



## Аквакультура

# Влияние растворов хлорида натрия на рост и выживаемость молоди австралийского красноклешнёвого рака

А.М. Анцупова<sup>1,4</sup>, Д.В. Шумейко<sup>2,3</sup>, Д.Н. Скафарь<sup>1,2,4</sup>, А.Д. Марков<sup>1</sup>, Е.Е. Кошелева<sup>1,4</sup>,  
С.О. Борисова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Кубанский государственный университет (ФГБОУ ВО «КубГУ»), ул. Ставропольская, 149, г. Краснодар, 350040Ю, Россия

<sup>2</sup> Научно-производственный центр «АкваТехБиоТоп» (ООО НПЦ «АкваТехБиоТоп»), ул. Парусная, 10, Краснодар, 350061, Россия

<sup>3</sup> Международный Таразский инновационный институт им. Ш. Муртазы, пр-т Жамбыла 75 а, Тараз, 080014, Казахстан

<sup>4</sup> Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») ул. Береговая, 21 в, Ростов-на-Дону, 344002, Россия

E-mail: dima-shum-92@mail.ru

SPIN-коды: Шумейко Д.В. – 4774-4173; Скафарь Д.Н. – 4098-0659

**Цель работы:** изучить влияние воды с различным содержанием хлорида натрия на основные биологические показатели молоди австралийского красноклешнёвого рака *Cherax quadricarinatus*.

**Используемые методы:** при выполнении экспериментальной работы в течение 30 суток определяли основные биологические характеристики молоди *C. quadricarinatus* исходной массой 0,64±0,27 г и длиной 31±5 мм при её подращивании в воде с содержанием хлорида натрия 0, 5, 10 и 15 г/л и контролировали выживаемость, рост, физиологическое состояние особей.

**Новизна:** элементами новизны представленного исследования является выявление негативного влияния воды с концентрацией хлорида натрия 5–15 г/л на выживаемость, размерно-массовые и физиологические характеристики молоди.

**Результат:** выживаемость исследуемой молоди на 30-е сутки эксперимента в пресной воде составила 65%. В воде с содержанием хлорида натрия 5 г/л показатель был значительно ниже – 23,3%. В вариантах эксперимента с более высокими концентрациями соли (10, 15 г/л NaCl) к 20-м суткам все особи погибли. Средняя масса особей (1,70±0,80 г) в контрольной группе увеличилась в среднем на 166% от исходной (0,64±0,27 г). Более низкие значения массы получены при содержании соли 5 г/л – 1,00±0,49 г. Данный результат по окончании исследований был достоверно ( $p < 0,05$ ) ниже на 41%, чем в контрольной группе. Средняя длина особей (43±8 мм) в контрольной группе увеличилась на 39% (исходная длина – 31±5 мм). Концентрация гемоцианина у молоди, содержащейся в воде с солёностью 5 г/л ниже (недостоверно), чем у контрольной группы на 16%. Выявлены внешние признаки развития ржаво-пятнистого заболевания.

**Практическая значимость:** полученные результаты могут быть использованы при культивировании *C. quadricarinatus*. Описана предельно допустимая концентрация хлорида натрия. Считается допустимым содержание молоди рака в воде с концентрацией хлорида натрия не более 5 г/л в течение 10 суток.

**Ключевые слова:** ракообразные, *Cherax quadricarinatus*, молодь, гемолимфа, гемоцианин, хлорид натрия, меланизация, микозы.

## Influence of sodium chloride solutions on the juvenile Australian red-clawed growth and survival

Anastasia M. Antsupova<sup>1,4</sup>, Dmitry V. Shumeyko<sup>2,3</sup>, Denis N. Skafar<sup>1,2,4</sup>, Alexey D. Markov<sup>1</sup>,  
Elizaveta E. Kosheleva<sup>1,4</sup>, Sofia O. Borisova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kuban State University («KubSU»), 149, Stavropol str., Krasnodar, 350040 Russia

<sup>2</sup> Scientific Production Center «AquaTechBioTope» (LLC SPC «AquaTechBioTope»), st. Parusnaya, 10, Krasnodar, 350061, Russia

<sup>3</sup> International Taraz Innovative Institute named after Sh. Murtaza, Zhambyla Ave. 75a, Taraz, 080014, Kazakhstan

<sup>4</sup> Azov-Black Sea branch of «VNIRO» («AzNIIRKH»), 21b, Beregovaya st., Rostov-on-Don, 344002, Russia

**The purpose of the work:** to study the effect of water with different sodium chloride content on the main biological parameters of the juvenile Australian red-clawed crayfish *Cherax quadricarinatus*.

**Methods used:** when performing experimental work for 30 days, the main biological characteristics of juvenile *C. quadricarinatus* with an initial mass of 0.64±0.27 g and a length of 31±5 mm were determined when it was grown in water with a sodium chloride content of 0, 5, 10 and 15 g/l and controlled the survival, growth, physiological state of individuals.

**Novelty:** the novelty elements of the presented study are the identification of the negative effect of water with a sodium chloride concentration of 5–15 g/l on survival, size, mass and physiological characteristics of juveniles.

**Result:** the survival rate of the studied juveniles on the 30th day of the experiment in fresh water was 65%. In water with a sodium chloride content of 5 g/l, the indicator was significantly lower – 23.3%. In the variants

of the experiment with higher salt concentrations (10.15 g/l NaCl), by the 20th day all individuals died. The average weight of individuals ( $1.70 \pm 0.80$  g) in the control group increased by an average of 166% from the baseline ( $0.64 \pm 0.27$  g). Lower mass values were obtained at a salt content of 5 g/l –  $1.00 \pm 0.49$  g. This result was significantly ( $p < 0.05$ ) lower by 41% than in the control group. During the experiment, the average length of individuals ( $43 \pm 8$  mm) in the control group increased by an average of 39% from the original ( $31 \pm 5.0$  mm). The concentration of hemocyanin in juveniles contained in water with a salinity of 5 g/l is lower than in the control group by 16%. External signs of the development of rust-spotted disease have been identified.

**Practical significance:** the results obtained can be used in the cultivation of the *C. quadricarinatus*. It is considered acceptable to keep crayfish juveniles in water with a sodium chloride concentration of not more than 5 g/l for 10 days.

**Keywords:** crustaceans, *Cherax quadricarinatus*, juvenile, hemolymph, hemocyanin, sodium chloride, melanization, fungal disease.

## ВВЕДЕНИЕ

Австралийский красноклешнёвый рак *Cherax quadricarinatus* (VonMartens, 1868), является перспективным объектом аквакультуры [Лагуткина, Пономарев, 2008; Хорошко, Крючков, 2010]. Работы по освоению *C. quadricarinatus*, как объекта разведения, начаты ещё в 80-х гг. прошлого века. Однако его потенциал раскрыт не в полной мере [Жигин и др., 2017б]. Актуальной задачей является нахождение путей и методов интенсификации производства этого ракообразного. Есть ряд способов для достижения этого: применение оптимальной температуры воды при выращивании [García-Guerrero et al., 2013; Жигин и др., 2017а], подбор оптимальных рецептов кормов [Cortes-Jacinto et al., 2004; 2005; Лагуткина и др., 2016], использование синбиотиков [Amrullah, Wahidah, 2019] и воды с изменёнными физико-химическими свойствами [Шумейко, Ротарь, 2018].

В рыбоводной практике в различных целях давно используют поваренную соль, хлорид натрия (NaCl). Её применение может способствовать повышению эффективности инкубационного процесса, увеличению прироста и выживаемости; помимо этого она используется в профилактике и лечении заболеваний у различных видов рыб [Васильева и др., 2012; Гук, Барулин, 2019; Гарлов, Шинкаревич, 2019; Гарлов и др., 2020; Ефремова и др., 2020; и др.].

*C. quadricarinatus* обитает в пресноводных водоёмах, но известна его высокая устойчивость к солёной воде. В естественных условиях рак сталкивается с солёной водой в сухой сезон или после затопления, при перемещении в эстуарии рек. Однако, несмотря на устойчивость рака к повышенному содержанию хлорида натрия, Н. Примачок с соавторами [Prymaczok et al., 2008; 2012] выявили снижение темпов роста при температуре 20 °C и солёности 10 г/л. Уменьшение выживаемости (от 75 до 40%) наблюдали у молоди *C.*

*quadricarinatus*, содержащейся в течение 70 сут. при солёности выше 5 г/л [Meade et al., 2002].

В хозяйствах по выращиванию рака *C. quadricarinatus* при проведении предпродажной подготовки раков для улучшения их вкусовых качеств в течение непродолжительного времени (от 24 до 48 часов) выдерживают в воде с солёностью до 25 г/л. При более высокой солёности *C. quadricarinatus* высвобождает свободные аминокислоты для достижения осмотического баланса; эти свободные аминокислоты отвечают за изменение вкуса мяса [Prymaczok et al., 2008; 2012].

Существуют работы по изучению влияния разных уровней солёности на микробиоту кишечника, иммунную реакцию и биохимию [Shubin et al., 2020]. При выращивании австралийского красноклешнёвого рака в течение 35 сут. в воде с солёностью 0, 5, 10 и 15 г/л не было статистически достоверных различий в темпе роста, выживаемости и упитанности во всех опытных группах [Shubin et al., 2022]. Л. Шубин с соавторами [Shubin et al., 2022] полагают, что солёность способствует формированию определённой устойчивой микрофлоры путём усиления межвидовых взаимодействий. Эта микрофлора может способствовать пищеварению и питанию хозяина, а также защищать от заражения экзогенными патогенными бактериями.

Проведены исследования по влиянию солёности воды на ранние этапы развития икры *C. quadricarinatus* с использованием морской воды в диапазоне от 2,5 до 20,0 г/л с шагом 2,5 г/л и тремя значениями солёности NaCl: 1, 2, 5 и 5,0 г/л. Показатели вылупления в обоих случаях аналогичны, однако внесение NaCl сильно повлияло на выживаемость личинок – все они погибли к 11 сут. [Anson, Rouse, 1994]. В другой работе [Meade et al., 2007] молодь австралийского красноклешнёвого рака массой 10 мг подвергалась воздействию различных температур от 16 до 32 °C и солёно-

сти от 0 до 30 г/л, при этом выявлена зависимость от этих факторов темпов роста, скорости метаболизма, частоты линьки и выживаемости. Максимальная прибавка в весе и частота линьки наблюдались при солёности 0 и 5 г/л (28 °С); однако выживаемость снижалась при солёности  $\geq 5$  г/л. При комбинации режимов с двумя температурами (20 и 27 °С) и тремя уровнями солёности (0, 5 и 10 г/л) в течение 30 сут. выявлено значительное снижение темпов роста молоди массой 5 г при 20 °С и солёности 10 г/л. Уровни натрия и калия в гемолимфатической системе значительно возрастали с увеличением солёности, но только при 20 °С [Prymaczok et al., 2012].

Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют, что как молодь, так и взрослые особи способны выдерживать влияние низкой солёности, но при её увеличении наблюдается снижение скорости роста, выживаемости и других показателей. Исследование влияния солёности может помочь оценить потенциал и способствовать развитию технологий культивирования раков *C. quadricarinatus* в солоноватоводных водоёмах в условиях острого дефицита пресных водных ресурсов в некоторых регионах мира [Черных, Старостин, 2014; Ежегодник ИМИ – 2013; 2013; Данилов-Данильян, 2009].

Целью настоящей работы является изучение влияния воды с различным содержанием хлорида натрия на основные биологические показатели молоди австралийского красноклешнёвого рака (*C. quadricarinatus*).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в лаборатории перспективных технологий в аквакультуре на базе бизнес-инкубатора ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» в период с 03.07.2022 по 03.08.2022. Объектом исследования являлась молодь *C. quadricarinatus* начальной массой от 0,2 до 1,3 г ( $0,6 \pm 0,3$  г) и размером от 20 до 42 мм ( $31 \pm 5$  мм).

Для содержания контрольной группы и приготовления экспериментальных растворов хлорида натрия (NaCl) (сорт «Экстра», не йодированная) использовали отстоянную в течение суток водопроводную воду.

Общее количество раков в эксперименте составляло 240 особей. Всего были выделены 4 группы: контрольная, содержащаяся в воде без внесения соли, и 3 экспериментальные с концентрацией хлорида натрия 5, 10, 15 г/л. Каждый вариант опыта выполнен в двух повторностях. Молодь раков разместили в 8 пластиковых ёмкостях с внешними габаритами 70,0×38,0×28,5 см, объёмом 60 л (рабочий объём 30 л), высота уровня воды 20 см, площадь дна

0,16 м<sup>2</sup>. В каждой ёмкости исходно посадили по 30 экз. молоди, что соответствовало плотности посадки 192 экз./м<sup>2</sup>.

Аэрацию воды осуществляли компрессором Hailea ACO-500 (Китай). Температуру воды поддерживали на уровне, оптимальном для культивирования красноклешнёвых раков [Борисов и др., 2013] 24,8–27,9 °С ( $26,4 \pm 2,0$  °С), ввиду проведения опыта в летний период вода дополнительно не подогревалась.

Для снижения уровня каннибализма использовали многоэтажные укрытия из поликарбоната и пластиковой сетки в соответствии с размерными характеристиками молоди. Кормление производили дважды в сутки гранулированным кормом Coppens TOP 1,0 мм («Alltech Coppens B.V.», Нидерланды) (белок 58%, жир 18%, зола 10,2%, фосфор 1,54%). Норма кормления составляла 3% от биомассы для каждой группы [Шумейко, 2022].

Ежедневно производили подмену 10 л воды, предварительно доведя воду, предназначенную для экспериментальных групп, до нужной концентрации, удаляли несъеденный корм и погибших особей.

Контроль за основными гидрохимическими показателями (аммоний, нитриты, нитраты, pH) проводили раз в три дня. Для их измерения использовали колориметрические тесты марки «Sera» (Германия) и «Ari» (США). В течение эксперимента данные показатели находились в пределах рыбоводных норм. Контроль температуры воды осуществляли с помощью комбинированного pH/EC/TDS-метр Hanna Combo HI 98129 (Китай) ежедневно. За нормы состояния среды условно приняты значения показателей, приводимые О. В. Пятикоповой с соавторами [2022].

В начале эксперимента измеряли длину и массу особей. Продолжительность опыта составила 30 сут., начиная с нулевых суток. В течение первых 8 сут. воду в экспериментальных ёмкостях подсаживали по 2,5 г/л ежедневно, чтобы молодь была адаптирована к требуемой солёности. Для определения концентрации соли в воде использовали рефрактометр АТС (Китай).

Каждые 10 сут. оценивали выживаемость, индивидуальную массу и корректировали суточную норму кормления с учётом изменения численности и биомассы (суммы масс всех особей в одной ёмкости) в экспериментальных группах. Определение общей длины тела (в начале и в конце эксперимента) (L) [Борисов и др., 2011] производили линейкой с точностью до 1 мм; массу тела (m) взвешивали на электронных весах MEM-EBS («Mergury», Южная Корея) с точностью до 0,01 г. Перед взвешиванием молодь рака обсушивали полотенцем для удаления излишков воды.

Исследование внешних покровов раков проводили с применением микроскопа МБС-10.

Гемолимфу отбирали из вентрального синуса шприцом объемом 2 мл с иглой 23G. В качестве антикоагулянта использовали четырёхпроцентный раствор Трилона-Б (ЭДТА- $\text{Na}_2$ ) (BASF, Китай). Для определения концентрации гемоцианина гемолимфу в объеме 40 мкл центрифугировали при 3000 об./мин. в течение 15 мин., затем к пробе добавляли 3960 мкл дистиллированной воды. Оптическую плотность проб определяли при 335 нм на спектрофотометре Leki SS2107UV, концентрацию гемоцианина выражали в мМ/л и рассчитывали по формуле [Wu et al., 2017]:

$$E_{335} = 2,69 \times \text{ОП}_{335},$$

где:  $\text{ОП}_{335}$  – оптическая плотность пробы; 2,69 – экстинкция для гемоцианина при длине волны 335 нм [Nickerson, Van Holde, 1971].

Вычисляли следующие показатели: среднее значение ( $\bar{x}$ ), среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ ), медиана ( $Me$ ) (50%), 25-й (25%) и 75-й процентиль (75%). Статистическую достоверность отличий в группах выявляли с помощью U-критерия Манна-Уитни для непараметрических и независимых групп. Различия считались статистически достоверными при  $p < 0,05$ . Для обнаружения корреляционных связей использовали коэффициент корреляции Спирмена, корреляция считалась статистически достоверной при  $p < 0,05$ . Расчёты и графическое оформление полученных данных проводили с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 14.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Молодь групп, содержащихся в растворах с содержанием хлорида натрия 10 и 15 г/л, не дожила до

конца эксперимента, погибнув на 20-е сутки. При анализе результатов эксперимента использовали данные, полученные в контроле и при концентрации хлорида натрия 5 г/л. Выживаемость в конце эксперимента в контрольной группе составила 65%, в то время как в группе с солёностью с концентрацией соли 5 г/л – 23%. Наибольшее расхождение в выживаемости между экспериментальной и контрольной группами (47%) начинается на 20-е сутки, составляя, соответственно, 31,7 и 78,3% (рис. 1).

На вторые сутки в контрольной и опытных группах отмечено появление признаков возникновения заболеваний (рис. 2). В контрольной группе признаки заболевания наблюдались у единичных особей.

Этим можно объяснить высокую смертность в опытных группах с содержанием соли 10 и 15 г/л, вызванную заболеванием на фоне ухудшения физиологического состояния и ослабления иммунитета.

В конце эксперимента средняя масса особей в контрольной и экспериментальной (содержание в растворе соли с концентрацией 5 г/л) группах увеличилась с 0,56–0,59 до 1,47 и 0,91 г (рис. 3). Различия, составившие 62%, были статистически достоверны ( $p < 0,05$ ). Максимальные значения увеличились в 3 раза (от 1,2 до 3,5 г) в контроле и в 2 раза (до 2,4 г), в воде с увеличенной солёностью. Минимальные размеры увеличились в 3,3 в контроле и всего в 1,4 раза в опытной группе. Длина при этом увеличилась от 31 до 42 и 37 мм (в контроле и опытной группе, соответственно); различия между группами составили 14%.

Коэффициент вариации массы тела изменялся во времени незначительно от 41,1–44,9%, в начале опыта, до 47,7% в контрольной группе и 49,2% в группе с солёностью 5 г/л в конце эксперимента. Это может говорить об отсутствии в рамках эксперимента выра-

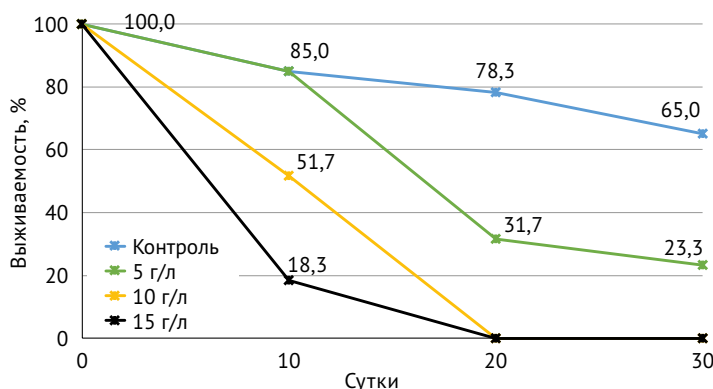


Рис. 1. Выживаемость молоди *C. quadricarinatus* в течение эксперимента в зависимости от концентрации хлорида натрия в воде при культивировании

Fig. 1. Survival of *C. quadricarinatus* juveniles during the experiment depending on the concentration of sodium chloride in water during cultivation

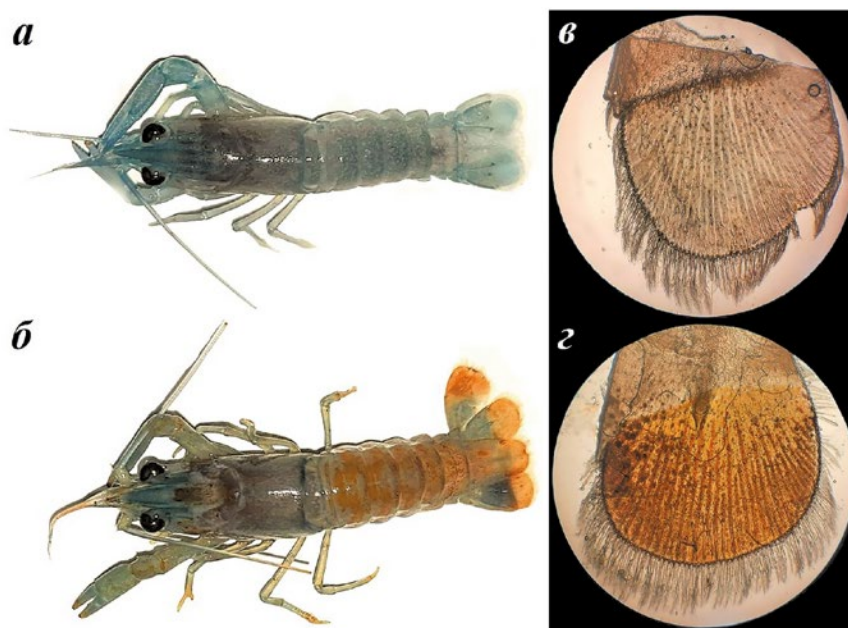


Рис. 2. Молодь *C. quadricarinatus* по окончании эксперимента: а – здоровый рак; б – рак, поражённый микозным заболеванием; в – уropода здорового рака (увеличение 16×); г – уropода рака с признаками поражения микозным заболеванием (увеличение 16×)

Fig. 2. Juvenile *C. quadricarinatus* at the end of the experiment: a – healthy cancer; b – cancer affected by mycotic disease; c – uropod of healthy cancer (16× magnification); d – uropod of cancer, with signs of mycotic disease (16× magnification)

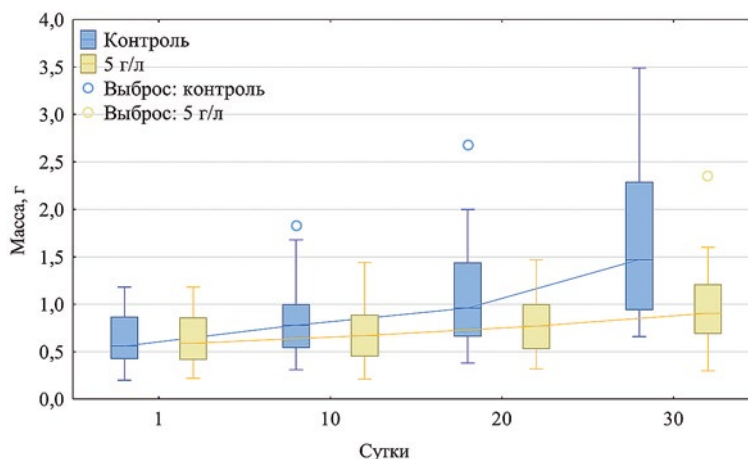


Рис. 3. Динамика массы молоди *C. quadricarinatus* в контрольной и экспериментальной (5 г/л) группе (без учета экстремальных значений)

Fig. 3. Dynamics of the mass of *C. quadricarinatus* juveniles in the control and experimental (5 g/l) groups (excluding extreme values)

женного прессинга крупными особями изначально отстающих и среднеразмерных.

Для оценки размерного состава молоди, полученной в конце эксперимента, составлены вариационные ряды (рис. 4). Анализ проводился по семи размерным классам с интервалами по 0,5 г для массы и 5 мм для длины. Результаты отличаются отсутствием ярко выраженного доминирования какого-либо размерного (как по длине, так и по массе) класса в контрольной

группе и наличием такового доминирования в опытной группе. Преобладающее количество молоди рака в группе, находившейся в подсолённой воде, преобладали раки длиной 35–39 мм (0,3–0,79 г).

Соотношение массы и длины характеризовалось хорошей корреляцией, достигавшей 0,90 у контрольной группы и 0,97 в опытной группе (рис. 5).

Дополнительно было проведено определение содержания гемоцианина в гемолимфе раков (рис. 6).



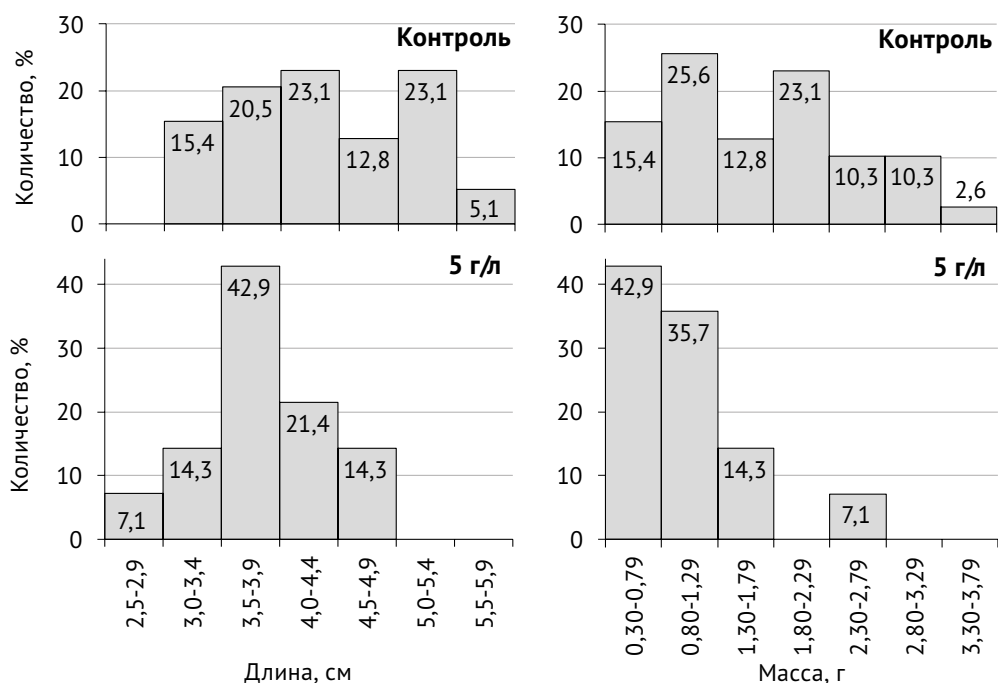


Рис. 4. Вариационные ряды длины и массы молоди *C. quadricarinatus* по окончании эксперимента  
 Fig. 4. Variation series of length and mass of *C. quadricarinatus* juveniles at the end of the experiment

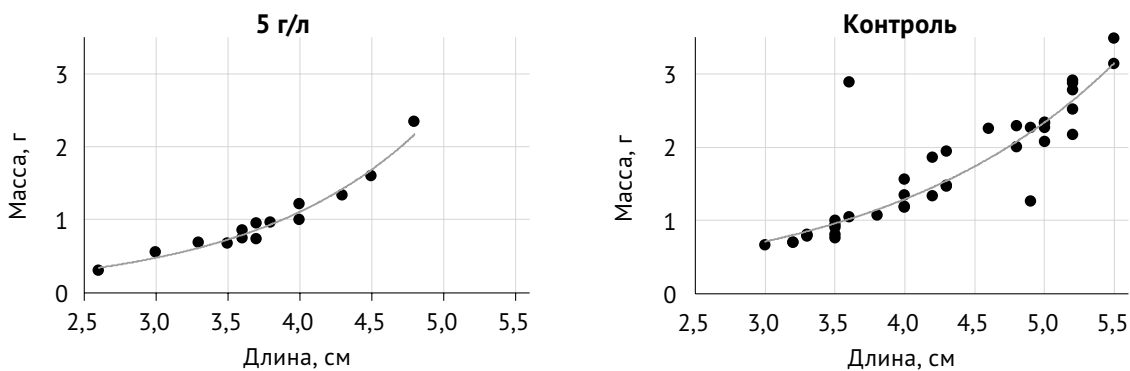


Рис. 5. Соотношение длины и массы тела молоди *C. quadricarinatus* по окончании эксперимента  
 Fig. 5. The ratio of length and body weight of *C. quadricarinatus* juveniles at the end of the experiment



Рис. 6. Концентрация гемоцианина в гемолимфе у молоди *C. quadricarinatus* по окончании эксперимента  
 Fig. 6. Hemocyanin concentration in *C. quadricarinatus* juveniles at the end of the experiment

Среднее значение концентрации гемоцианина у раков, содержащихся в воде с солёностью 5 г/л, было ниже, чем у контрольной группы на 16,3% – 0,36 против 0,43 мМ/л, однако отмеченные различия не были статистически значимы ( $p > 0,05$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты в контрольной группе соотносятся со значениями, полученными в других исследованиях [Shumeiko et al., 2020; Шумейко и др., 2022; Борисов и др., 2022]. Так, при выращивании молоди *S. quadricarinatus* навеской от 0,6 до 2,1 г в течение 20 сут. с температурой воды 26–28 °С при плотности посадки 132 экз./м<sup>2</sup> в живых осталось 77% особей [Shumeiko et al., 2020]. В течение 16 сут., при более высокой температуре 27,1–29,5 °С от средней массы 0,6 до 1,1 г и размещении 383 экз./м<sup>2</sup>, получены наиболее близкие к нашим, но уже меньшие, значения в 64,4% [Шумейко и др., 2022].

В сравнении с контролем, в котором наблюдается соответствие объёмов массовых и линейных классов, это может говорить о сниженных показателях «упитанности» рака. Понятие упитанности является классической характеристикой физиологического состояния рыбы [Щербина, Гамыгин, 2006], так как, по мере изменения её длины, другие пластические показатели могут сильно варьировать в зависимости от условий содержания, что в свою очередь влияет на итоговую массу тела. У рака, в связи с неизменностью размерных характеристик хитинового покрова в период между линьками, это может говорить об отклонениях в развитии органов, слабом развитии мышечного волокна, потере конечностей из-за агрессивного поведения (данное явление в экспериментальных группах выражено одинаково умеренно) либо нарушении водно-солевого баланса.

Идентификация возбудителя должна проводиться путём микроскопирования тканей, а также соскобов по наличию в них патогенных бактерий, мицелиев, спорангиев, шарообразных групп зооспор; образцы при необходимости культивируют на питательных средах с контрольным заражением. В данном исследовании диагноз ставился на основании клинической картины, которая особо чётко проявилась у особей в опытной группе с солёностью 5 г/л. Согласно описаниям, приводимым в работах Е. Н. Александровой и К. Л. Тарасова [Александрова, Тарасов, 2015; Тарасов, Александрова, 2015], практически у всех раков наблюдаемые симптомы в той или иной степени соответствовали микозу и, возможно, были связаны с оомицетами и микроскопическими грибами. Индукторами данного заболевания часто выступают грибы рода *Fusarium* (по российской классификации –

*Septocylindrium*), а также широко распространённый в российских водах *Saprolegnia parasitica*, инфицирующий различные виды гидробионтов [Alexandrova, Tarasov, 2020; Davies et al., 2020]. Появление пятен на теле – результат меланизации гиф гриба с прилежащими к ним областям кутикулы. Это характерный ответ иммунной (фенолоксидазной) системы ракообразных на вторжение в полость их тела чужеродных объектов [Тарасов, Александрова, 2015]. Меланин, обладая как фунгитоксической, так и фунгистатической активностью [Söderhäll et al., 1979; Martín-Torrijos et al., 2017;], может подавлять рост патогена [Александрова, 2020]. Другие авторы также отмечают смертность раков, поражённых микозами [Diéguez-Uribeondo et al., 1994; Perry, Jones, 2018].

Гемоцианин, помимо основной респираторной функции, имеет ряд других, например: ферментативную активность, транспорт гормонов и гемостаза [Coates, Costa-Paiva, 2020]. Гемоцианин способен проявлять фенолоксидазную активность (активность, характерную для одного из важнейших ферментов иммунной системы беспозвоночных [Söderhäll, Cerenius, 1992; Cerenius, Söderhäll, 2021]) под действием компонентов гемоцитов [Adachi et al., 2003] и при протеолитическом расщеплении [Lee et al., 2004] – при этом снижается концентрация гемоцианина. В нашем случае, в ответ на стрессовое состояние, обусловленное нахождением в воде с солью и поражением патогеном, вероятно, происходит активация фенолоксидазной активности гемоцианина, сопровождающаяся снижением его концентрации.

Результаты нашего исследования отличаются от данных, полученных Н. Примачок с соавторами [2012], согласно которым увеличение массы в контрольной и двух экспериментальных группах, содержащихся в растворе соли с концентрациями 5 и 10 г/л, было одинаковым. Возможно, наблюдаемые расхождения связаны с различными условиями выращивания. Так в приведённой работе каждая особь содержалась в индивидуальных ёмкостях, объёмом 1,5 л каждая и средняя масса молоди составляла 5 г, в то время как в эксперименте использовали раннюю молодь исходной средней массой 0,6 г. Также адаптацию к солёной воде проводили с меньшим градиентом солёности 1 г/л в день. В работе другого автора [Meade et al., 2007] при использовании вылупившихся рачков массой порядка 10 мг максимальная прибавка в весе и частота линьки наблюдались при солёности 0 и 5 г/л (28°С). При увеличении солёности наблюдалось снижение выживаемости. В этом случае акклиматизировали гидробионтов в течении 12 часов с шагом солёности 5 г/л.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые исследования показали влияние длительного содержания в течение 30 сут. в воде с различной концентрацией хлорида натрия на молодь *C. quadricarinatus*. Выживаемость в контрольной группе составила 65%, в то время как в группе, содержащейся в растворе хлорида натрия 5 г/л – 23,3%. Также у раков в подсолённой воде наблюдались признаки развития микозного заболевания. Концентрация гемоцианина в экспериментальной группе была в 1,9 раза меньше по сравнению с контролем. В воде с содержанием соли 10 и 15 г/л наблюдается гибель всех особей на 20-е сутки. В конце эксперимента масса особей в контрольной группе была в 1,6 раз больше, чем в экспериментальной. Повышенное содержание хлорида натрия в эксперименте негативно сказалось на наборе массы молоди раков относительно увеличения длины.

В итоге считается допустимым содержание молоди рака в воде с концентрацией хлорида натрия не более 5 г/л в течение 10 суток. При этом необходимо разработать технологию акклиматизации рака к солёной воде и изучить эффекты влияния кратковременного содержания.

С учётом имеющегося в литературе положительного опыта по содержанию рака *C. quadricarinatus* в солёной воде, требуется продолжение исследований. Также необходимо дальнейшее изучение более глубоких физиологических и биохимических процессов в организме, сопутствующих отклонениям от нормы среды обитания.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной работы.

## Соблюдение этических норм

При проведении исследования были соблюдены все применимые международные принципы использования лабораторных животных. Ввиду проведения работ с беспозвоночными, этические стандарты, указанные во всемирной декларации прав животных, не были нарушены.

## Финансирование

Работа выполнена по личной инициативе без дополнительного финансирования.

## ЛИТЕРАТУРА

- Александрова Е.Н. 2020. К вопросу о профилактике и борьбе с микозами речных раков // Новейшие генетические технологии для аквакультуры. Мат. Всерос. науч.-практ. конф. с межд. участием. М.: «Перо». С. 11–18.
- Александрова Е.Н., Тарасов К.Л. 2015. Материалы к идентификации возбудителей микозов речных раков // Вестник российской сельскохозяйственной науки. № 3. С. 49–52.
- Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Артемов Р.В., Никонова И.Н., Арнаутов М.В., Артемов А.В., Гершунская В.В. 2022. Оценка эффекта применения комбикормов с различным уровнем белка для молоди австралийского красноклещевого рака в условиях УЗВ // Труды ВНИРО. Т. 187. С. 128–137. DOI: 10.36038/2307–3497–2022–187–128–137
- Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Чертопруд Е.С. 2011. Биология, воспроизводство и культивирование речных раков. М.: ВНИРО. 96 с.
- Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Акимова М.Ю., Паршин-Чудин А.В. 2013. Биология и культивирование Австралийского красноклещевого рака. М.: ВНИРО. 48 с.
- Васильева Л.М., Горкина О.В., Лозовская М.В., Щербатова Т.Г. 2012. Лечебно-профилактические мероприятия при выращивании осетровых в садках // Естественные науки. № 2 (39). С. 154–159.
- Гарлов П.Е., Аршаница Н.М., Шинкаревич Е.Д., Стекольников А.А., Гребцов М.Р., Бугримов Б.С. 2020. Эффекты содержания производителей и молоди рыб в растворах поваренной соли различной концентрации // Международный вестник ветеринарии. № 1. С. 69–80. DOI: 10.17238/issn2072–2419.2020.1.69.
- Гарлов П.Е., Шинкаревич Е.Д. 2019. Разработка нового метода эффективного выращивания рыб в искусственной биостимулирующей среде // Инновационные решения для повышения эффективности аквакультуры: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Т. 1. М.: «Перо». С. 116–123.
- Гук Е.С., Барулин Н.В. 2019. Влияние соли NaCl на темп роста, выживаемость и биохимический статус радужной форели при доинкубации в производственных условиях // Животноводство и ветеринарная медицина. № 2. С. 35–40.
- Данилов-Данильян В.И. 2009. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России. М.: ООО «Типография ЛЕВКО». 88 с.
- Ежегодник ИМИ – 2013. 2013. / Отв. ред. А.А. Орлов. М: МГИМО–Университет. Вып. 1(3). 244 с.
- Ефремова Е.В., Эльтеков Д.Ю., Маврин А.С., Мартемьянов В.И. 2020. Влияние добавок пищевой соли в речную воду на темп роста молоди муксуна *Coregonus muksun* (Salmoniformes, Coregonidae) в условиях рыбзавода // Современное состояние и развитие аквакультуры: экологическое и ихтиопатологическое состояние водоемов и объектов разведения, технологии выращивания. Мат. межд. конф., Новосибирск, 11–13 ноября 2020 года. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос». С. 78–82.
- Жигин А.В., Арыстангалиева В.А., Ковачева Н.П. 2017 а. Влияние температуры воды на рост и выживаемость австралийских красноклещевых раков // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и технологическое использование. Мат. и докл. VIII Всерос.



- науч.-практ. конф., посвящённой 75-летию рыбохозяйственного образования на Камчатке. Петропавловск-Камчатский: Камчатский ГТУ. С. 86–89.
- Жигин А. В., Борисов Р. Р., Ковачева Н. П., Загорская Д. С., Арыстангалиева В. А. 2017 б. Выращивание австралийского красноклещевого рака в циркулярной установке // Рыбное хозяйство. № 1. С. 61–65.
- Лагуткина Л. Ю., Мартыанов А. С., Степанов К. Г., Шейхгасанов Р. В. 2016. Оптимизация технологии кормления австралийских раков с помощью рецептов экспериментальных кормов // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. № 1. С. 77–87.
- Лагуткина Л. Ю., Пономарев С. В. 2010. К морфометрическим показателям австралийских раков (*Cherax quadricarinatus*) // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. № 2. С. 14–16.
- Лагуткина Л. Ю., Пономарев С. В. 2008. Новый объект тепловодной аквакультуры- австралийский красноклещевый рак (*Cherax quadricarinatus*) // Вестник АГТУ. № 6 (47). С. 220–223.
- Тарасов К. Л., Александрова Е. Н. 2015. Мицелиальные грибы – возбудители микозов речных раков и их современная таксономия // Микология и фитопатология. Т. 49. № 6. С. 366–373.
- Пятикопова О. В., Анкешева Б. М., Тангатарова Р. Р., Бедрицкая И. Н. 2022. Гидрохимические условия выращивания австралийского красноклещевого рака (*Cherax quadricarinatus*) в Астраханской области // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 5, № 3. С. 32–47. DOI: 10.47921/2619–1024\_2022\_5\_3\_32.
- Хорошко А. В., Крючков В. Н. 2010. Новые направления прудовой аквакультуры в южных регионах России // Теоретические и прикладные проблемы АПК. № 2. С. 51–54.
- Черных Г. С., Старостин А. С. 2014. Анализ современного состояния и тенденций пресноводных ресурсов России и меры по предупреждению чрезвычайных ситуаций, связанных с их загрязнением и дефицитом // Стратегия гражданской защиты проблемы исследования. Т. 4. № 1. С. 75–84.
- Шумейко Д. В., Арыстангалиева В. А., Еврумова А. А. 2022. Подращивание молоди рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) с применением кормов для осетровых видов рыб // Сельскохозяйственная биология. Т. 57. № 4. С. 803–816. DOI: 10.15389/agrobiol.2022.4.803rus.
- Шумейко Д. В., Ротарь Д. Ю. 2018. Влияние воды с пониженным содержанием дейтерия на показатели эффективности подращивания молоди австралийского красноклещевого рака (*Cherax quadricarinatus*) // II Всерос. науч.-практ. конф. «Актуальные аспекты развития сельского (аграрного) туризма в России», 17–19 мая 2018 г. Краснодар. Краснодар: КубГУ. С. 152–157.
- Щербина М. А., Гамыгин Е. А. 2006. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. М.: Изд-во ВНИРО. 360 с.
- Adachi K., Hirata T., Nishioka T., Sakaguchi M. 2003. Hemocyte components in crustaceans convert hemocyanin into a phenoloxidase-like enzyme // Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology. V. 134. I. 1. P. 135–141. DOI: 10.1016/s1096–4959(02)00220–8
- Alexandrova E. N., Tarasov K. L. 2020. Biology of causative agents of crayfish mycoses in connection with environmental protection in crayfish producing reservoirs // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. V. 421: 082027. DOI: 10.1088/1755–1315/421/8/082027.
- Amrullah A., Wahidah W. 2019. Immune response and growth performance of crayfish *Cherax quadricarinatus* fed with synbiotic supplemented diet // J. Akuakultur Indonesia. V. 18. № 1. P. 33–45. DOI: 10.19027/jai.18.1.33–45
- Anson K. J., Rouse D. B. 1994. Effects of salinity on hatching and post-hatch survival of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* // J. of the World Aquaculture Society. V. 25. № 2. P. 277–280. DOI: 10.1111/j.1749–7345.1994.tb00191.x
- Cerenius L., Söderhäll K. 2021. Immune properties of invertebrate phenoloxidases // Developmental & Comparative Immunology. V. 122: 104098. DOI: 10.1016/j.dci.2021.104098
- Coates C. J., Costa-Paiva E. M. 2020. Multifunctional Roles of Hemocyanins // Subcellular Biochemistry. V. 94. P. 233–250. DOI: 10.1007/978–3–030–41769–7\_9
- Cortes-Jacinto E., Colmenares H., Civera-Cerecedo R., Cruz-Suarez L. 2004. Studies on the nutrition of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens): effect of the dietary protein level on growth of juveniles and pre-adults // Freshwater Crayfish. V. 14. P. 70–80.
- Cortés-Jacinto E., Villarreal-Colmenares H., Cruz-Suárez L. E., Civera-Cerecedo R., Nolasco-Soria H., Hernández-Llamas A. 2005. Effect of different dietary protein and lipid levels on growth and survival of juvenile Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) // Aquaculture Nutrition. V. 11. P. 283–291. DOI: 10.1111/j.1365–2095.2005.00353.x
- Davies C. E., Malkin S. H., Thomas J. E., Batista F. M., Rowley A. F., Coates C. J. 2020. Mycosis is a disease state encountered rarely in shore crabs, *Carcinus maenas* // Pathogens V. 9: 462. DOI: 10.3390/pathogens9060462
- Diéguez-Uribeondo J., Cerenius L., Söderhäll K. 1994. Saprolegnia parasitica and its virulence on three different species of freshwater crayfish // Aquaculture. V. 120. I. 3–4. P. 219–228. DOI: 10.1016/0044–8486(94)90080–9.
- García-Guerrero M., Hernández-Sandoval P., Orduña-Rojas J., Cortés-Jacinto E. 2013. Effect of temperature on weight increase, survival, and thermal preference of juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* // Hidrobiológica. V. 23. № 1. P. 73–81.
- Lee S. Y., Lee B. L., Söderhäll K. 2004. Processing of crayfish hemocyanin subunits into phenoloxidase // Biochemical and Biophysical Research Communications. V. 322. I. 2. P. 490–496. DOI: 10.1016/j.bbrc.2004.07.145
- Martín-Torrijos L., Campos Llach M., Pou-Rovira Q., Diéguez-Uribeondo J. 2017. Resistance to the crayfish plague, *Aphanomyces astaci* (Oomycota) in the endangered freshwater crayfish species, *Austropotamobius pallipes* // PLoS One. V. 12(7): e0181226. DOI: 10.1371/journal.pone.0181226.
- Meade M., Doeller J. E., Kraus David W., Watts S. 2007. Effects of Temperature and Salinity on Weight Gain, Oxygen Consumption Rate, and Growth Efficiency in Juvenile Red-Claw Crayfish *Cherax quadricarinatus* // Journal of the

## REFERENCES

- World Aquaculture Society. V. 33. № 2. P. 188–198. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2002.tb00494.x.
- Meade M.E., Doeller J.E., Kraus D.W., Watts S.A. 2002. Effects of temperature and salinity on weight gain, oxygen consumption rate, and growth efficiency in juvenile red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* // J. of World Aquaculture Society. V. 33. P. 188–198. DOI: 10.1111/j.1749-7345.2002.tb00494.x
- Nickerson K.W., Van Holde K.E. 1971. A comparison of molluscan and arthropod hemocyanin. I. Circular dichroism and absorption spectra // Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry. V. 39B. I. 4. P. 855–872. DOI: 10.1016/0305-0491(71)90109-X
- Perry W.L., Jones H.M. 2018. Effects of elevated water velocity on the invasive rusty crayfish (*Orconectes rusticus* Girard, 1852) in a laboratory mesocosm // Journal of Crustacean Biology. V. 38, I. 1. P. 13–22 DOI: 10.1093/jcbiol/rux092
- Prymaczok N.C., Chaulet A., Medesani D.A. 2012. Enrique Marcelo Rodríguez. Survival, growth, and physiological responses of advanced juvenile freshwater crayfish (*Cherax quadricarinatus*), reared at low temperature and high salinities // Aquaculture. V. 334–337. P. 176–181. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.12.032
- Prymaczok N.C., Medesani D.A., Rodríguez E.M. 2008. Levels of ions and organic metabolites in the adult freshwater crayfish, *Cherax quadricarinatus*, exposed to different salinities // Mar. Freshwat. Behav. Physiol. V. 41(2). P. 121–130. DOI: 10.1080/10236240802193893
- Shubin L.I. U., Chang X.U., Yongyi J.I. A., Zhimin G.U., Erchao L.I. 2022. Analysis of genes and metabolic pathways in response to long-term salinity stress in red crayfish (*Cherax quadricarinatus*) // J. of Fisheries of China. V. 46. № 6. P. 917–930. DOI: 10.11964/jfc.20200912412
- Shubin L., Changle Q., Yongyi J., Zhimin G., Erchao L. 2020. Growth and intestinal health of the red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, reared under different salinities // Aquaculture. V. 524: 735256. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735256
- Shumeyko D., Tsimbal N., Abramchuk A., Moskul G., Taranik A. 2020. Biotechnology of Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) juvenile ongrowing in recirculating aquaculture system // E3S Web of Conferences 175 (1–2):02005. DOI: 10.1051/e3sconf/202017502005.
- Söderhäll K., Cerenius L. 1992. Crustacean immunity // Annual Review of Fish Diseases. V. 2. P. 3–23. DOI: 10.1016/0959-8030(92)90053-z
- Söderhäll K., Cerenius L. 1999. The crayfish plague fungus: history and recent advances // Papers from the 12th Symposium of International association of astacology Augsburg. P. 11–35.
- Söderhäll K., Häll L., Unestam T., Nyhlén L. 1979. Attachment of phenoloxidase to fungal cell walls in arthropod immunity // J. of Invertebrate Pathology. V. 34(3). P. 285–94. DOI:10.1016/0022-2011(79)90075-2.
- Wu M., Chen N., Huang C.X., He H.Y., Wang H-L. 2017. Effect of low temperature on globin expression, respiratory metabolic enzyme activities, and gill structure of *Litopenaeus vannamei* // Biochemistry (Moscow). V. 82. № 7. P. 844–851. DOI: 10.1134/S0006297917070100
- Aleksandrova E.N. 2020. On the issue of prevention and control of mycoses of river crayfish // The latest genetic technologies for aquaculture: Materials of the All-Russian Scientific and practical conference with international participation. Moscow: Publishing House «Pero». P. 11–18. (In Russ.)
- Aleksandrova E.N., Tarasov K.L. 2015. Materials for identifying mycosis stimulants in river crayfish // Vestnik of the Russian agricultural science. No. 3. P. 49–52. (In Russ.)
- Borisov R.R., Kovacheva N.P., Artemov R.V., Nikonova I.N., Arnautov M.V., Artemov A.V., Gershunskaya V.V. 2022. Efficiency assessment of the use of compound feeds with protein different levels for juveniles Australian red claw crayfish in RAS conditions // Trudy VNIRO. V. 187. P. 128–137. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-187-128-137 (In Russ.)
- Borisov R.R., Kovacheva N.P., Tchertoprud E.S. 2011. Biology, reproduction and cultivation of river crayfish. Moscow: VNIRO Publish. 96 p. (In Russ.)
- Borisov R.R., Kovacheva N.P., Akimova M. Yu., Parshin-Chudin A.V. 2013. Biology and cultivation of Australian rec-craw crayfish. Moscow: VNIRO Publish. 48 p. (In Russ.)
- Vasil'eva L.M., Gorkina O.V., Lozovskaya M.V., SHCherbatova T.G. 2012. Therapeutic and preventive measures for growing sturgeon in cages // Estestvennyye nauki. No. 2 (39). P. 154–159. (In Russ.)
- Garlov P.E., Arshanitsa N.M., Shinkarevich E.D., Stekolnikov A.A., Grebtsov M.R., Bugrimov B.S. 2020. Effects of cultivation of the fish breeders and juveniles in salt solutions of different concentrations // International Journal of Veterinary Medicine. No. 1. P. 69–80. DOI: 10.17238/issn2072-2419.2020.1.69 (In Russ.)
- Garlov P.E., Shinkarevich E.D. 2019. Development of a new method of efficient fish rearing in an artificial biostimulating environment // Innovative solution to improve the efficiency of aquaculture: Mat of the All-Russ. Scient. and Pract. Conf. V. 1. Moscow: Publishing House «Pero». P. 116–123. (In Russ.)
- Guk E.S., Barulin N.V. 2019. The effect of NaCl salt on the growth rate, survival and biochemical status of rainbow trout during incubation in production conditions // Animal husbandry and veterinary medicine. No. 2. P. 35–40. (In Russ.)
- Danilov-Danil'yan V.I. 2009. Water resources of the world and prospects of the water management complex of Russia. Moscow: LLC «Typografiya Levko». 88 s (In Russ.)
- IMI Yearbook – 2013. 2013 / rev. ed. A.A. Orlov. M: MSIIR-University. Iss. 1(3). 244 p. (In Russ.)
- Efremova E.V., El'tekov D. Yu., Mavrin A.S., Martem'yanov V.I. 2020. The effect of salt additives in river water on the growth rate of juvenile muksun *Coregonus muksun* (Salmoniformes, Coregonidae) in a fish factory // The current state and development of aquaculture: ecological and ichthyopathological state of reservoirs and breeding facilities, cultivation technologies. Proc. of the Intern. Conf. Novosibirsk, November 11–13, 2020. Novosibirsk: RC NSAU «Zolotoy Kolos». pp. 78–82. (In Russ.)
- Zhigin A.V., Arystangaliyeva V.A., Kovacheva N.P. 2017a. The influence of water temperature on the growth and

- survival of Australian red-clawed crayfish // Natural resources, their current state, protection, commercial and technological use. Mat. and rep. of the VIII All-Russ. Scient. and Pract. Conf. dedicated to the 75th anniversary of fisheries education in Kamchatka: Petropavlovsk-Kamchatsky. Kamchatka STU. pp. 86–89. (In Russ.)
- Zhigin A. V., Borisov R. R., Kovacheva N. P., Zagorskaya D. S., Arystangalieva V. A. 2017b. Cultivation of australian red-claw crayfish in circulation systems // Fisheries. No. 1. P. 61–65. (In Russ.)
- Lagutkina L. Yu., Mart'yanov A. S., Stepanov K. G., Shejhgasanov R. V. 2016. Optimization of the technology of feeding australian crayfish through the use of experimental feeds formulas // Vestnik ASTU. Ser.: Fisheries. No. 1. P. 77–87. (In Russ.)
- Lagutkina L. Yu., Ponomarev S. V. 2010. On morphometric parameters of australian crayfish (*Cherax quadricarinatus*) // Vestnik ASTU. Ser.: Fisheries. No. 2. P. 14–16. (In Russ.)
- Lagutkina L. Yu., Ponomarev S. V. 2008. New object of aquaculture – australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) // Vestnik ASTU. No. 6 (47). P. 220–223. (In Russ.)
- Tarasov K. L., Aleksandrova E. N. 2015. The mycelium-producing causal agents of mycoses of crayfish and their modern taxonomy // Mycology and phytopathology. V. 49. No. 6. P. 366–373. (In Russ.)
- Pyatikopova O. V., Ankesheva B. M., Tangatarova R. R., Bedritskaya I. N. 2022. Hydrochemical conditions of cultivation of the Australian red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in the Astrakhan region // Aquatic bioresources and habitat. V. 5, N. 3. pp. 32–47. DOI: 10.47921/2619–1024\_2022\_5\_3\_32. (In Russ.)
- Horoshko A. V., Kryuchkov V. N. 2010. New directions of pond aquaculture in the southern regions of Russia // Theoretical and applied problems of agriculture. No. 2. pp. 51–54. (In Russ.)
- Chernyh G. S., Starostin A. S. 2014. Analysis of the current state and trends of freshwater resources in Russia and measures to prevent emergencies related to their pollution and scarcity // Strategy of Civil protection problems of research. V. 4. No. 1. P. 75–84.
- Shumeyko D. V., Arystangalieva V. A., Evrumova A. A. 2022. Rearing of *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) juveniles using feed for sturgeons // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. V. 57. No. 4. P. 803–816. DOI: 10.15389/agrobiologia.2022.4.803rus. (In Russ.)
- Shumeyko D. V., Rotar' D. YU. 2018. The influence of water with a reduced deuterium content on the efficiency indicators of the rearing of young Australian red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*) // II All-Russ. Scient. and pract. Conf. «Topical aspects of the development of rural (agrarian) tourism in Russia», Krasnodar: KubanSU. pp. 152–157. (In Russ.)
- Shcherbina M. A., Gamygin E. A. 2006. Fish feeding in freshwater aquaculture. Moscow: VNIRO Publish. 360. p. (In Russ.)
- Adachi K., Hirata T., Nishioka T., Sakaguchi M. 2003. Hemocyte components in crustaceans convert hemocyanin into a phenoloxidase-like enzyme // Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology. V. 134. I. 1. P. 135–141. DOI: 10.1016/s1096–4959(02)00220–8
- Alexandrova E. N., Tarasov K. L. 2020. Biology of causative agents of crayfish mycoses in connection with environmental protection in crayfish producing reservoirs // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. V. 421: 082027. DOI: 10.1088/1755–1315/421/8/082027.
- Amrullah A., Wahidah W. 2019. Immune response and growth performance of crayfish *Cherax quadricarinatus* fed with synbiotic supplemented diet // J. Akuakultur Indonesia. V. 18. №. 1. P. 33–45. DOI: 10.19027/jai.18.1.33–45
- Anson K. J., Rouse D. B. 1994. Effects of salinity on hatching and post-hatch survival of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* // J. of the World Aquaculture Society. V. 25. №. 2. P. 277–280. DOI: 10.1111/j.1749–7345.1994.tb00191.x
- Cerenius L., Söderhäll K. 2021. Immune properties of invertebrate phenoloxidases // Developmental & Comparative Immunology. V. 122: 104098. DOI: 10.1016/j.dci.2021.104098
- Coates C. J., Costa-Paiva E. M. 2020. Multifunctional Roles of Hemocyanins // Subcellular Biochemistry. V. 94. P. 233–250. DOI: 10.1007/978–3–030–41769–7\_9
- Cortes-Jacinto E., Colmenares H., Civera-Cerecedo R., Cruz-Suarez L. 2004. Studies on the nutrition of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens): effect of the dietary protein level on growth of juveniles and pre-adults // Freshwater Crayfish. V. 14. P. 70–80.
- Cortés-Jacinto E., Villarreal-Colmenares H., Cruz-Suárez L. E., Civera-Cerecedo R., Nolasco-Soria H., Hernández-Llamas A. 2005. Effect of different dietary protein and lipid levels on growth and survival of juvenile Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) // Aquaculture Nutrition. V. 11. P. 283–291. DOI: 10.1111/j.1365–2095.2005.00353.x
- Davies C. E., Malkin S. H., Thomas J. E., Batista F. M., Rowley A. F., Coates C. J. 2020. Mycosis is a disease state encountered rarely in shore crabs, *Carcinus maenas* // Pathogens V. 9: 462. DOI: 10.3390/pathogens9060462
- Diéguez-Uribeondo J., Cerenius L., Söderhäll K. 1994. Saprolegnia parasitica and its virulence on three different species of freshwater crayfish // Aquaculture. V. 120. I. 3–4. P. 219–228. DOI: 10.1016/0044–8486(94)90080–9.
- García-Guerrero M., Hernández-Sandoval P., Orduña-Rojas J., Cortés-Jacinto E. 2013. Effect of temperature on weight increase, survival, and thermal preference of juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* // Hidrobiológica. V. 23. №. 1. P. 73–81.
- Lee S. Y., Lee B. L., Söderhäll K. 2004. Processing of crayfish hemocyanin subunits into phenoloxidase // Biochemical and Biophysical Research Communications. V. 322. I. 2. P. 490–496. DOI: 10.1016/j.bbrc.2004.07.145
- Martín-Torrijos L., Campos Llach M., Pou-Rovira Q., Diéguez-Uribeondo J. 2017. Resistance to the crayfish plague, *Aphanomyces astaci* (Oomycota) in the endangered freshwater crayfish species, *Austropotamobius pallipes* // PLoS One. V. 12(7): e0181226. DOI: 10.1371/journal.pone.0181226.
- Meade M., Doeller J. E., Kraus David W., Watts S. 2007. Effects of Temperature and Salinity on Weight Gain, Oxygen

- Consumption Rate, and Growth Efficiency in Juvenile Red-Claw Crayfish *Cherax quadricarinatus* // Journal of the World Aquaculture Society. V. 33. № 2. P. 188–198. DOI: 10.1111/j.1749–7345.2002.tb00494.x.
- Meade M.E., Doeller J.E., Kraus D.W., Watts S.A. 2002. Effects of temperature and salinity on weight gain, oxygen consumption rate, and growth efficiency in juvenile red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus* // J. of World Aquaculture Society. V. 33. P. 188–198. DOI: 10.1111/j.1749–7345.2002.tb00494.x
- Nickerson K.W., Van Holde K.E. 1971. A comparison of molluscan and arthropod hemocyanin. I. Circular dichroism and absorption spectra // Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry. V. 39B. I. 4. P. 855–872. DOI: 10.1016/0305–0491(71)90109-X
- Perry W.L., Jones H.M. 2018. Effects of elevated water velocity on the invasive rusty crayfish (*Orconectes rusticus* Girard, 1852) in a laboratory mesocosm // Journal of Crustacean Biology. V. 38, I. 1. P. 13–22 DOI: 10.1093/jcbl/rux092
- Prymaczok N.C., Chaulet A., Medesani D.A. 2012. Enrique Marcelo Rodríguez. Survival, growth, and physiological responses of advanced juvenile freshwater crayfish (*Cherax quadricarinatus*), reared at low temperature and high salinities // Aquaculture. V. 334–337. P. 176–181. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.12.032
- Prymaczok N.C., Medesani D.A., Rodríguez E.M. 2008. Levels of ions and organic metabolites in the adult freshwater crayfish, *Cherax quadricarinatus*, exposed to different salinities // Mar. Freshwat. Behav. Physiol. V. 41(2). P. 121–130. DOI: 10.1080/10236240802193893
- Shubin L.I. U., Chang X.U., Yongyi J.I. A., Zhimin G.U., Erchao L.I. 2022. Analysis of genes and metabolic pathways in response to long-term salinity stress in red crayfish (*Cherax quadricarinatus*) // J. of Fisheries of China. V. 46. № 6. P. 917–930. DOI: 10.11964/jfc.20200912412
- Shubin L., Changle Q., Yongyi J., Zhimin G., Erchao L. 2020. Growth and intestinal health of the red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, reared under different salinities // Aquaculture. V. 524: 735256. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735256
- Shumeyko D., Tsimbal N., Abramchuk A., Moskul G., Taranik A. 2020. Biotechnology of Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) juvenile ongrowing in recirculating aquaculture system // E3S Web of Conferences 175 (1–2):02005. DOI: 10.1051/e3sconf/202017502005.
- Söderhäll K., Cerenius L. 1992. Crustacean immunity // Annual Review of Fish Diseases. V. 2. P. 3–23. DOI: 10.1016/0959–8030(92)90053-z
- Söderhäll K., Cerenius L. 1999. The crayfish plague fungus: history and recent advances // Papers from the 12th Symposium of International association of astacology Augsburg. P. 11–35.
- Söderhäll K., Häll L., Unestam T., Nyhlén L. 1979. Attachment of phenoloxidase to fungal cell walls in arthropod immunity // J. of Invertebrate Pathology. V. 34(3). P. 285–94. DOI:10.1016/0022–2011(79)90075–2.
- Wu M., Chen N., Huang C.X., He H.Y., Wang H-L. 2017. Effect of low temperature on globin expression, respiratory metabolic enzyme activities, and gill structure of *Litopenaeus vannamei* // Biochemistry (Moscow). V. 82. № 7. P. 844–851. DOI: 10.1134/S0006297917070100

Поступила в редакцию 07.02.2023 г.

Принята после рецензии 04.07.2023 г.