

## Экологическая физиология и биохимия гидробионтов

УДК 597.554.3-111.11

### БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЫВОРОТКИ КРОВИ КРАСНУХОУСТОЙЧИВОЙ ПОРОДЫ КАРПА В КОНЦЕ НАГУЛЬНОГО ПЕРИОДА

Д. В. Микряков<sup>1</sup>, А. О. Ревякин<sup>2</sup>, Г. И. Пронина<sup>3</sup>, А. С. Соколова<sup>1</sup>, А. Б. Петрушин<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,  
152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, e-mail: daniil@ibiw.ru

<sup>2</sup>Научный центр биомедицинских технологий,  
143442 пос. Светлые горы, Московская обл., Красногорский р-н.

<sup>3</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева  
127550 Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

<sup>4</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт ирригационного рыбководства  
142460 пос. Воровского, Московская обл., Ногинский р-н.

Поступила в редакцию 13.09.2020

Изучены биохимические показатели сыворотки крови устойчивых и восприимчивых к возбудителям краснухи групп карпов в конце нагульного периода. Материал отбирали у 6 особей ангелинской чешуйчатой краснухоустойчивой породы, содержащихся на экспериментальной прудовой базе “Сунога” ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН Ярославской обл. Для сравнения использовали одновозрастных карпов из рыбоводного хозяйства “Кирия” Чувашской республики, восприимчивых к возбудителям краснухи: 8 экз. чешуйчатых и 8 зеркальных. У исследуемых рыб проводили отбор крови из хвостовой вены. Пробирку с кровью оставляли при комнатной температуре. После свертывания сыворотку забирали шприцем с тонкой иглой и переносили в пробирку Эппендорфа. Пробы сыворотки замораживали до проведения исследований. Исследованные особи ангелинской краснухоустойчивой породы отличались от чешуйчатых и зеркальных карпов высоким уровнем общего белка, альбуминов, глюкозы, мочевины, щелочной фосфатазы, триглицеридов, холестерина и низким уровнем общего липидов и аланинаминотрансферазы. Сравнительный анализ с ранее полученными данными после зимовки показал отличия между осенними и весенними данными. У особей ангелинской породы уровень большинства показателей значительно увеличился во время нагула. В несколько раз повысилось содержание общего белка, в основном за счет глобулинов, глюкозы, мочевины, щелочной фосфатазы, триглицеридов. Таким образом, в организме краснухоустойчивых карпов возрастала интенсивность метаболических процессов, направленных на накопление белков, запасных липидов и углеводов. Вероятно, это обусловлено особенностями ангелинской породы, которые позволяют организму рыб успешно противостоять заражению возбудителями краснухи в весенний период. Полученные результаты можно использовать в селекции на иммунную устойчивость и для оценки состояния здоровья рыб в условиях аквакультуры.

*Ключевые слова:* ангелинская краснухоустойчивая порода карпа, сыворотка крови, биохимические показатели, иммунная устойчивость.

DOI: 10.47021/0320-3557-2021-113-119

#### ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее распространенных заболеваний, наносящих большой экономический ущерб, в РФ считается краснуха. Это полиэтиологическое заболевание рыб в основном семейства карповые, возбудители: вирус весенней виiremии, аэромонады, псевдомонады [Головина и др., 2003 (Golovina et al., 2003); Пищенко, 2006 (Pishchenko, 2006); Kirpichnikov et al., 1993]. Для решения задачи по снижению значительного ущерба рыбоводству в России, с помощью селекции на иммунную устойчивость, выведена ангелинская порода карпа, обладающая устойчивостью к возбудителям краснухи [Илясов, 2002 (Ilyasov, 2002)]. Исследование этой породы позволит понять механизмы, обеспечивающие невосприимчивость рыб к инфекционным заболеваниям и получить данные, которые могут быть исполь-

зованы в селекционных программах по созданию резистентных пород в аквакультуре. Ранее авторами были показаны отличия некоторых иммунобиохимических показателей между краснухоустойчивыми и восприимчивыми к заболеванию породами карпа [Пронина и др., 2014, 2017 (Pronina et al., 2014, 2017); Микряков и др., 2019 а, б (Mikryakov et al., 2019 a, b); Суворова и др., 2019 (Suvorova et al., 2019)]. Установлено, что особи краснухоустойчивой породы отличаются долей содержания различных форм лейкоцитов, интенсивностью лейкопоза, уровнем белка, глюкозы, общих липидов, окислительных процессов и антиоксидантной защиты от карпов других селекционных групп.

Ранее, исследования после зимовки биохимических показателей сыворотки крови ан-

гелинской породы показали отличия от различных селекционных групп карпов [Микряков и др., 2019 б; (Mikryakov et al., 2019 b)]. Особи краснухостойчивой породы характеризовались высоким уровнем в крови глюкозы, креатинкиназы, мочевины и низким общего белка, триглицеридов, мочевой кислоты, щелочной фосфатазы. После зимовки в организме рыб начинают происходить значительные изменения в процессе подготовки к нересту, что сказывается на уровне обменных процессов и биохимических показателях крови. В нерестовый период в организме рыб происходят значительные изменения, требующие огромных энергетических затрат за счет активации катаболических и снижения анаболических процессов. В этот период процессы диссимиляции преобладают над ассимиляцией. Одновременно в нерестовый и посленерестовый периоды нарастает доля особей с низким уровнем иммунореактивности [Лысанов, Микряков, 1990 (Lysanov, Mikryakov, 1990)]. Снижение неспецифического иммунитета способствует созданию условий для вспышки эпизоотий инфекционных болезней. Весенний период считается наиболее опасным. Рыбы испытывают стресс в результате отлова, транспортировки и изменения условий содержания в процессе их пере-

садки из зимовалов в нагульные пруды. Воздействие стресс-факторов приводит к снижению выживаемости, иммунореактивности и неспецифической защиты к возбудителям различных инфекционных и инвазионных заболеваний [Wendelaar Bonga, 1997; Van Muiswinkel, Vervoorn-Van Der Wal, 2006, Uren Webster et al., 2018]. Зафиксированные нами отличия биохимических показателей сыворотки крови ангелинских карпов, вероятно, связаны с особенностями этой породы, обеспечивающими невосприимчивость к краснухе. Для получения более детальной информации нами проведено аналогичное исследование рыб в конце нагульного периода рыбоводного сезона. Во время нагула в организме рыб происходят противоположные процессы, связанные с восстановлением израсходованных во время зимовки и нереста ресурсов пластических и энергетических веществ и повышением функциональной активности иммунной системы [Шатуновский, 1980 (Shatunovsky, 1980); Микряков, 1984 (Mikryakov, 1984); Lloret et al., 2014].

Цель работы – исследование биохимических показателей сыворотки крови краснухостойчивых карпов в конце нагульного периода и сравнительный анализ с ранее полученными данными после зимовки.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в конце сентября – начале октября 2018 г. на трехлетках карпов. Материал отбирали у 6 особей ангелинской чешуйчатой краснухостойчивой породы, содержащихся на экспериментальной прудовой базе “Сунога” ИБВВ им. И.Д. Папанина РАН Ярославской обл. Для сравнения использовали одновозрастных карпов из рыбоводного хозяйства “Киря” Чувашской республики, восприимчивых к возбудителям краснухи: 8 экз. чешуйчатых и 8 зеркальных.

У исследуемых рыб проводили отбор крови из хвостовой вены. Для получения сыворотки кровь рыб набирали в сухую стерильную пробирку. Пробирку с кровью оставляли в штативе на 1 ч при комнатной температуре. За это время процесс свертывания крови завершается и происходит ретракция сгустка. После этого сыворотку забирали шприцем с тонкой иглой, переносили в пробирку Эппендорфа. Пробы сыворотки замораживали в морозильной камере при температуре  $-24^{\circ}\text{C}$  и транспортировали в специальных термоконтейнерах. В лаборатории непосредственно перед анализом пробы размораживали при комнатной температуре. Анализ содержания общего белка, глюкозы, альбумина, аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспаратаминотрансфе-

разы (АСТ), лактатдегидрогеназы (ЛДГ), креатинкиназа (КК), лактата, мочевой кислоты, мочевины, триглицеридов, холестерина, щелочной фосфатазы, проводили на анализаторе Chem Well Awareness Technology, с использованием реактивов VITAL.

Параллельно изучали уровень общих липидов (ОЛ) и антиокислительной защиты (АЗ), а также интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ).

Уровень ОЛ определяли стандартным методом по Фолчу [Folch et al., 1957]. Принцип метода заключается в разрушении липидно-белковых связей полярными растворителями (этанолом), что способствует последующему экстрагированию неполярным растворителем (хлороформом). Хлороформ и этанол комбинировались в смеси в соотношении 2:1. Количество липидов устанавливали весовым методом по разнице между весом с жиром и без него.

Об интенсивности ПОЛ судили по накоплению малонового диальдегида (МДА) – одного из конечных продуктов перекисного окисления. Концентрацию МДА определяли по количеству продуктов ПОЛ, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой и дающих с ней окрашенный комплекс. Интенсивность окра-

шивания оценивали спектрофотометрически по изменению максимума поглощения при 535 нм [Андреева и др., 1988 (Andreeva et al., 1988)]. Содержание МДА вычисляли с учетом коэффициента молярной экстинкции ( $1.56 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) и выражали в наномолях на 1 г ткани.

Уровень АЗ определяли по кинетике окисления субстрата восстановленной формы 2,6-дихлорфенолиндофенола кислородом воздуха по общепринятой методике [Семенов, Ярош, 1985 (Semenov, Yarosh, 1985)]. Сущность метода заключается в том, что, чем выше скорость окисления субстрата в присутствии биологического материала, тем ниже со-

держание антиоксидантов в тканях. Константу ингибирования окисления субстрата (КОС), являющуюся показателем антиокислительной активности ткани, определяли относительно контроля по формуле:  $K_i = K_{\text{кон}} - K_{\text{оп}}/C$ , где  $K_{\text{кон}}$  и  $K_{\text{оп}}$  – константы скорости окисления субстрата соответственно в контроле и в опыте;  $C$  – концентрация биологического материала в кювете.

Статистическую обработку результатов исследования проводили по стандартным алгоритмам, реализованным в пакете программ Statistica v6.0, с использованием t-теста. Различия считали значимыми при  $p \leq 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование полученных данных показало, что большинство исследуемых показателей особой ангелинской породы имели более высокие величины, за исключением уровня АЛТ, ЛДГ, креатина, КК и ОЛ по сравнению с чешуйчатыми и зеркальными карпами (см. таблицу). При сравнительном анализе зафик-

сированы значительные отличия между осенними и весенними данными [Микряков и др., 2019 б; (Mikryakov et al., 2019 b)]. У особой ангелинской породы уровень большинства показателей значительно увеличился во время нагула.

Биохимические показатели сыворотки крови карпов

Biochemical indicators of serum of carps

Показатели Indicators	Карпы краснухостойчивой породы Carps of rubella-resistant breed	Чешуйчатые карпы Scale carps	Зеркальные карпы Mirror carps
Масса, г / Weight, g	2.16±0.18	2.02±0.07	2.03±0.07
Длина, см / Length, cm	46.9±0.5	42.7±0.5	40.4±0.4
Общ белок, г/л / Total protein, g/l	39.20±1.57	26.63±3.50*	20.91±2.13*
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mM/l	15.75±1.20	8.20±0.44*	6.42±0.65*
Альбумин г/л / Albumin, g/l	15.45±0.29	12.07±1.05*	10.37±0.86*
АЛТ, ед/л / ALT, units/l	15.83±0.69	22.73±2.30*	21.18±1.72*
АСТ, ед/л / AST, units/l	294.78±32.67	236.41±30.37	197.36±36.73
ЛДГ, ед/л / LDH, units/l	2351.01±238.08	2515.95±315.84	1795.40±301.38
Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, mcM/l	20.83±2.15	20.93±3.00	14.77±2.94
КК, ед/л / СК, units/l	5778.63±595.46	6054.85±304.72	6036.46±151.06
Лактат, мг/дл / Lactate, mg/dl	111.30±17.05	102.31±8.57	88.20±11.60
Мочевая кислота, мг/дл / Uric acid mg/dl	7.96±1.30	5.91±1.16	5.73±1.18
Мочевина, мг/дл / Urea, mg/dl	28.05±5.27	9.15±2.26*	7.13±0.47*
ТГ, мг/дл / TG, mg/dl	231.78±13.67	198.70±27.92	159.68±15.98*
Холестерин, мг/дл / Cholesterol, mg/dl	273.11±16.26	124.18±12.28*	109.27±13.41*
Щелочная фосфатаза, ед/л /Alkaline phosphatase, units/l	171.81±51.90	32.51±3.38*	40.75±7.21*
ОЛ, % / TL, %	11816.67±44.32	11977.50±183.40	12230.00±117.03*
МДА нмоль/г /MDA, nM/g	13.89±4.40	12.38±7.14	10.08±3.08
КОС л/(мл мин) / ICSO, l/(ml min)	7.14±0.70	5.56±0.62	5.23±0.58

**Примечание.** “\*” – достоверные отличия от карпов краснухостойчивой породы.

**Note.** “\*” – significant differences from carps rubella-resistant breed.

Общая концентрация всех белков крови показала достоверно высокие величины у особей ангелинской породы по сравнению с другими группами. В весенний период были зафиксированы противоположные данные. За время нагула концентрация общего белка у краснухоустойчивых карпов увеличилась больше чем в 2.5 раза, а у чешуйчатых и зеркальных карпов – понизилась в 1.4–1.6 раза соответственно. Полученные данные показали более интенсивный белковый обмен у карпов ангелинской породы.

Белки плазмы крови разделяют на альбумин, альфа-, бета-, гамма-глобулины и фибриноген. Как и содержание белков, уровень альбумина был значимо выше у краснухоустойчивой породы. При этом по сравнению с весенними данными этот показатель изменился незначительно у всех групп карпов. Повышение концентрации белков в крови ангелинской породы в время нагула, происходило за счет увеличения уровня как альбуминов, так и в большей степени глобулинов (23.75 против 14.56 и 10.54 соответственно). Общеизвестно, что функциональная активность иммунной системы рыб в конце нагульного периода повышается, а в преднерестовый и нерестовый период – снижается [Микряков, 1984 (Mikryakov, 1984); Schaperclaus, 1979]. Можно сделать предположение, что накопление белков, в частности глобулинов, в организме карпов ангелинской породы в нагульный период обеспечивает устойчивость рыб к возбудителям аэромоноза весной. Однако для подтверждения требуется проведение дополнительных исследований.

На усиленный метаболизм белков в организме особей ангелинской породы указывают повышенные по сравнению с весенними показателями уровни мочевины, мочевой кислоты и креатинина – конечные продукты обмена белков. Однако осенью у краснухоустойчивой породы только уровень мочевины значимо превышал данные чешуйчатых и зеркальных карпов. Этот показатель во время нагульного периода увеличился в 2 раза и более чем в 3 раза выше, чем у других групп карпов.

Также по сравнению с весной в 2 раза повысился уровень глюкозы у ангелинских и чешуйчатых карпов, тогда как у зеркальных – незначительно. У ангелинских карпов осенние показатели уровня глюкозы значимо превышают данные чешуйчатых и зеркальных карпов. Вероятно, это связано с повышенным углеводным обменом и процессами накопления энергии. На это указывают значительное повышение по сравнению с весенними данными

уровня фермента ЛДГ. Этот фермент принимает участие в реакциях гликолиза и сопровождается запасанием энергии аденозинтрифосфата (АТФ). Вероятно, с этим связано повышение уровня креатина и снижение уровня КК.

Липиды в организме рыб участвуют в энергетическом, пластическом, генеративном обмене, реализации процессов роста, развития и адаптации, осуществляют гидростатическую, теплоизолирующую, механическую и иммунологическую функции. Известно, что липиды благодаря гетерогенности и многообразию выполняемых в организме функций одни из наиболее информативных показателей в адаптивных процессах, отражающих их роль при воздействии на рыб как благоприятных, так и негативных факторов. Они служат источниками метаболической энергии в организме, биологических эффикторов и медиаторов. Липиды участвуют в регуляции жизненно важных функций систем, обеспечивающих оптимальный рост, развитие, состояние здоровья на всех этапах онтогенеза и адаптацию к неблагоприятным факторам среды [Шульман, 1972 (Shulman, 1972); Лапин, Шатуновский, 1981 (Lapin, Shatunovsky, 1981); Гершанович и др., 1991 (Gershanovich et al., 1991); Смирнов, Богдан, 2007 (Smirnov, Bogdan, 2007); Lloret et al., 2014]. По концентрации ОЛ можно судить об условиях нагула, содержания, интенсивности питания и иммунореактивности рыб [Микряков и др., 1979 (Mikryakov et al., 1979); Силкина, Силкин, 1986 (Silkina, Silkin, 1986); Силкина, 1988 (Silkina, 1988)]. При анализе данных липидного обмена можно отметить более низкий уровень ОЛ у особей ангелинской породы, но при этом более высокие показатели ТГ и холестерина, особенно по сравнению зеркальными карпами. Результаты, полученные после зимовки, носили противоположный характер. К концу нагульного периода у краснухоустойчивых карпов незначительно снизилось содержание ОЛ, а уровень ТГ и холестерина существенно вырос. Стоит отметить, что у особей ангелинской породы, по сравнению с другими группами исследуемых рыб, повышается содержание не только белков и углеводов, но и ТГ – самого главного источника энергии для клеток.

Анализ содержания МДА и уровня КОС не показал достоверных отличий, однако у рыб краснухоустойчивой породы эти показатели были незначительно выше, что указывает на более активные перекисеобразовательные процессы в организме. По сравнению с весенними показателями у особей ангелинской породы уровень МДА вырос, а у чешуйчатых и

зеркальных карпов снизился. Вероятно, это связано с возрастным изменением интенсивности окислительно-восстановительных процессов в организме краснухостойчивых карпов. Проведенное ранее исследование двухгодо-

ков и двухлеток этой породы показало более низкие значения содержания МДА и уровня КОС в сыворотке крови [Пронина и др., 2014, 2017 (Pronina et al., 2014, 2017)].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, определены отличия рыб ангелинской породы от других селекционных групп карпов по биохимическим показателям крови в конце нагульного периода. Более высокие уровни общего белка, глюкозы, альбумина, мочевины, щелочной фосфатазы, ТГ, холестерина и низкие АЛТ в сыворотке крови указывают на более интенсивные метаболиче-

ские процессы в организме краснухостойчивых карпов, направленные на накопление белков, запасных липидов и углеводов. Вероятно, это обусловлено особенностями породы, которые позволяют организму рыб успешно противостоять заражению возбудителями краснухи в весенний период.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-016-0019618) и частично в рамках государственного задания (тема № АААА-А18-118012690123-4).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева Л.И., Кожемякин Н.А., Кишкун А.А. Модификация методов определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой // Лаб. дело. 1988. № 11. С. 41–43.
- Гершанович А.Д., Лапин В.И., Шатуновский М.И. Особенности обмена липидов у рыб // Успехи соврем. биол. 1991. Т. 3, вып. 2. С. 207–219.
- Головина Н.А., Стрелков Ю.А., Воронин В.Н., Головин П.П., Евдокимова Е.Б., Юхименко Л.Н. Ихтиопатология. М.: Мир, 2003. 448 с.
- Илясов Ю.И. Селекция рыб на повышение устойчивости к заболеваниям // Сб. науч.тр.: Актуальные вопросы пресноводной аквакультуры. Вып.78. М.: Изд-во ВНИРО, 2002. С. 125–134.
- Лапин В.И., Шатуновский М.И. Особенности состава, физиологическое и экологическое значение липидов рыб // Успехи соврем. биол. 1981. Т. 1. С. 380–394.
- Лысанов А.В., Микряков В.Р. Особенности сезонной динамики общего белка и бактериоагглютининов у карпа (*Cyprinus carpio* L.) в условиях тепловодного хозяйства // Биология внутренних вод: Информационный бюллетень. 1990. № 86. С. 49–51.
- Микряков В.Р., Силкина Н.И., Силкин Н.Ф. Антимикробные свойства сыворотки крови рыб // Физиология и паразитология пресноводных организмов. Л.: Наука, 1979. С. 125–132.
- Микряков В.Р. Закономерности функционирования иммунной системы пресноводных рыб: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М.: ИЭМиЭЖ АН СССР, 1984. 37 с.
- Микряков Д.В., Пронина Г.И., Суворова Т.А., Соколова А.С., Петрушин А.Б., Кузьмичева С.В. Содержание иммунных комплексов, общих липидов и окислительные процессы в иммунокомпетентных органах краснухостойчивой породы карпа в конце нагульного периода // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2019а. № 8. С. 49–55.
- Микряков Д.В., Ревякин А.О., Пронина Г.И., Соколова А.С., Микряков В.Р., Петрушин А.Б. Биохимические показатели сыворотки крови краснухостойчивой породы карпа после зимовки // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2019б. Вып. 87 (90). С. 56–61. DOI: 10.24411/0320-3557-2019-10019
- Пищенко Е.В. Аэромоноз (краснуха) карпов // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2006. № 10. С. 32–34.
- Пронина Г.И., Ревякин А.О., Микряков Д.В., Силкина Н.И. Сравнительный анализ биохимических и иммунологических показателей разных селекционных групп карпа // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2014. № 8. С. 43–46.
- Пронина Г.И., Микряков Д.В., Силкина Н.И., Петрушин А.Б. Содержание иммунных комплексов и уровень окислительных процессов в сыворотке крови различных селекционных групп карпа // Труды ВНИРО. 2017. Т. 167. С. 24–29.
- Семенов В.Л., Ярош А.М. Метод определения антиокислительной активности биологического материала // Укр. биохим. журнал. 1985. Т. 57, № 3. С. 50–52.
- Силкин Н.Ф., Силкина Н.И. Сезонная динамика белков и липидов в сыворотке крови синца // Биол. внутр. вод: Информационный бюллетень. 1986. № 71. С. 39–41.
- Силкина Н.И. Сезонная динамика липидов сыворотки крови и ее связь с иммунологической реактивностью: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. 1988, 25 с.
- Смирнов Л.П., Богдан В.В. Липиды в физиолого-биохимических адаптациях эктотермных организмов к абиотическим и биотическим факторам среды. М.: Наука, 2007. 182 с.
- Суворова Т.А., Пронина Г.И., Микряков Д.В., Петрушин А.Б. Состав лейкоцитов периферической крови и иммунокомпетентных органов краснухостойчивой породы карпа в конце нагульного периода // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2019. № 3 (43). С. 25–29. DOI: 10.24411/2074-5036-2019-10034.

- Шатуновский М.И. Экологические закономерности обмена веществ морских рыб. М.: Наука, 1980. 238 с.
- Шульман Г.Е. Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. М.: Пищевая промышленность, 1972. 368 с.
- Folch J., Lees M., Stanley G.N. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animals tissues // *J. Biol. Chem.* 1957. Vol. 226. № 3. P. 497–509.
- Kirpichnikov V.S., Ilyasov Ju.I., Shart L.A., Vikhman A.A., Ganchenko M.V., Ostashevsky A.L., Simonov V.M., Tikhonov G.F. and Tjurin V.V. Selection of Krasnodar common carp (*Cyprinus carpio* L.) for resistance to dropsy: principal results and prospects // *Aquaculture*. 1993. Vol. 111. P. 7–20. DOI:10.1016/0044-8486(93)90020-Y
- Lloret J., Shulman G., Love R.M. Condition and health indicators of exploited marine fishes. Wiley Blackwell, 2014. P. 247.
- Schaperclaus W. Fischkrankheiten. Berlin: Academic-Verlag, 1979. Vol. 1. 510 p.
- Uren Webster T.M., Rodriguez-Barreto D., Martin S.A.M., van Oosterhout C., Orozco-terWengel P., Cable J, Hamilton A., Garcia de Leaniz C., Consuegra S. Contrasting effects of acute and chronic stress on the transcriptome, epigenome, and immune response of Atlantic salmon // *Epigenetics*. 2018 Vol. 13. №. 12. P. 1191–1207. DOI: 10.1080/15592294.2018.1554520
- Van Muiswinkel W., Vervoorn-Van Der Wal B. The immune system of fish // *Fish Diseases and Disorders*. 2006. Vol. 1. P. 678–701.
- Wendelaar Bonga S.E. The stress response in fish // *Physiol. Rev.* 1997. Vol. 77. № 3. P. 591–625.

## REFERENCES

- Andreeva L.I., Kozhemyakin N.A., Kishkun A.A. Modifikatsiya metodov opredeleniya perekisej lipidov v teste s tiobarbiturovoj kislotoj [Modification of methods for determining lipid peroxides in the test with thiobarbituric acid]. *Laboratornoe delo*, 1988, no. 11, pp. 41–43. (In Russian)
- Folch J., Lees M., Stanley G.N. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animals tissues. *J. Biol. Chem.*, 1957, vol. 226, no. 3, pp. 497–509.
- Gershanovich A.D., Lapin V.I., Shatunovskij M.I. Osobennosti obmena lipidov u ryb [Features of lipid metabolism in fish]. *Uspekhi sovrem. biol.* [Biology Bulletin Reviews], 1991, Bd. 3, vol. 2, pp. 207–219. (In Russian)
- Golovina N.A., Strelkov Yu.A., Voronin V.N., Golovin P.P., Evdokimova E.B., Yuhimenko L.N. *Ihtopatologiya*. Moscow: Mir, 2003. 448 p. (In Russian)
- Ilyasov Yu.I. Selekcija ryb na povyshenie ustojchivosti k zabolevaniyam [Fish breeding to increase disease resistance]. *Sb. nauch. tr.: Aktual'nye voprosy presnovodnoj akvakul'tury*. Moscow, VNIRO, 2002, vol. 78, pp. 125–134. (In Russian)
- Kirpichnikov V.S., Ilyasov Ju.I., Shart L.A., Vikhman A.A., Ganchenko M.V., Ostashevsky A.L., Simonov V.M., Tikhonov G.F. and Tjurin V.V. Selection of Krasnodar common carp (*Cyprinus carpio* L.) for resistance to dropsy: principal results and prospects. *Aquaculture*, 1993, vol. 111, pp. 7–20. doi:10.1016/0044-8486(93)90020-Y
- Lapin V.I., SHatunovskij M.I. Osobennosti sostava, fiziologicheskoe i ekologicheskoe znachenie lipidov ryb [Features of the composition, physiological and environmental significance of fish lipids]. *Uspekhi sovrem. biol.* [Biology Bulletin Reviews], 1981, bd. 1, pp. 380–394. (In Russian)
- Lloret J., Shulman G., Love R.M. *Condition and health indicators of exploited marine fishes*. Wiley Blackwell, 2014. P. 247.
- Lysanov A.V., Mikryakov V.R. Osobennosti sezonnoj dinamiki obshchego belka i bakterioagglutininov u karpa (*Cyprinus carpio* L.) v usloviyah teplovodnogo hozyajstva [Peculiarities of seasonal dynamics of total protein and bacterioagglutinins in carp (*Cyprinus carpio* L.) under conditions of warm water economy]. *Biologiya vnutrennih vod: Informacionnyj byulleten'*, 1990, no. 86, pp. 49–51. (In Russian)
- Mikryakov V.R., Silkina N.I., Silkin N.F. *Antimikrobnnye svoystva syvorotki krovi ryb. Fiziologiya i parazitologiya presnovodnyh organizmov* [Antimicrobial properties of fish serum. Physiology and Parasitology of Freshwater Organisms]. Leningrad: Nauka, 1979, pp. 125–132. (In Russian)
- Mikryakov V. R. *Regularities of functioning of the immune system of freshwater fish*. Extended Abstract of Doct. Biol. Sci. Diss. Moscow, 1984. 37 p. (In Russian)
- Mikryakov D. V., Pronina G. I., Suvorova T. A., Sokolova A. S., Petrushin A. B., Kuzmicheva S. V. Soderzhanie immunnykh kompleksov, obshchih lipidov i okislitel'nye protsessy v immunokompetentnyh organah krasnuhoustojchivoj porody karpa v kontse nagul'nogo perioda [Content of immune complexes, total lipids and oxidative processes in immunocompetent organs of rubella-resistant carp breed at the end of the feeding period]. *Rybovodstvo i rybnoe hozyajstvo*, 2019 a, no. 8, pp. 49–55. (In Russian)
- Mikryakov D.V., Revyakin A.O., Pronina G.I., Sokolova A.S., Mikryakov V.R., Petrushin A.B. Biohimicheskie pokazateli syvorotki krovi krasnuhoustojchivoj porody karpa posle zimovki [Biochemical parameters of blood serum of rubella-resistant carp breed after wintering]. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2019 b, iss. 87 (90), pp. 56–61. doi: 10.24411/0320-3557-2019-10019 (In Russian)
- Pishchenko E.V. Aeromonoz (krasnuha) karpov [Aeromonosis (rubella) carp]. *Rybovodstvo i rybnoe hozyajstvo*, 2006, no. 10, pp. 32–34. (In Russian)
- Pronina G.I., Revyakin A.O., Mikryakov D.V., Silkina N.I. Sravnitel'nyj analiz biohimicheskikh i immunologicheskikh pokazatelej raznykh selekcionnykh grupp karpa [Comparative analysis of biochemical and immunological parameters of different breeding groups of carp]. *Rybovodstvo i rybnoe hozyajstvo*, 2014, no. 8, pp. 43–46. (In Russian)

- Pronina G.I., Mikryakov D.V., Silkina N.I., Petrushin A.B. Soderzhanie immunnykh kompleksov i uroven' okislitel'nykh processov v syvorotke krovi razlichnykh selekcionnykh grupp karpa [The content of immune complexes and the level of oxidative processes in the blood serum of various breeding groups of carp]. *Trudy VNIRO*, 2017, bd. 167, pp. 24–29. (In Russian)
- Schaperclaus W. *Fischkrankheiten*. Berlin, Academic-Verlag, 1979, vol. 1. 510 p.
- Semenov V.L., Jarosh A.M. Metod opredeleniya antiokislitel'noj aktivnosti biologicheskogo materiala [Method for determining the antioxidant activity of biological material]. *Ukrainskij biohimicheskij zhurnal*, 1985, vol. 57, no. 3, pp. 50–52. (In Russian)
- Shatunovsky M. I. *Ekologicheskie zakonomernosti obmena veschestv morskikh ryb* [Ecological regularities of metabolism of marine fish]. Moscow: Nauka, 1980, 238 p. (In Russian)
- Shul'man G.E. *Fiziologo-biohimicheskie osobennosti godovykh ciklov ryb* [Physiological and biochemical characteristics of annual fish cycles]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1972, 368 p. (In Russian)
- Silkin N.F., Silkina N.I. Sezonnaya dinamika belkov i lipidov v syvorotke krovi sinca [Seasonal dynamics of protein and lipids in the blood serum of Sintz]. *Biologiya vnutrennih vod: Informacionnyj byulleten'*, 1986, no. 71, pp. 39–41. (In Russian)
- Silkina N.I. *Seasonal dynamics of serum lipids and its relationship with immunological reactivity*. Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss. Moscow, 1988. 25 p. (In Russian)
- Smirnov L.P., Bogdan V.V. *Lipidy v fiziologo-biohimicheskikh adaptatsiyah ektotermnykh organizmov k abioticheskim i bioticheskim faktoram sredy* [Lipids in physiological and biochemical adaptations of ectothermic organisms to abiotic and biotic environmental factors]. Moscow: Nauka, 2007, 182 p. (In Russian)
- Suvorova T.A., Pronina G.I., Mikryakov D.V., Petrushin A.B. Sostav lejkocitov perifericheskoy krovi i immunokompetentnykh organov krasnuhoustojchivoj porody karpa v konce nagul'nogo perioda [The composition of peripheral blood leukocytes and immunocompetent organs of the rubella-resistant carp breed in end of the feeding period]. *Aktual'nye voprosy veterinarnoy biologii*, 2019, no. 3 (43), pp. 25–29. doi: 10.24411/2074-5036-2019-10034. (In Russian)
- Uren Webster T.M., Rodriguez-Barreto D., Martin S.A.M., van Oosterhout C., Orozco-terWengel P., Cable J, Hamilton A., Garcia de Leaniz C., Consuegra S. Contrasting effects of acute and chronic stress on the transcriptome, epigenome, and immune response of Atlantic salmon. *Epigenetics*, 2018, vol. 13, no. 12, pp. 1191–1207. doi: 10.1080/15592294.2018.1554520
- Van Muiswinkel W., Vervoorn-Van Der Wal B. The immune system of fish. *Fish Diseases and Disorders*, 2006, vol. 1, ch. 18, pp. 678–701.
- Wendelaar Bonga S. E. The stress response in fish. *Physiol. Rev.*, 1997, vol. 77, no. 3, pp. 591–625.

## BIOCHEMICAL INDICES OF BLOOD SERUM OF RUBELLA-RESISTANT CARP BREED AT THE END OF THE FEEDING PERIOD

D. V. Mikryakov<sup>1</sup>, A. O. Revyakin<sup>2</sup>, G. I. Pronina<sup>3</sup>, A. S. Sokolova<sup>1</sup>, A. B. Petrushin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences  
152742 Borok, Russia, e-mail: daniil@ibiw.ru*

<sup>2</sup>*Scientific Center of Biomedical Technologies; 143442 Svetlye Gory, Russia,*

<sup>3</sup>*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Moscow Agricultural Academy  
127550 Moscow, st. Timiryazevskaya, 49*

<sup>4</sup>*All-Russian Research Institute of Irrigation Fish Culture; 142460 Vorovskogo, Russia*

Biochemical parameters of blood serum in resistant and susceptible to rubella pathogens groups of carp at the end of the feeding period are studied. The material was taken from 6 individuals of the Angelina scaly rubella-resistant breed kept at the experimental pond base “Sunoga” of the Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Yaroslavl oblast. For comparison, we used same-age carps from the fish farm “Kirya”, Chuvash Republic, susceptible to rubella pathogens: 8 specimens of scaly and 8 mirror carps. Blood samples were taken from the caudal vein of the fish under study. The tube with blood was left at room temperature. After coagulation, the serum was taken with a fine needle syringe and transferred to an Eppendorf tube. Serum samples were frozen prior to testing. The analyzed individuals of the Angelina rubella-resistant breed differ from the scaly and mirror carp in high levels of total protein, albumins, glucose, urea, alkaline phosphatase, triglycerides, cholesterol and low levels of lipids and alanine aminotransferase. A comparative analysis with previously obtained data after wintering shows differences between the autumn and spring data. In the Angelina breed, the levels of most indicators significantly increase during the fattening period. The content of total protein increases several times, mainly due to globulins, glucose, urea, alkaline phosphatase, triglycerides. Thus, the metabolic processes aimed at the accumulation of proteins, stored lipids and carbohydrates increase in the organism of rubella-resistant carps. This is probably due to some specific characteristics of the Angelina breed, which allows the fish organism to successfully resist an infection with rubella pathogens in spring. The results of this study can be used in breeding for immunity resistance and for assessing the health status of fish in aquaculture.

*Keywords:* angelina rubella-resistant carp breed, blood serum, biochemical parameters, immune resistance