФ в мясе прудовых рыб показана на рис. 4 (www.torg-ekspert.ru), на котором видно, что для мяса рыбы в послеубойный период характерно непрерывное снижение концентрации АТФ, вследствие уменьшения запасов которого не хватает энергии для восстановления состояния релаксации сократившихся волокон.

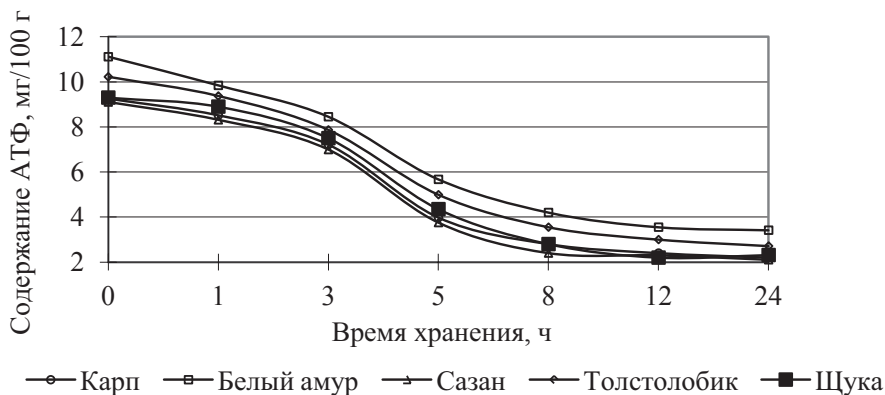


Рис. 4. Изменение содержания аденозинтрифосфорной кислоты в мясе прудовых рыб в процессе хранения

Fig. 4. Change of ATP content in muscular tissue of pond fish during storage

При этом распад АТФ до АДФ, АМФ приводит к повышению кислотности среды в мясе рыб, что предопределяет функционально-технологические свойства (ФТС) мяса рыбы. При этом в образовавшейся кислой среде происходит частичное накопление неорганического фосфора. Кислая среда и наличие неорганического фосфора считается причиной диссоциации актомиозинового комплекса (АМК) на актин и миозин. Распад

этого комплекса снимает явления окоченения и жесткости мяса. Следовательно, фазу окоченения от других фаз обособить нельзя и ее необходимо считать одним из этапов процесса созревания мяса рыбы.

Характер кривых на рис. 4 свидетельствует о том, что распад АТФ в мясе рыбы происходит в первые часы хранения. Минимальное ее содержание приходится на 24 ч: для щуки — 2,314 мг/100 г, карпа — 2,200, белого амура — 3,416, толстолобика — 2,713, сазана — 2,103 мг/100 г.

Исследования закономерностей изменения содержания актомиозинового комплекса (рис. 5) в мышцах всех исследуемых видов рыб в процессе хранения имеют аналогичный характер.

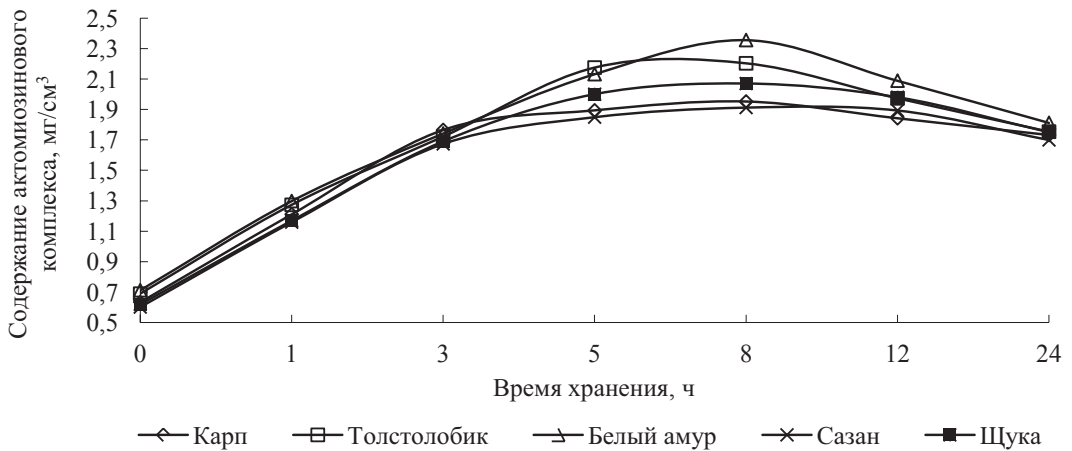


Рис. 5. Динамика изменения содержания актомиозинового комплекса в мясе прудовых рыб в процессе хранения

Fig. 5. Dynamics of actomyosin complex in muscular tissue of pond fish during storage

Затверждение мышечной ткани наблюдается в первые часы хранения и обусловлено образованием из белков актина и миозина нерастворимого актомиозинового комплекса. Наивысший уровень содержания актомиозина отмечался в первые 3–5 ч, что свидетельствует о разной скорости протекающих биохимических процессов и связано с уровнем активности ферментных систем. Максимум накопления актомиозинового комплекса приходится на 8 ч хранения для всех исследуемых видов рыб.

Кислая среда усиливает мышечное окоченение вследствие непоступления в мышечную ткань рыбы кислорода, торможения окислительных процессов, накопления избытка молочной и фосфорной кислот. Реакция среды при этом снижается с 7,26 до 6,02. Также при накоплении молочной кислоты происходит коагуляция белка. При этом АМК теряет свою растворимость, белки стабилизируются, а кальций выпадает из коллоидов белка и переходит в мясной сок рыбы. Полное окоченение рыбы наступает к 8 ч хранения. Далее по мере увеличения концентрации молочной кислоты и коагуляции белков происходит распад АМК. Свернувшиеся белки теряют свои коллоидные свойства, становятся неспособными удерживать воду и в известной степени лишаются своей дисперсной среды (воды).

В результате накопления молочной, фосфорной и других кислот в мясе рыбы увеличивается концентрация водородных ионов, результатом чего является снижение рН. Резко проявляющаяся кислая среда и наличие неорганического фосфора считаются причиной распада актомиозинового комплекса на актин и миозин, который начинается после 8 ч хранения, т.е. наступает период расслабления мышечных волокон и период разрешения окоченения, а затем последняя стадия созревания мяса — глубокий автолиз.

Графическая зависимость функционально-технологических свойств мышечной ткани прудовых рыб (на примере карпа) от времени хранения при температуре 4–6 °С представлена на рис. 6.

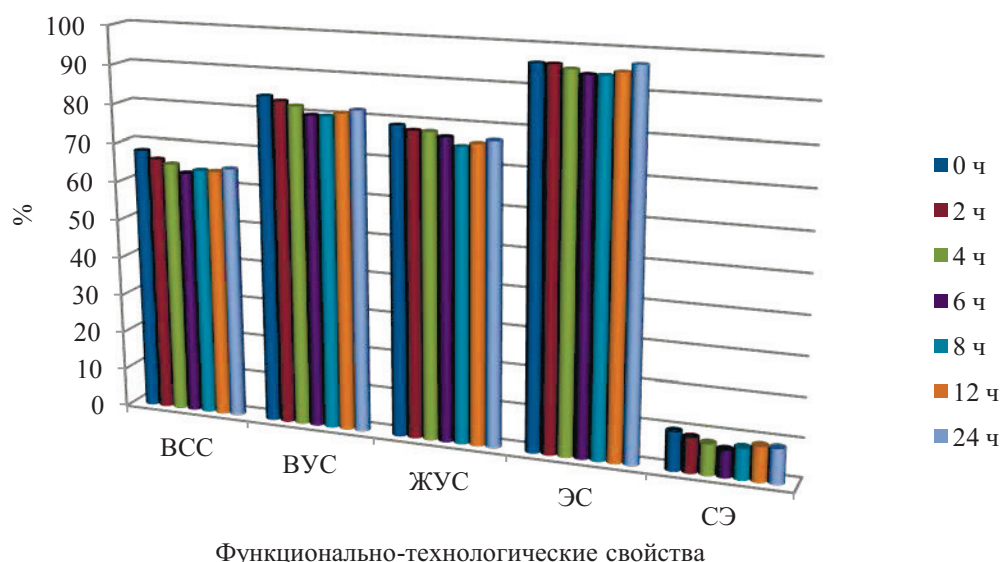


Рис. 6. Функционально-технологические свойства мышечной ткани карпа в процессе хранения: *BCC* — водосвязывающая способность; *BVC* — водоудерживающая способность; *ЖУС* — жирудерживающая способность; *ЭС* — эмульгирующая способность; *СЭ* — стабильность эмульсии

Fig. 6. Functional-technological properties of the muscular tissue of carp during storage: *BCC* — water-binding capacity; *BVC* — water-holding capacity; *ЖУС* — fat-holding ability; *ЭС* — emulsifying ability; *СЭ* — stability of emulsion

На диаграмме видно, что ФТС в интервале от 0 до 8 ч хранения уменьшаются, а в диапазоне 8–24 ч — увеличиваются, что абсолютно совпадает с классической теорией автолиза. Данная зависимость характерна для всех исследуемых видов рыб.

Результаты биохимических исследований мяса рыб в процессе хранения согласуются с данными микроструктурных исследований (на примере карпа и толстолобика), которые характерны для стадии автолиза.

Изучение гистоструктуры мышечной ткани скелетной мускулатуры рыбы в процессе хранения проводили через 4, 8, 12 и 24 ч хранения при температуре 0–4 °С.

Установлено, что уже через 4 ч хранения в структуре мышечных волокон наблюдаются поперечные разрывы, участки между ними увеличиваются, выявляются зоны слабого восприятия красителей, участки с характерными «узлами сокращений» (рис. 7).

Следует отметить, что указанные изменения в мышечной ткани карпа (рис. 7, а) после 4 ч хранения менее выражены по сравнению с изменениями в мышечной ткани толстолобика (рис. 7, б).

Дальнейшее развитие (через 8 ч) автолитических превращений в большей мере затрагивает миофибриллярный аппарат, что демонстрируют зоны «разряженности» в мышечных волокнах, разрушение соединительнотканых структур оболочек мышечных волокон. Как и в предыдущем случае, изменения более выражены в мышечной ткани толстолобика (рис. 8), так как спустя 8 ч в мышечной ткани (рис. 8) карпа еще различимы участки «узлов сокращения», в то время как зоны «разряженности» красителей практически единичны.

Анализ микроструктуры мышечной ткани рыб спустя 12 ч хранения как у толстолобика, так и у карпа выявляет существенное разрушение миофибриллярного аппарата и эндомизии. Микрофотографии (рис. 9) демонстрируют деструкцию мышечных волокон, ядерных элементов и повышение гомогенности ткани.

Через сутки (24 ч) хранения вследствие повышения водосвязывающей и водоудерживающей способности мышечная ткань представляет гомогенную массу с плотно уложенными волокнистыми структурами миофибриллярных и соединительнотканых элементов (рис. 10).

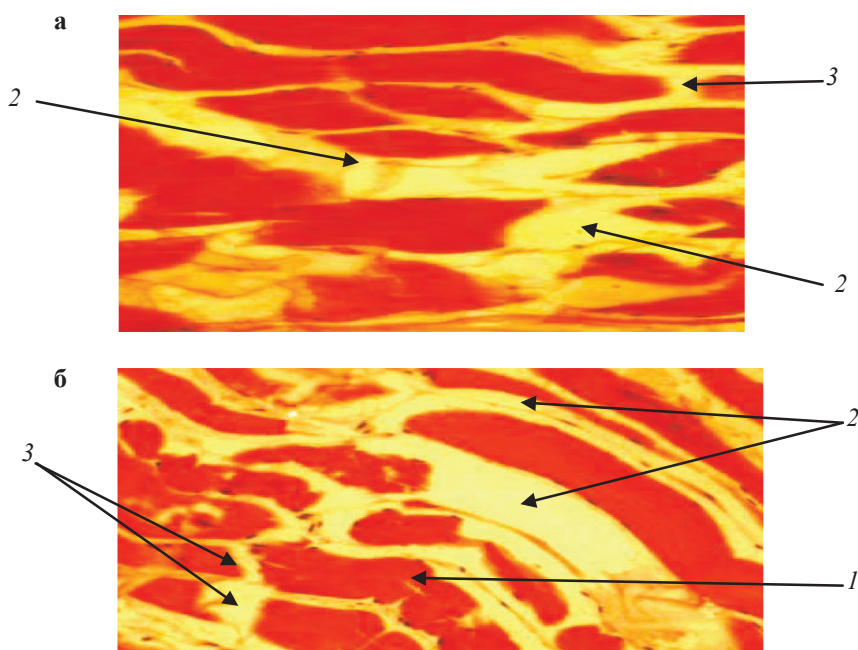


Рис. 7. Микроструктура мышечной ткани карпа (а) и толстолобика (б) после 4 ч хранения при температуре 0–4 °С. Окр. гематоксилин-эозином. Ув. ок. x10, об. x40: 1 — участки «узла сокращений»; 2 — расширение пространства между мышечными волокнами; 3 — поперечные разрывы мышечных волокон

Fig. 7. Microstructure of muscular tissue for carp (a) and silver carp (б) after 4 h storage at 0–4 °C (hematoxylin-eosin coloration; magnification x10, x40): 1 — contraction site; 2 — expansion of space between muscle fibers; 3 — transverse ruptures of muscle fibers

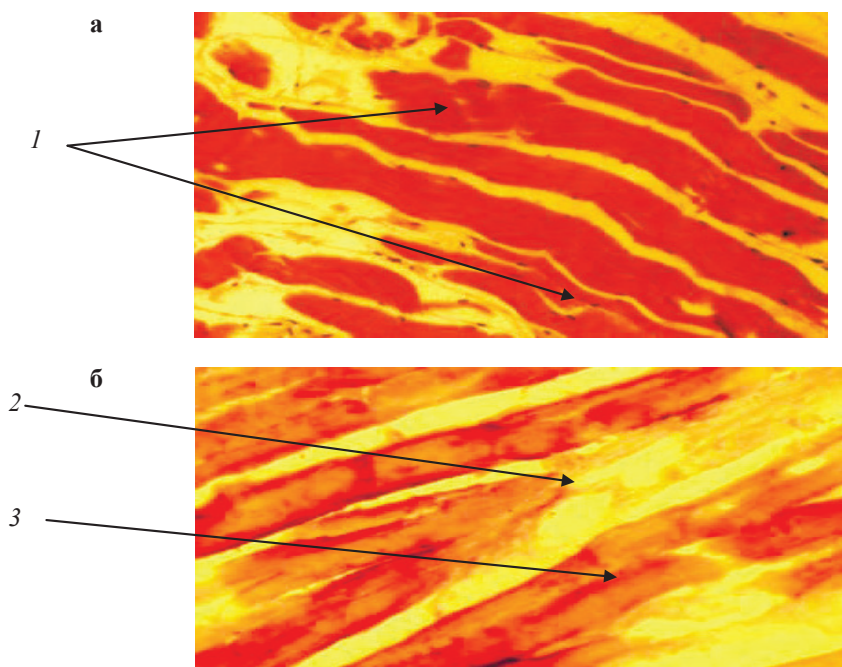


Рис. 8. Микроструктура мышечной ткани карпа (а) и толстолобика (б) после 8 ч хранения при температуре 0–4 °С. Окр. гематоксилин-эозином. Ув. ок. x10, об. x40: 1 — остатки «узлов сокращения»; 2 — разрушение соединительнотканной оболочки мышечных волокон; 3 — неравномерность восприятия красителей

Fig. 8. Microstructure of muscular tissue of carp (a) and silver carp (б) after 8 h storage at 0–4 °C (hematoxylin-eosin coloration; magnification x10, x40): 1 — remains of contraction sites; 2 — destruction of the connective tissue of the muscular fibers; 3 — uneven coloration

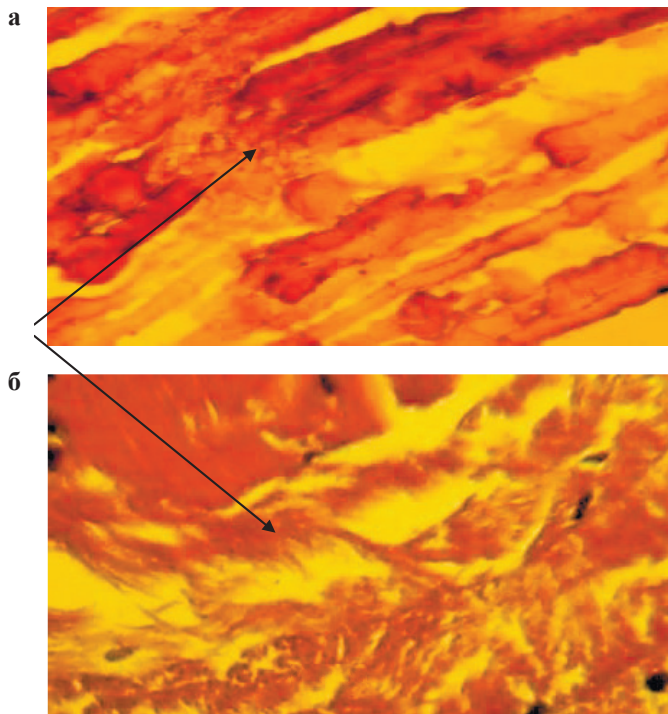


Рис. 9. Микроструктура мышечной ткани карпа (а) и толстолобика (б) после 12 ч хранения при температуре 0–4 °С. Окр. гематоксилин-эозином. Ув. ок. x10, об. x40; *стрелками* показано разрушение миофибриллярного аппарата

Fig. 9. Microstructure of muscular tissue for carp (а) and silver carp (б) after 12 h storage at 0–4 °C (hemotoxylin-eosin coloration; magnification x10, x40); *arrows* — destruction of the myofibrillar apparatus

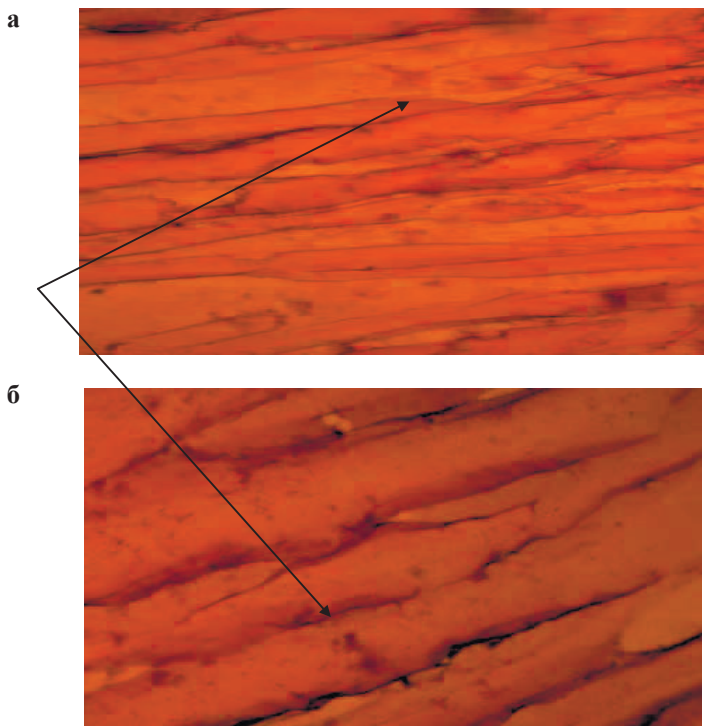


Рис. 10. Микроструктура мышечной ткани карпа (а) и толстолобика (б) после 24 ч хранения при температуре 0–4 °С. Окр. гематоксилин-эозином. Ув. ок. x10, об. x40; *стрелками* показано уплотнение структуры мышечной ткани

Fig. 10. Microstructure of muscular tissue for carp (а) and silver carp (б) after 24 h storage at 0–4 °C (hemotoxylin-eosin coloration: magnification x10, x40); *arrows* — consolidation of muscle structure

Выявленную структуру, кроме того, возможно обуславливают и процессы ре-тракции влаги из мышечной ткани, что и проявляется уплотнением ее структуры. Существенным является и то, что подобные изменения формируются к этому времени и в мясе карпа, и в мясе толстолобика.

Таким образом, результаты исследования микроструктуры подтверждают и дополняют выявленные биохимические изменения в мышечной ткани прудовых рыб (толстолобика и карпа). Особенностью мышечной ткани карпа является более низкая скорость автолитических превращений на ранних стадиях автолиза — до 12 ч после хранения, по сравнению с толстолобиком.

По сравнению с мышечной тканью наземных животных установлена более высокая скорость автолитических превращений.

Созревшее мясо прудовых рыб характеризуется выраженными органолептическими показателями, имеет однородную плотную консистенцию, что позволяет использовать его в технологии продукции широкого ассортимента.

Следует отметить, что посмертное окоченение обуславливает длительность сохранения свежей рыбы. Чем позднее оно начинается и дольше продолжается, тем дальше отодвигаются стадии автолиза и бактериального разложения. Главной задачей технолога в это время является продлить период посмертного окоченения рыбы своевременными и правильными действиями. Только тогда мясо рыбы не потеряет своих натуральных свойств.

Ферментативные процессы, происходящие в мясе рыбы на ранних стадиях автолитических изменений, успешно можно использовать в технологии переработки рыбного сырья.

Как было доказано ранее, по мере накопления молочной кислоты вследствие распада гликогена, происходит снижение рН в кислую сторону, кислая среда оказывает разрушающее действие на оболочку лизосом, и локализованные там протеолитические ферменты — катепсины — выходят наружу и начинается ферментативный распад органических веществ, главным образом белков и липидов, входящих в состав тканей рыбы, результатом которого являются положительные изменения свойств рыбного сырья: формируется нежная консистенция, сочность и специфические аромат и вкус. Этот процесс называют процессом «созревания».

Известно, что не все рыбы способны к созреванию. По данным О.П. Дворяниновой с соавторами (2015), большинство прудовых рыб (толстолобик, карп, белый амур) относятся к слабосозревающим. Поэтому для интенсификации процесса созревания используют созреватели или ферментные препараты.

В процессе созревания мяса происходит существенное улучшение органолептических и технологических характеристик (Кудряшов, 1992). На ранних стадиях автолиза мясо не имеет выраженного вкуса и запаха, которые в зависимости от температуры хранения появляются лишь на 3–4-е сут в связи с образованием продуктов ферментативного распада белков и пептидов, нуклеотидов, углеводов, липидов и др.

Однако на поздней стадии автолиза происходит ряд изменений, приводящих к ухудшению качественных показателей рыбы:

— в результате дезагрегации белковых молекул изменяется величина заряда белков и увеличивается их гидратация. Мясо рыбы теряет упругость, размягчается, легко отделяется от костей;

— деятельность ферментов ЖКТ рыбы (пепсин, трипсин, химотрипсин) вызывает разрушение мышц брюшка, нарушение целостности рыбы;

— образование в тканях рыбы азота летучих оснований (аммиака, триметиламина (ТМА), диметиламина (ДМА), холина) и его накопление приводит к изменению вкуса и аромата мяса рыбы (при содержании ТМА 5–20 мг/100 г);

— ферментативный гидролиз и окисление липидов приводит к тому, что продукты окисления липидов вступают в реакции комплексообразования с белками, ухудшая их усвояемость, а также придавая мясу неприятный специфический запах;

— происходит ухудшение органолептических свойств рыбы (накопление относительно низкомолекулярных продуктов гидролиза, являющихся хорошей питательной средой для гнилостных микроорганизмов).

С увеличением времени хранения рыбы автолитический распад тканей и органов рыбы постепенно переходит в бактериальный.

Заключение

В ходе проведения экспериментальных исследований установлено, что активность катепсинов проявляется на ранних стадиях и в значительной мере стимулирует автолиз, что подтверждается гистоморфологическими и функционально-технологическими свойствами, которые в промежутке от 0 до 8 ч хранения уменьшаются, а в промежутке 8–24 ч — увеличиваются, что абсолютно совпадает с теорией автолиза, так как в период от 0 до 8 ч начинается мышечное окоченение, пиком которого является 8 ч хранения. Ультраструктурная организация мышечных волокон исследуемых видов рыб подтверждает ее сходство со структурой мышечной ткани наземных животных, но и не исключает наличие других форм организации мышечных элементов, на что указывает неравномерность толщины мышечных волокон.

Закрепление информации путем исследования ФТС позволило разработать подходы, принципы и методы рационального использования рыбного сырья на разных стадиях автолитических превращений: оптимальным временем хранения рыбы для использования ее при производстве соленой продукции является временной интервал от 0 до 8 ч, а для производства кулинарных изделий — от 9 до 24 ч при температуре хранения от 0 до 4 °С.

Список литературы

- Антипова Л.В., Глотова И.А., Рогов И.А.** Методы исследования мяса и мясных продуктов : учеб. — М. : Колос, 2001. — 571 с.
- Антипова Л.В., Дворянинова О.П., Соколов А.В.** Прудовые рыбы в улучшении структуры питания населения: гигиенические аспекты // Гигиена и санитария. — 2016. — Т. 95, № 1. — С. 84–90. DOI: 10.18821/0016-9900-2016-95-1-84-90.
- Антипова Л.В., Дворянинова О.П., Черкесов А.З.** Биохимический механизм автолитических процессов мышечной ткани рыб // Вестн. ВГУИТ. — 2015. — № 2(64). — С. 92–97.
- Антипова Л.В., Дворянинова О.П., Чудинова Л.П.** Прудовые рыбы: биотехнологический потенциал и основы рационального использования ресурсов : моногр. — Воронеж : ВГУИТ, 2012. — 404 с.
- Дворянинова О.П., Алехина А.В.** Биохимические изменения мяса прудовых рыб в процессе хранения // Вестн. ВГТА. — 2009. — № 3. — С. 95–97.
- Дворянинова О.П., Антипова Л.В.** Аквакультурные биоресурсы: научные основы и инновационные решения : моногр. — Воронеж : ВГУИТ, 2012. — 420 с.
- Дворянинова О.П., Соколов А.В., Черкесов А.З.** Сырьевая база водных биоресурсов как фактор обеспечения продовольственной безопасности страны // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания. — 2015. — № 2. — С. 22–29.
- Кудряшов Л.С.** Созревание и посол мяса : моногр. — Кемерово : Кузбассвузиздат, 1992. — 206 с.
- Харенко Е.Н., Дворянинова О.П., Соколов А.В.** Потенциал развития аквакультуры в Евразийском экономическом союзе // Мат-лы 3-й междунар. науч.-практ. конф. «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии Агропромышленного комплекса». — Воронеж, 2017. — С. 123–125.
- Хвыля С.И., Авилов В.В., Кузнецова Т.Г.** Практическое применение гистологических методов анализа // Мясная пром-сть. — 1994. — № 6. — С. 9–11.

References

- Antipova, L.V., Glotova, I.A., and Rogov, I.A.,** *Metody issledovaniya myasa i myasnykh produktov* (Methods of Meat and Meat Products Research), Moscow: Kolos, 2001.
- Antipova, L.V., Dvoryaninova, O.P., and Sokolov, A.V.,** Pond fishes in the improvement of the structure of population's nutrition: hygienic aspects, *Gig. Sanit.*, 2016, vol. 95, no. 1, pp. 84–90. doi 10.18821/0016-9900-2016-95-1-84-90
- Antipova, L.V., Dvoryaninova, O.P., and Cherkesov, A.Z.,** Biochemical mechanism of autolytic processes of muscular tissue of fishes, *Vestn. Voronezh. Gos. Univ. Inzh. Technol.*, 2015, no. 2(64), pp. 92–97.

Antipova, L.V., Dvoryaninova, O.P., and Chudinova, L.P., *Prudovye ryby: biotekhnologicheskii potentsial i osnovy ratsional'nogo ispol'zovaniya resursov* (Pond Fishes: Biotechnological Potential and Bases of Rational Use of Resources), Voronezh: Voronezh. Gos. Univ. Inzh. Technol., 2012.

Dvoryaninova, O.P. and Alehina, A.V., Biochemical changes of meat pond fish in the course of storage, *Vestn. Voronezh. Gos. Technol. Akad.*, 2009, no. 3, pp. 95–97.

Dvoryaninova, O.P. and Antipova, L.V., *Akvakul'turnye bioresursy: nauchnye osnovy i innovatsionnye resheniya* (Aquacultural Bioresources: Scientific Bases and Innovative Solutions), Voronezh: Voronezh. Gos. Univ. Inzh. Technol., 2012.

Dvoryaninova, O.P., Sokolov, A.V., and Cherkesov, A.Z., Source of raw materials of water bioresources as factor of ensuring food security of the country, *Tekhnol. Pishch. Pererab. Prom–sti APK — Prod. Zdorovogo Pitan.*, 2015, no. 2, pp. 22–29.

Kudryashov, L.S., *Sozrevanie i posol myasa* (Ripening and Curing of Meat), Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 1992.

Kharenko, E.N., Dvoryaninova, O.P., and Sokolov, A.V. Potential for aquaculture development in the Eurasian economic Union, in *Mater. III mezhdunar. nauchno-prakt. konf. "Sistemnyi analiz i modelirovanie protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitii Agropromyshlennogo kompleksa"* (Proc. 3rd Int. Sci. Pract. Conf. "System Analysis and Modeling of Quality Management Processes in the Innovative Development of Agriculture"), Voronezh, 2017, pp. 123–125.

Khvylya, S.I., Avilov, V.V., and Kuznetsova, T.G., Practical application of histological methods of analysis, *Myasn. Prom–st.*, 1994, no. 6, pp. 9–11.

Tikhonov, A.N., Muscle contraction: Molecular bases of biological mobility, *Biologiya*, 2003, nos. 41, 42.

Поступила в редакцию 6.03.18 г.

Принята в печать 12.04.18 г.