

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ ГИДРОБИОНТОВ

УДК 597.554.3:577.152.34:597–154.31

**ЛИЗОЦИМ У КАРПОВЫХ РЫБ (CYPRINIDAE)
ИЗ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН**

© 2015 г. Т. А. Субботкина, М. Ф. Субботкин

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН,
пос. Борок, Ярославская обл., 152742
E-mail: smif@ibiw.yaroslavl.ru

Поступила в редакцию 28.05.2014

Карповые рыбы характеризуются низким и очень низким содержанием лизоцима в печени, почках, селезенке и часто его отсутствием в сыворотке. Сезонная динамика лизоцима в сыворотке крови не отражает полной картины вариабельности фермента в организме рыб. Уровень лизоцима в организме карповых рыб не определяется температурными условиями постоянного места обитания в водоемах умеренных широт или тропиков. По результатам проведенных исследований виды карповых, обитающие в разных климатических зонах, более сходны между собой по уровню лизоцима, чем многочисленные экземпляры *Cyprinus carpio* или *Labeo rohita* в различных экспериментальных условиях.

Ключевые слова: карповые, лизоцим, печень, почки, селезенка, сыворотка, температура воды.

Лизоцим — фермент группы гликозидаз (НФ 3.2.1.17), открытый в начале XX в. (Ермольева, 1938), является важным компонентом врожденной защиты рыб. В качестве основной функции лизоцима рассматривается бактерицидность (Лукьяненко, 1989; Йегер, 1990). Он присутствует в различных тканях, биологических жидкостях, секреторных выделениях и участвует в иммунных реакциях (Fletcher, White, 1973; Лукьяненко, 1989; Lie et al., 1989; Субботкина, Субботкин, 2002; Magnadottir, 2006; Saurabh, Sahoo, 2008). Лизоцим вовлечен в общую реакцию тревоги рыб, действуя в качестве белка острой фазы как очень чувствительный показатель (Tort et al., 2003). За несколько десятилетий исследований этого фермента были обследованы многочисленные виды рыб (Лукьяненко, 1989; Субботкина, Субботкин, 2003, 2013; Saurabh, Sahoo, 2008). Его активность и содержание у разных видов варьирует в широком диапазоне (Субботкина, Субботкин, 2003; Saurabh, Sahoo, 2008; Pascoli et al., 2011). Лизоцим считается од-

ним из наиболее изученных факторов врожденного иммунитета рыб (Tort et al., 2003). Однако остается еще много неясных вопросов, например, таких, как различный ответ у разных видов рыб на действие одного фактора, а также сходство активности фермента у одних видов и широкий диапазон различий между другими видами. Среди исследователей нет единого мнения о природе таких реакций. Некоторые авторы полагают, что сходство активности лизоцима может быть обусловлено экологией рыб или генетическими связями между видами (Лукьяненко 1989; Lie et al., 1989). В настоящее время у рыб выявлено два типа лизоцима: с (chicken) и g (goose). У разных видов рыб встречаются разные типы лизоцима, но у белого амура *Ctenopharyngodon idellus* и атлантического лосося *Salmo salar* выявлены оба: и с, и g (Ye et al., 2010; Murnes et al., 2013).

Карпообразные представляют одну из больших групп пресноводных рыб с широким ареалом распространения. Виды карпообразных способны обитать в широком

диапазоне температур, выдерживая легкое замерзание или, напротив, температуру выше 52°C (Никольский, 1974; Bowden, 2008). Карповые рыбы имеют большое значение в питании населения, и эта роль существенно возрастает с бурным развитием мировой аквакультуры. В условиях аквакультуры рыба растет быстрее, но при этом так же быстро нарастают негативные факторы, которые могут приводить к большим потерям продукции (Weifen et al., 2012). Врожденный иммунитет, или система неспецифической резистентности, включающая многие компоненты, в том числе лизоцим, является важной частью механизмов поддержания гомеостаза и сохранения индивидуальной целостности организма (Лукияненко, 1989; Йегер, 1990; Saurabh, Sahoo, 2008). Нарушения этих механизмов приводят к различным заболеваниям (Йегер, 1990), поэтому параметры иммунитета рассматриваются в качестве биоиндикаторов для оценки состояния рыб как в природе, так и в аквакультуре (Bols et al., 2001; Betoulle et al., 2002; Skouras et al., 2003).

Несмотря на присутствие лизоцима в разных органах и тканях рыб, обычно анализируют только сыворотку или плазму крови. Ограниченная информация о нали-

чий и действии фермента в других иммунных органах сдерживает понимание механизмов формирования иммунного ответа на действие иммуномодулирующих факторов (Bols et al., 2001). Для расширения знаний о роли иммунных органов мы определяли содержание лизоцима не только в сыворотке, но и в тканях почек, печени и селезенки. В настоящем сообщении для определения базовых уровней этого показателя мы сравнили некоторые виды карповых рыб из различных климатических зон, температура среды обитания которых существенно отличается.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследованные виды рыб и районы сбора материала, относящиеся к различным климатическим зонам, представлены в таблице. Из них европейские виды — это дикие рыбы Волго-Каспийского бассейна. Рыбы из тропиков представлены прудовой аквакультурой из Центрального Вьетнама. Объекты для анализа были выловлены в водоемах, существенно отличающихся температурой воды. Годовые колебания температуры этих водоемов находятся в диапазоне от 0,4 до 23°C в Рыбинском водохранилище, от 5 до 26°C — в дельте Волги (Литвинов, Рошуп-

Виды исследованных рыб и места сбора материала

| Вид рыбы | Число особей, шт. | Место отлова |
|--|-------------------|---|
| Язь <i>Leuciscus idus</i> | 5 | Рыбинское водохранилище около пос. Борок — р. Сутка до с. Верхне-Никульское |
| Плотва <i>Rutilus rutilus</i> | 12 | |
| Лещ <i>Abramis brama</i> | 85 | |
| Густера <i>Blicca bjoerkna</i> | 5 | |
| Краснопёрка <i>Scardinius erythrophthalmus</i> | 10 | Дельта Волги, с. Житное |
| Японский белый карась <i>Carassius cuvieri</i> (Temminck et Schlegel) | 10 | |
| Жерех <i>Aspius aspius</i> | 13 | Северный Каспий, р-он Малой Жемчужной банки |
| Белый амур <i>Ctenopharyngodon idella</i> | 5 | Центральный Вьетнам, г. Нячанг |
| Карп <i>Cyprinus carpio</i> | 5 | |
| Толстолобик <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> | 10 | |

ко, 1993) и от 17 до 37°C и выше — в тропиках (Kumari et al., 2006; Das et al., 2012).

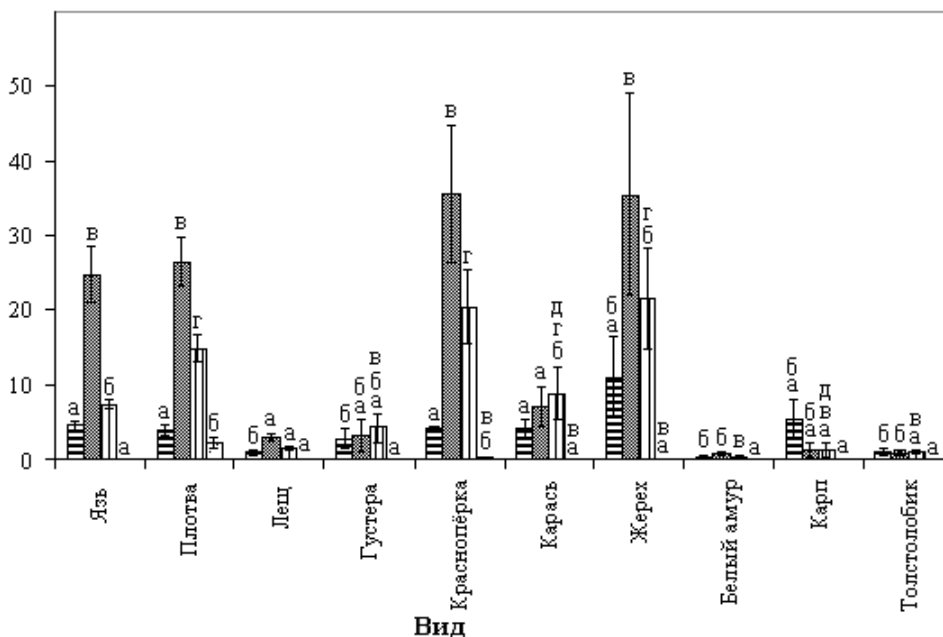
Содержание лизоцима в печени, почках, селезенке и сыворотке крови определяли с помощью метода «диффузии в агар» (Каграманова, Ермольева, 1966) с небольшими изменениями для изучения рыб. Метод основан на способности лизоцима лизировать клетки *Micrococcus lysodeikticus*, диспергированные в слое агарового геля. При этом диаметр зоны просветления пропорционален логарифму концентрации лизоцима (Osserman, Lawlor, 1966). Более подробно метод описан нами ранее (Субботкина, Субботкин, 2003). Содержание лизоцима выражали в мкг/г ткани органа и мкг/мл сыворотки крови как средняя \pm стандартная ошибка. Статистические различия определяли по критерию Стьюдента с использованием Microsoft Excel при значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о варьировании уровня лизоцима у исследо-

ванных видов в разных органах и тканях (рисунк). Самое высокое содержание фермента обнаружено в почках жереха *Aspius aspius* из северного Каспия и красноперки *Scardinius erythrophthalmus* из дельты Волги, а также у плотвы *Rutilus rutilus* и язя *Leuciscus idus* из Рыбинского водохранилища. В селезенке лизоцима меньше, чем в почках. Наиболее высокие уровни селезеночного лизоцима выявлены также у жереха, красноперки и плотвы. У жереха, кроме этого, обнаружено самое высокое содержание лизоцима в печени. Сыворотка некоторых карповых рыб характеризуется самым низким уровнем фермента или его отсутствием.

Рыбы с минимальными уровнями лизоцима обнаружены в водоемах, существенно отличающихся по температуре, таких как Рыбинское водохранилище (лещ *Abramis brama* и густера *Blicca bjoerkna*), где температура варьирует от 0,4–1,9°C зимой до 23°C летом (Литвинов, Рощупко, 1993), и пруды Центрального Вьетнама (кап *Cyprinus carpio*, толстолобик *Hypophthalmichthys molitrix*, белый амур *Ctenopharyngodon*



Содержание лизоцима у карповых рыб из различных климатических зон в разных органах, мкг/г ткани: (▨) — печень, (▩) — почки, (▧) — селезенка — и в сыворотке крови, мкг/мл: (□). Данные представлены как средняя \pm стандартная ошибка; (а — д) — достоверные различия для одной и той же ткани.

idella) с температурой воды от 17 до 37°C в холодный и жаркий сезоны соответственно (Kumari et al., 2006; Das et al., 2012). Среди этих рыб выявлены особи, не проявляющие активности фермента в тканях некоторых органов. Виды, у которых лизоцим не обнаружен в сыворотке крови, были найдены во всех климатических условиях. У многих видов карповых количество лизоцима в организме распределяется следующим образом: почки > селезенка > печень > сыворотка крови. Уровень лизоцима является вариabельным показателем, поэтому порядок его распределения у рыб с очень низким уровнем лизоцима выявить трудно. Так, в отдельных выборках леща распределение фермента отличалось от того, что показано на рисунке, где отражены суммированные данные от 85 особей, собранные в течение трех лет.

Мы провели сравнение полученных данных с материалами других авторов. Такие виды карповых, как язь и вобла, ранее исследованные в районе дельты Волги (Лукьяненко, 1989), отличаются от язя и плотвы Рыбинского водохранилища (рисунок) ($p < 0,05$) более низкими уровнями лизоцима: в почках — 5,0 и 3,0, в селезенке — 2,4 и 1,2, в печени — 0,98 и 0,6 мкг/г соответственно. В то же время лещ из дельты Волги со средним уровнем лизоцима 0,53–2,5 мкг/г (Лукьяненко, 1989) сходен с таковым из Рыбинского водохранилища ($p > 0,05$). Другие данные показывают, что содержание лизоцима в органах карпа, белого амура и толстолобика, которые выращены в районе нижней Волги, не отличалось от такового у этих видов рыб в тропиках ($p > 0,05$) и соответствовало: 2,2–2,9 мкг/г ткани — в почках, 1,14–2,0 мкг/г — в селезенке, 0,46–0,74 мкг/г — в печени (Лукьяненко, 1989).

Исследований, в которых одновременно анализируется содержание лизоцима в печени, почках и селезенке, чрезвычайно мало. В большинстве работ обычно изучают только лизоцим сыворотки/плазмы крови (Bols et al., 2001). В практике исследований лизоцима наиболее распространены варианты турбидиметрического метода и диффузия

в агар, поэтому результаты выражаются в разных единицах. Несмотря на обширный массив доступных данных, их сравнение затруднительно, даже если они выражены в одинаковых единицах, но отражают разные параметры, такие как содержание лизоцима или его активность.

Полученные нами данные указывают на очень низкое содержание или отсутствие фермента в сыворотке карповых рыб. В исследованиях карпа Вихман (1975) также показал очень низкий уровень сывороточного лизоцима. У опытных экземпляров белого амура выявлен широкий диапазон варьирования средних значений этого показателя: 1,07–14,6 мкг/мл (Soltani, Pourgholam, 2007). У пяти видов индийских карповых рыб, в том числе *Labeo rohita*, нормальные уровни индивидуальных значений составляли 2,5–24,09 мкг/мл (Sahoo et al., 2005; Saurabh, Sahoo, 2008). Однако в других исследованиях содержание лизоцима в сыворотке крови *L. rohita* соответствовало 231–400 мкг/мл (Rao et al., 2006).

У карпа и белого амура зарегистрирована очень низкая активность фермента: от следовых величин до 1,75 мкг/мл (Yang et al., 2008; Ardo et al., 2010; Liu et al., 2011; Weifen et al., 2012). Относительно низкую лизоцимную активность — 3,3–13 мкг/мл — проявляют сыворотки тропических карповых *L. rohita* и *Puntius sarana* (Swain et al., 2007; Dash et al., 2011; Behera, Swain, 2012; Das et al., 2012). Однако по другим данным, а также у других видов карповых активность сывороточного лизоцима в сопоставимых единицах может быть выше. Сообщалось об активности фермента в диапазоне средних значений 13,0–26,7 мкг/мл в плазме крови опытных экземпляров карпов (Tang et al., 2009). При этом максимальные значения параметра для карпа соответствуют 151 мкг/мл у контрольных рыб и 172 мкг/мл — у опытных (Wu et al., 2007). Максимальная активность лизоцима у *L. rohita* (около 30 мкг/мл) зарегистрирована в сыворотке экспериментальных рыб (Wijendra, Pathiratne, 2007). В наших исследованиях содержание лизоцима в сыво-

ротке крови у разных видов карповых рыб, обитающих в разных климатических условиях, оказывается более сходным, чем значения для одного вида в экспериментальных условиях у разных авторов.

Температура — абиотический фактор, оказывающий существенное влияние на все физиологические функции пойкилотермных животных, к которым относятся рыбы. Скорость биохимических реакций в организме рыб, в том числе с участием ферментов, зависит от температуры окружающей среды. Поэтому действие температуры на иммунные реакции рыб — это важное направление в изучении неспецифической защиты (Bowden, 2008). В ряде случаев сезонные изменения температуры воды сопровождаются сходной динамикой активности лизоцима в сыворотке/плазме крови некоторых видов рыб (Swain et al., 2007; Kortet, Vainikka, 2008; Pascoli et al., 2011). Изучение сезонной изменчивости активности лизоцима у карповых показало, что у *L. rohita* в зимний период ($7,26 \pm \pm 0,87$ мкг/мл) она ниже, чем в теплые периоды ($12,93 \pm 1,66$ мкг/мл) года (Swain et al., 2007). Однако у другого тропического вида — *P. sarana* — сезонная изменчивость активности сывороточного лизоцима не проявлялась (Das et al., 2012). Наши исследования русского осетра *Acipenser gueldenstaedtii* и белуги *Huso huso* в р. Волга выявили самый высокий уровень лизоцима в сыворотке крови в конце лета и самый низкий — зимой. В почках, наоборот, самое низкое содержание фермента отмечалось летом и наиболее высокое — зимой (Субботкина, Субботкин, 2012). Следовательно, сезонные изменения уровня лизоцима в сыворотке и почках осетровых оказываются в противофазе. Анализ щуки *Esox lucius* показал двукратное снижение содержания лизоцима в сыворотке крови от весны к осени ($p < < 0,05$). Самый высокий уровень фермента в печени и селезенке зарегистрирован летом, но в почках он оставался неизменным весной, летом и осенью (Извекова и др., 2010). Щука в природе заражается паразитом *Triaenophorus nodulosus*, который обитает в кишечнике особи в холодный период и покидает его летом.

Во время обитания паразита в рыбе содержание фермента в кишечной слизи минимально. Летом количество лизоцима в кишечнике рыб, свободных от паразита, возрастает до 75 раз (Извекова и др., 2010). Таким образом, представленные данные показывают, что сезонная изменчивость лизоцима сыворотки крови не отражает полной динамики фермента в организме рыб. Сезонные изменения лизоцима имеют более глубокие физиологические основы, чем только непосредственное влияние температуры воды.

Многими экспериментами показано возрастание активности лизоцима сыворотки крови рыб при повышении температуры воды (Watts et al., 2001; Dominguez et al., 2005; Kumari et al., 2006; Bowden, 2008; Saurabh, Sahoo, 2008; Akhtar et al., 2012). Однако энергетические и физиологические возможности организма ограничены, поэтому рост активности фермента и сохранение его уровня выше физиологической нормы не могут быть постоянными. Вероятно, этим объясняется снижение лизоцимной активности у рыб при достижении температуры воды $32,5\text{--}33^\circ\text{C}$ (Dominguez et al., 2005; Kumari et al., 2006), хотя такая температура не является критической для тропических водоемов (Swain et al., 2007; Das et al., 2012). Мы также не обнаружили высоких значений лизоцима у карпа, белого амура и толстолобика, культивируемых в тропическом Центральном Вьетнаме. Эти виды показали более низкий уровень фермента в органах, чем другие виды карповых рыб, обитающие в Европейской части России, хотя среди них лещ и густера также содержат мало лизоцима (рисунок). Следует отметить, что такие значения фермента у рыб в тропиках выявлены нами в теплый период года.

Изменения параметров неспецифического иммунитета как ответ организма на внешнее воздействие могут быть глубокими и продолжительными, например, под влиянием сезонных факторов. Однако успешная адаптация к разным условиям обитания, существенно отличающимся по температуре, вероятно, не приводит к значительным откло-

нениям содержания лизоцима от физиологически оптимального уровня, соответствующего конкретному виду рыб. Следовательно, в границах одного вида температурный режим региона обитания не оказывает существенного влияния на уровень фермента в организме рыб. Иммуномодулирующее действие повышения температуры в экспериментальных условиях, вызывающее рост значений этого показателя неспецифической защиты, имеет ограниченный по силе и времени эффект, с возвратом параметра на физиологически оптимальный уровень, характерный данному виду. Кроме того, принимая во внимание филогенетические связи, мы обнаруживаем проявление сходства по уровню лизоцима у родственных видов карповых рыб, обитающих в разных климатических зонах.

Результаты проведенных нами исследований свидетельствуют о низком и очень низком уровне лизоцима в органах или его отсутствии в сыворотке крови карповых рыб. Родственные виды и внутривидовые группы оказываются сходными по уровню лизоцима в водоемах, которые существенно отличаются по температурному режиму. Сезонная динамика лизоцима сыворотки крови не отражает полной картины изменений лизоцима в организме рыб. Основной массив опубликованных данных отражает широкий диапазон варибельности содержания/активности сывороточного лизоцима и трудную сопоставимость результатов исследований разных авторов.

Авторы благодарят Во Тхи Ха и других коллег из Приморского отделения Российско-Вьетнамского тропического центра за помощь в проведении исследований в Нячанге.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вихман А.А. Изучение лизоцима наружных покровов рыб // Физиология прудовых рыб. М.: ВНИИПРХ, 1975. С. 97–104.

Ермольева З.В. Лизоцим // Усп. соврем. биологии. 1938. Т. 9. С. 68–80.

Извекова Г.И., Субботкина Т.А., Субботкин М.Ф. Содержание лизоцима в организме щуки при заражении цестодами // Биология внутр. вод. 2010. № 2. С. 73–76.

Йегер Л. Клиническая иммунология и аллергология. Т. 1. М.: Медицина, 1990. 527 с.

Каграманова К.А., Ермольева З.В. Сравнительная характеристика методов определения активности лизоцима // Антибиотики. 1966. Т. 11. № 10. С. 917–919.

Литвинов А.С., Рошупко В.Ф. Термическая характеристика водохранилищ Волжского каскада. Формирование и динамика полей гидрологических и гидрохимических характеристик во внутренних водоемах и их моделирование // Тр. ИБВВ РАН. 1993. Вып. 63. № 66. С. 3–24.

Лукьяненко В.И. Иммунобиология рыб. Врожденный иммунитет. М.: Агропромиздат, 1989. 272 с.

Никольский Г.В. Экология рыб. М.: Высш. шк., 1974. 357 с.

Субботкина Т.А., Субботкин М.Ф. Лизоцим четырех видов осетровых рыб сем. Acipenseridae р. Волги // Биология внутр. вод. 2002. № 2. С. 88–93.

Субботкина Т.А., Субботкин М.Ф. Содержание лизоцима в органах и сыворотке крови у различных видов рыб р. Волги // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. 2003. Т. 39. № 5. С. 430–437.

Субботкина Т.А., Субботкин М.Ф. Адаптивные реакции неспецифического иммунитета рыб // Матер. Всерос. конф. «Физиологические, биохимические и молекулярно-генетические механизмы адаптаций гидробионтов». Борок, 2012. С. 346–352.

Субботкина Т.А., Субботкин М.Ф. Особенности содержания лизоцима у трескообразных (отр. Gadiformes) и камбалообразных (отр. Pleuronectiformes) рыб // Журн. эволюц. биохимии и физиологии. 2013. Т. 49. № 4. С. 278–284.

Akhtar M.S., Pal A.K., Sahu N.P. et al. Effects of dietary pyridoxine on haemato-immunological responses of *Labeo rohita* fingerlings reared at higher water temperature //

- J. Animal Physiol. Animal Nutrition. 2012. V. 96. P. 581–590.
- Ardo L., Jeney Z., Adams A., Jeney G. Immune responses of resistant and sensitive common carp families following experimental challenge with *Aeromonas hydrophila* // Fish Shellfish Immunol. 2010. V. 29. P. 111–116.
- Behera T., Swain P. Antigen adsorbed surface modified poly-ε-caprolactone microspheres stimulates both adaptive and innate immune response in fish // Vaccine. 2012. V. 30. P. 5278–5284.
- Betoulle S., Etienne J.C., Vernet G. Acute immunotoxicity of gallium to carp (*Cyprinus carpio* L.) // Bull. Environ. Contaminat. Toxicol. 2002. V. 68. P. 817–823.
- Bols N.C., Brubacher J.L., Ganasin R.C., Lee L.E.J. Ecotoxicology and innate immunity in fish // Devel. Comparative Immunol. 2001. V. 25. P. 853–873.
- Bowden T.J. Modulation of the immune system of fish by their environment // Fish Shellfish Immunol. 2008. V. 25. P. 373–383.
- Das A., Jena J.K., Sahoo P.K. Haematological and innate immune responses in *Puntius sarana*: normal range and seasonal variation // Central Europ. J. Biol. 2012. V. 7. P. 460–469.
- Dash S., Das S.K., Samal J. et al. Dose dependence specific and non-specific immune responses of Indian major carp (*L. rohita* Ham) to intraperitoneal injection of formalin killed *Aeromonas hydrophila* whole cell vaccine // Veterinary Res. Comm. 2011. V. 35. P. 541–552.
- Dominguez M., Takemura A., Tsuchiya M. Effects of changes in environmental factors on the non-specific immune response of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. // Aquaculture Res. 2005. V. 36. P. 391–397.
- Fletcher T.C., White A. Lysozyme activity in the plaice (*Pleuronectes platessa* L.) // Experientia. 1973. V. 29. P. 1283–1285.
- Kortet R., Vainikka A. Seasonality of innate immunity. Evolutionary aspects and latest updates // New Research on Innate Immunity. N.Y.: Nova Sci. Publ., Inc., 2008. P. 13–45.
- Kumari J., Sahoo P.K., Swain T. et al. Seasonal variation in the innate immune parameters of the Asian catfish *Clarias batrachus* // Aquaculture. 2006. V. 252. P. 121–127.
- Lie O., Evensen O., Sorensen A., Froysadal E. Study on lysozyme activity in some fish species // Dis. Aquatic Organisms. 1989. V. 6. P. 1–5.
- Liu J., Lei Y., Wang F., Yi Y. et al. Immunostimulatory activities of specific bacterial secondary metabolite of *Anoxybacillus flavithermus* strain SX-4 on carp, *Cyprinus carpio* // J. Appl. Microbiol. 2011. V. 110. P. 1056–1064.
- Magnadottir B. Innate immunity of fish (overview) // Fish Shellfish Immunol. 2006. V. 20. P. 137–151.
- Myrnes B., Seppola M., Johansen A. et al. Enzyme characterisation and gene expression profiling of Atlantic salmon chicken- and goose-type lysozymes // Devel. Comparative Immunol. 2013. V. 40. P. 11–19.
- Osserman E.F., Lawlor D.P. Serum and urinary lysozyme (Muramidase) in monocytic and monomyelocytic leukemia // J. Experim. Medicine. 1966. V. 124. P. 921–952.
- Pascoli F., Lanzano G.S., Negrato E. et al. Seasonal effects on hematological and innate immune parameters in sea bass *Dicentrarchus labrax* // Fish Shellfish Immunol. 2011. V. 31. P. 1081–1087.
- Rao Y.V., Das B.K., Jyotirmayee P., Chakrabarti R. Effect of *Achyranthes aspera* on the immunity and survival of *Labeo rohita* infected with *Aeromonas hydrophila* // Ibid. 2006. V. 20. P. 263–273.
- Sahoo P.K., Kumari J., Mishra B.K. Non-specific immune responses in juveniles of Indian major carps // J. Applied Ichthyol. 2005. V. 21. P. 151–155.
- Saurabh S., Sahoo P.K. Lysozyme: an important defence molecule of fish innate immune system // Aquaculture Res. 2008. V. 39. P. 223–239.
- Skouras A., Lang T., Vobach M. et al. Assessment of some innate immune responses in dab (*Limanda limanda* L.) from the North Sea as part of an integrated biological effects monitoring // Helgoland Marine Res. 2003. V. 57. P. 181–189.

- Soltani M., Pourgholam R. Lysozyme activity of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) following exposure to sublethal concentrations of organophosphate, diazinon // J. Veterinary Res. 2007. V. 62. P. 49–52.
- Swain P., Dash S., Sahoo P.K. et al. Non-specific immune parameters of brood Indian major carp *Labeo rohita* and their seasonal variations // Fish Shellfish Immunol. 2007. V. 22. P. 38–43.
- Tang L., Wang G.-X., Jiang J. et al. Effect of methionine on intestinal enzymes activities, microflora and humoral immune of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) // Aquaculture Nutrition. 2009. V. 15. P. 477–483.
- Tort L., Balasch J.C., Mackenzie S. Fish immune system. A crossroads between innate and adaptive responses // Immunologia. 2003. V. 22. P. 277–286.
- Watts M., Munday B.L., Burke C.M. Immune responses of teleost fish // Austral. Veterinary J. 2001. V. 79. P. 570–574.
- Weifen L., Xiaoping Z., Wenhui S. et al. Effects of Bacillus preparations on immunity and antioxidant activities in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) // Fish Physiol. Biochem. 2012. V. 38. P. 1585–1592.
- Wijendra G.D.N.P., Pathiratne A. Evaluation of immune responses in an Indian carp, *Labeo rohita* (Hamilton) fed with levamisole incorporated diet // J. Sci. Univer. Kelaniya. 2007. V. 3. P. 17–28.
- Wu G., Yuan C., Shen M. et al. Immunological and biochemical parameters in carp (*Cyprinus carpio*) after Qompsell feed ingredients for long-term administration // Aquaculture Res. 2007. V. 38. P. 246–255.
- Yang Q., Zhou X., Jiang J., Liu Y. Effect of dietary vitamin A deficiency on growth performance, feed utilization and immune responses of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) // Ibid. 2008. V. 39. P. 902–906.
- Ye X., Zhang L., Tian Y. et al. Identification and expression analysis of the g-type and c-type lysozymes in grass carp *Ctenopharyngodon idellus* // Devel. Comparative Immunol. 2010. V. 34. P. 501–509.

LYSOZYME OF CYPRINIDAE IN DIFFERENT CLIMATIC ZONES

© 2015 г. Т.А. Субботкина, М.Ф. Субботкин

*I.D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences,
Borok, Yaroslavl oblast, 152742*

Cyprinids are characterized by low and vary low content of lysozyme in the liver, kidney, spleen, and often by its absence in the serum. The seasonal dynamics of lysozyme in the serum does not reflect the full variability of the enzyme in the fish organism. The lysozyme level in cyprinids is not determined by temperature conditions of constant habitats in water bodies of temperate latitudes or tropics. According to the results of research carps species in various climatic zones are more similar in the lysozyme level when compared to numerous specimens of *Cyprinus carpio* or *Labeo rohita* in different experimental conditions.

Keywords: Cyprinidae, lysozyme, liver, kidney, spleen, serum, temperature.