

ПОДРАЩИВАНИЕ МОЛОДИ РАКА *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) С ПРИМЕНЕНИЕМ КОРМОВ ДЛЯ ОСЕТРОВЫХ ВИДОВ РЫБ\*Д.В. ШУМЕЙКО<sup>1</sup> ✉, В.А. АРЫСТАНГАЛИЕВА<sup>2</sup>, А.А. ЕВРУМОВА<sup>1</sup>

Культивирование австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) еще недостаточно отработано и распространяется в странах с умеренным и субтропическим климатом, где выращивание начинается в контролируемых условиях. В России технологии выращивания *C. quadricarinatus* находятся на стадии разработки и показатели биопродукции намного скромнее. Молодь рака более требовательна к кормам, для ее быстрого роста необходимо содержание в них белка не менее 30-50 %. Стартовые корма для осетровых видов рыб имеют соответствующие показатели, что открывает перспективы их применения в раководстве. В настоящей работе впервые установлены нормы кормления, скорость роста, выживаемость и гематологические показатели молоди рака при использовании специализированных кормов для осетровых видов рыб с содержанием белка 46 %. Цель исследования — изучить эффективность применения комбикормов для осетровых видов рыб и их влияние на показатели гемолимфы при выращивании молоди австралийского красноклешневого рака. Эксперимент проводили на базе бизнес-инкубатора Кубанского государственного университета с 21 июля по 22 августа 2019 года. Использовали многоярусную установку замкнутого водоснабжения. Для экспериментов отобрали разновозрастную молодь австралийского красноклешневого рака со средней массой 150 мг (480 экз.) от трех самок. В возрастные емкости рассаживали по 160 особей. Формировали три группы, различающиеся суточной нормой кормления (в процентах от биомассы): I группа — 9 %, II группа — 6 %, III группа — 3 %. Молодь кормили два раза в сутки (в 9<sup>00</sup> и 18<sup>00</sup>) гранулированным кормом для осетровых видов рыб *Soppens vital* («Alltech Soppens B.V.», Нидерланды) (0,8-1,2 мм) с содержанием белка 46,0 %. Каждые 8 сут (21 июля, 29 июля, 6 августа, 14 августа, 22 августа) оценивали выживаемость, индивидуальную массу, прирост биомассы и корректировали фактическую суточную норму кормления с учетом изменения численности и биомассы экспериментальных групп. В конце эксперимента (на 32-е сут) отбирали по 13 особей массой от 0,67 до 1,39 г, подвергали их варке, после чего индивидуально взвешивали и отделяли мясо от карапакса и других несъедобных частей тела, мясо взвешивали. В конце эксперимента определяли общее число гемоцитов (ОЧГ) и долю гранулоцитов в гемолимфе рака. Прокалывали кутикулу в основании первой пары плеопод с вентральной стороны первого сегмента abdomen и микропипеткой изымали небольшое количество гемолимфы. Медианы как усредненные показатели в конце эксперимента были следующими: длина раков в I и II группах — 3,50 см, в III — 3,40 см; масса в I группе — 0,94 г, во II — 0,98 г, в III — 0,89 г. Статистически значимых различий между группами не выявили. В начале работы в емкости рассаживали по 160 особей, итоговый отход составил в I группе 57 экз. (35,6 %), во II — 62 экз. (38,7 %), в III — 58 экз. (36,2 %). Не наблюдалось статистически значимых различий по ОЧГ и доле гранулоцитов между группами. Средние значения ОЧГ находились в диапазоне от 1005 до 1073 шт/мкл, доли гранулоцитов — от 20,1 до 21,1 %. Медианы по ОЧГ были следующими: I группа — 965 шт/мкл, II — 840 шт/мкл, III — 1101 шт/мкл; по доле гранулоцитов в I группе — 21,1 %, во II — 20,1 %, в III — 20,6 %. Общее число гемоцитов у раков при разных суточных нормах кормления не зависело от доли гранулоцитов с коэффициентами корреляции от -0,02 до -0,08. Относительный прирост биомассы снижался от 99,8 до 17,6 % в I группе, от 102,6 до 19,1 % — во II группе, от 105,4 до 16,9 % — в III группе. Удельная скорость роста биомассы составила от 8,6 до 2,0 % — в I группе, от 8,8 до 2,2 % — во II группе, от 9,0 до 2,0 % — в III группе. Выход мяса в опытных группах у молоди рака достоверно не различался. Средние показатели находились в пределах от 31,1 до 32,5 %. У I опытной группы были зафиксированы наибольшие затраты корма, равные 2,00 ед., тогда как во II — 1,47 ед., в III — 0,72 ед. Низкие затраты корма в III опытной группе с суточной нормой кормления 3 % при близких показателях прироста, выживаемости, средних масс, длин и их медиан свидетельствуют об эффективном усвоении корма молодью *C. quadricarinatus* и избыточной норме кормления в остальных группах.

Ключевые слова: *Cherax quadricarinatus*, австралийский красноклешневый рак, молодь, кормление, гемолимфа, гемоциты, гранулоциты, установка замкнутого водоснабжения.

Австралийский красноклешневый рак (*Cherax quadricarinatus*) отно-

\* Работа была частично поддержана Фондом содействия инновациям в рамках выполнения НИР «Разработка биотехнологии выращивания молоди объектов аквакультуры с применением воды с измененными физико-химическими свойствами» по программе «УМНИК». Договор 11100ГУ/2016 от 20.02.2017.

сится к теплолюбивым объектам аквакультуры и обладает ценными потребительскими и хозяйственными качествами (1, 2). Технология промышленного выращивания австралийских раков еще недостаточно отработана. Культивирование этого вида все более распространяется в странах с умеренным и субтропическим климатом, где выращивание начинается в контролируемых условиях и затем продолжается в открытых водоемах. В России технологии выращивания *S. quadricarinatus* находятся на стадии разработки и показатели биопродукции намного скромнее (1, 3).

Холодные климатические условия требуют обязательного применения замкнутых систем для содержания производителей в зимнее время, проведения нереста, содержания самок с икрой и молодь, подращивания молоди (2, 4-6). Важнейший элемент такой технологии — отработка кормления. На рынке представлены линейки специализированных аквариумных кормов, которые несоизмеримо дороги и неприменимы при промышленном разведении. Проводится изучение и разработка новых способов и рецептов кормления с учетом физиологических особенностей ракообразных (7): поиск альтернатив традиционным компонентам кормов (8, 9), включение разнообразных добавок (10-13) и использование различных режимов кормления (14-17), но, как показывает практика, это длительное и дорогостоящее мероприятие. При этом слабо изучена возможность применения в раководстве уже зарекомендованных высококачественных кормов для рыб.

Молодь рака более требовательна к кормам, и для ее эффективного быстрого роста они должны содержать не менее 30-50 % белка (1, 18-20). Таким же требованиям отвечают стартовые корма для осетровых видов рыб, что открывает перспективы их применения в раководстве. Были попытки изучить возможность внедрения таких видов кормов в сравнении с аналогами (21), но различные режимы кормления недостаточно рассмотрены.

Неполноценное питание может вести к неадекватному соотношению потребления энергии и веществ с дефицитом макро- и микронутриентов, что становится наиболее частой причиной иммунодефицитов и служит фактором риска у продуктивных животных. В животноводческой практике наиболее часто происходят нарушения энергопротеинового питания, что сопровождается увеличением чувствительности особей к инфекциям вследствие угнетения врожденного и адаптивного иммунитета (22, 23). В связи с этим при разработке рациона требуется анализировать показатели, которые характеризуют состояние иммунной системы. Для ракообразных такими могут быть показатели гемолимфы — общее число гемоцитов (ОЧГ) и доля гранулоцитов (24-28). Работ, в которых учитываются эти индикаторы при разработке рациона для австралийского красноклешневого рака, немного (15, 29).

В настоящей работе впервые установлены нормы кормления, скорость роста, выживаемость и гематологические показатели молоди австралийского красноклешневого рака при использовании специализированных кормов для осетровых видов рыб с содержанием белка 46 %.

Цель исследования — изучить эффективность применения комбикормов для осетровых видов рыб и их влияние на показатели гемолимфы при выращивании молоди австралийского красноклешневого рака.

**Методика.** Эксперимент проводили на базе бизнес-инкубатора Кубанского государственного университета с 21 июля по 22 августа 2019 года. Использовали многоярусную установку замкнутого водоснабжения, которая имела следующие габариты: длина — 0,97 м, ширина — 0,70 м, высота — 1,92 м. В ее состав входили: четыре выростные пластиковые емкости с раз-

мерами 78×56×18 см (дно 65,5×51 см, площадь 0,334 м<sup>2</sup>); блок водоподготовки, разделенный на пять отсеков: первый — грубая механическая очистка из слоев губки различной пористости, второй-четвертый — плавающая полипропиленовая загрузка BioElements («RK Plast», Дания) с плотностью 0,93 г/см<sup>3</sup> и удельной поверхностью 750 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, пятый — накопитель с насосом и терморегулятором объемом 0,11 м<sup>3</sup>; насос 14HF HyperFlow («RIO», Тайвань) 3,4 м<sup>3</sup>/ч; поршневой компрессор Hailea Electrical Magnetic AC ACO-208 («Hailea», Китай) с распылителями для подачи воздуха в отсек биологической очистки; соединительные полипропиленовые трубы и краны. Емкости устанавливали на металлическую сборную раму. Три выростные емкости использовали для эксперимента. Каждую накрывали крышкой из пенополистирола, которая уменьшала расход воды, минимизируя испарение и снижая вероятность выхода рака из емкости.

Для экспериментов отобрали одновозрастную молодь австралийского красноклешневого рака со средней массой 150 мг (480 экз.) от трех самок, которую смешивали и распределяли по выростным емкостям. В выростные емкости рассаживали по 160 особей.

Для снижения ущерба от каннибализма использовали сконструированные нами многоэтажные укрытия из поликарбоната и пластиковой сетки. По мере роста молоди укрытия меняли в соответствии с размерными характеристиками. Укрытия были рассчитаны на обеспечение молоди рака как индивидуальными ячейками (с запасом), так и на создание площади на этажах, необходимой для безопасных линек, а также служили дополнительным субстратом для фиксации нитрифицирующих бактерий.

Для эксперимента формировали три опытные группы, различающиеся суточной нормой кормления (в процентах от биомассы): I группа — 9 %, II группа — 6 %, III группа — 3 %. Молодь кормили 2 раз в сутки (утром в 9<sup>00</sup> и вечером в 18<sup>00</sup>) гранулированным кормом для осетровых видов рыб *Carpens vital* (0,8-1,2 мм) («Alltech Carpens B.V.», Нидерланды) с содержанием белка — 46,0 %, жира — 10,0 %, фосфора — 1,5 %, витамина А — 14000 МЕ/кг, витамина D — 2140 МЕ/кг, витамина E — 280 мг/кг, стабильного витамина C — 500 мг/кг, общей энергией — 19,4 МДж/кг.

Во время опыта основные гидрохимические показатели воды (NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub>, pH) находились в пределах рыбоводных норм, их проверяли колориметрическими тестами марки «Sera» (Германия) и «Ari» (США). Чистку дна сифоном и частичную подмену порядка 30 % воды проводили 1 раз в 4 сут. Температура воды за период опыта изменялась от 27,1 до 29,5 °С, средний показатель составлял 28,3 °С.

Каждые 8 сут (21 июля, 29 июля, 6 августа, 14 августа, 22 августа) оценивали выживаемость, индивидуальную массу, прирост биомассы и корректировали фактическую суточную норму кормления с учетом изменения численности и биомассы экспериментальных групп. Измерение проводили линейкой с точностью до 1 мм. Для взвешивания использовали электронные весы MEM-EBS («Mercury», Южная Корея) с точностью до 0,01 г. Объем выборок составлял 50 экз. По окончании эксперимента были измерены все особи.

Для определения выхода мяса в конце эксперимента (на 32-е сут) по 13 особей массой от 0,67 до 1,39 г отбирали и отваривали, после чего индивидуально взвешивали, мясо отделяли от карапакса и других несъедобных частей тела и взвешивали.

Относительный прирост ( $\Delta M$ , %) и удельную скорость роста ( $C_w$ , %) биомассы вычисляли по формулам (30):  $\Delta M = (M_t - M_0)/M_0 \cdot 100$  %;  $C_w = (\ln M_t - \ln M_0)/t \cdot 100$  %, где  $M_0$ ,  $M_t$  — биомасса в начале и конце

периода, г. Расчет затрат корма (ЗК, г) на единицу прироста биомассы проводили по формуле:  $ЗК = M_k/P$ , где  $M_k$  — количество затраченного корма, г,  $P$  — прирост массы, г.

Определяли ОЧГ и долю гранулоцитов в гемолимфе рака в конце эксперимента (на 32-е сут). Гемолимфу отбирали следующим образом: прокалывали кутикулу в основании первой пары плеопод с вентральной стороны первого сегмента абдомена (31) и микропипеткой изымали небольшое количество гемолимфы.

Работа с гемолимфой велась в камере Горяева под световым микроскопом Микромед-1 («Микромед», Россия). Для подсчета ОЧГ в 1 мкл применяли следующую формулу:  $ОЧГ = N \times 10$ , где  $N$  — число гемоцитов в 25 больших квадратах на сетке камеры (32).

Математическую обработку данных осуществляли стандартными методами вариационной статистики. Вычисляли средние значения ( $M$ ), среднеквадратичные отклонения ( $\pm\sigma$ ), коэффициенты вариации ( $Cv$ ), медианы ( $Me$ ), 25-й и 75-й процентиль ( $Q1$  и  $Q3$ ). Статистически значимые различия между группами выявляли с помощью U-критерия Манна-Уитни и критерия Краскела-Уоллиса для непараметрических и независимых групп. Расчеты и графическое оформление полученных данных проводили с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 12 («StatSoft, Inc., США).

**Результаты.** Внешний вид многоярусной установки замкнутого водоснабжения, которую использовали в работе, представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Многоярусная установка замкнутого водоснабжения, которую использовали для выращивания молоди австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*).

В результате проведенных исследований были получены показатели динамики средних масс и биомассы молоди австралийского красноклешневого рака в течение 32 сут (табл. 1). В начале опыта средняя масса молоди составляла 0,15 г. Средняя масса молоди в конце опыта оказалась следующей: I группа — 1,06 г, II группа — 1,01 г, III группа — 1,02 г. Различия между группами не были статистически значимы.

Показатели средней массы в нашем эксперименте были сопоставимы с результатами, полученными С.В. Севастеевым с соавт. (33). В опыте авторов при кормлении раков из расчета 10 % от биомассы декапсулированной артемией, гранулами из артемии и артемией «янтарь» за 30 сут получена молодь массой 1,11-1,54 г (при начальной посадке — 0,08-0,12 г).

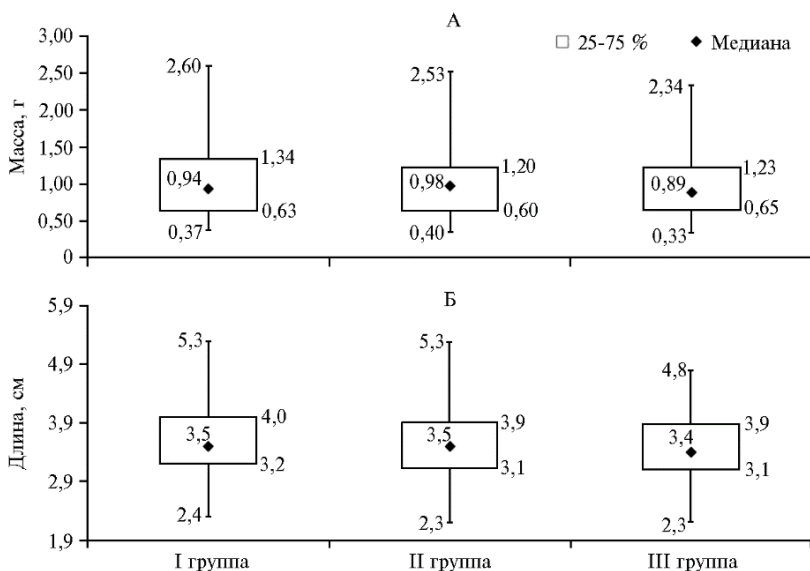
Коэффициент вариации массы тела у молоди в нашем опыте изменялся во времени от 11,5-11,8 до 45,7-51,9 %, причем различия по группам были невелики. Такая динамика варьирования размерно-массовых характеристик может считаться достаточно большой для австралийского красноклешневого рака, если сравнивать с немногочисленными данными других работ (2, 4, 5). В наших исследованиях это, вероятнее всего, было связано с большей вариабильностью исходных показателей и большими плотностями посадки, что приво-

дило к угнетению роста изначально отстающих особей. В работе А.В. Жигина с соавт. (6) коэффициент вариации по массе тела изменялся от 8,51 до 14,17 % при посадке молоди массой 0,44-0,57 г и исходной плотности посадки 44,4 экз/м<sup>2</sup>. У нас же молодь имела такую массу через 16 сут после начала эксперимента и плотность посадки находилась в пределах 385,1-388,1 экз/м<sup>2</sup>.

**1. Показатели массы молоди австралийского красноклещевого рака (*Cherax quadricarinatus*) при скармливании гранулированного корма для осетровых видов рыб *Сорpens vital* («Alltech Sorpens B.V.», Нидерланды) (лабораторный опыт, 2019 год)**

Дата	Масса (n = 50)	I группа	II группа	III группа
21 июля (начало опыта)	$M \pm \sigma$ , г Cv, %	0,15±0,017 11,5	0,15±0,017 11,5	0,15±0,018 11,8
29 июля	$M \pm \sigma$ , г Cv, %	0,34±0,059 17,3	0,34±0,062 18,2	0,34±0,060 17,7
6 августа	$M \pm \sigma$ , г Cv, %	0,56±0,161 28,7	0,57±0,173 30,3	0,60±0,169 28,2
14 августа	$M \pm \sigma$ , г Cv, %	0,81±0,432 37,4	0,72±0,310 38,5	0,76±0,361 36,6
22 августа (конец опыта)	$M \pm \sigma$ , г Cv, %	1,06±0,551 51,9	1,01±0,461 45,7	1,02±0,506 49,7

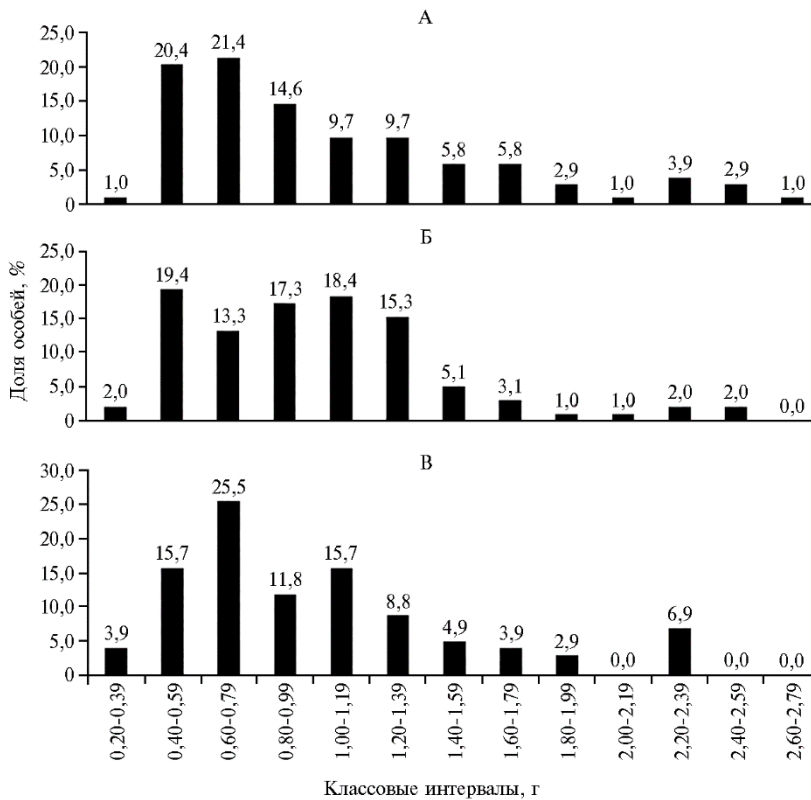
Примечание. Описание опытов см. в разделе «Методика».



**Рис. 2. Итоговые показатели массы (А) и длины (Б) молоди австралийского красноклещевого рака (*Cherax quadricarinatus*) при скармливании гранулированного корма для осетровых видов рыб *Сорpens vital* («Alltech Sorpens B.V.», Нидерланды) на 32-е сут эксперимента (лабораторный опыт, 2019 год). Описание опытов см. в разделе «Методика».**

Медианы (рис. 2) как усредненные показатели выборок считаются более объективными для анализа результатов. Медианы были следующими: по длине в I и II группах — 3,50 см, в III группе — 3,40 см; по массе в I группе — 0,94 г, во II группе — 0,98 г, в III группе — 0,89 г. Различия в медианах по критерию Краскела-Уоллиса не были статистически значимыми. Минимальная масса и длина молоди австралийского красноклещевого рака в конце опыта во всех группах оказались примерно одинаковыми и составили соответственно 0,33-0,40 г и 2,3-2,4 см (см. рис. 2). Максимальные показатели различались: в I и II опытных группах они были больше — при длине 5,3 см масса составляла соответственно 2,60 и 2,53 г, в III опытной группе — 2,34 г при 4,8 см.

Для оценки размерной структуры молоди, полученной в конце эксперимента, были составлены вариационные ряды (рис. 3, 4). Массу оценивали по 13 размерным классам с интервалом 0,2 г, длину — по 10 классам с интервалом 0,3 см. Наибольшей представительностью по массе во всех группах характеризовались особи в размерном классе 0,40-1,39 г, по длине — 3,10-3,99 см (см. рис. 3, 4). По мере увеличения массы можно заметить закономерное уменьшение числа особей в размерных группах.



**Рис. 3.** Вариационные ряды массы молоди австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) при скармливании гранулированного корма для осетровых видов рыб *Corpen vital* («Alltech Corpens B.V.», Нидерланды) на 32-е сут эксперимента: А — I группа, Б — II группа, В — III группа (лабораторный опыт, 2019 год). Описание опытов см. в разделе «Методика».

Австралийскому красноклешневному раку свойственен высокий каннибализм, поэтому выживаемость в течение эксперимента (табл. 2) находилась в диапазоне 61,3-64,4 %. Смертность в I группе в итоге составила 57 экз. (35,6 %), во II группе — 62 экз. (38,7 %), в III группе — 58 экз. (36,2 %).

Показательно изменение биомассы в течение эксперимента (см. табл. 2). Изначально она составляла по 24 г на каждую группу. К окончанию опыта наибольшим фактическим приростом биомассы в 85,5 г характеризовалась I группа против 75,0 г во II группе и 79,9 г в III группе. Эту разницу нельзя считать значимой, поскольку с учетом близких средних масс она обусловлена большей выживаемостью в группе.

Поскольку суточная норма кормления, выраженная в процентах, увеличивалась соизмеримо растущей биомассе на каждом этапе, ориентироваться только на вышеперечисленные фактические показатели некорректно. Решающим здесь можно считать описание относительного прироста и удельной скорости роста, которые по мере взросления снижались во всех группах. Относительный прирост за 32 сут снижался от 99,8 до 17,6 %

в I группе, от 102,6 до 19,1 % — во II группе и от 105,4 до 16,9 — в III группе. Это связано с естественным снижением метаболизма по мере взросления особей и увеличением межлиночных промежутков у ракообразных, что наблюдается у многих декапод. Удельная скорость роста составляла от 8,6 до 2,0 % в I группе, от 8,8 до 2,2 % — во II группе и от 9,0 до 2,0 % — в III группе.

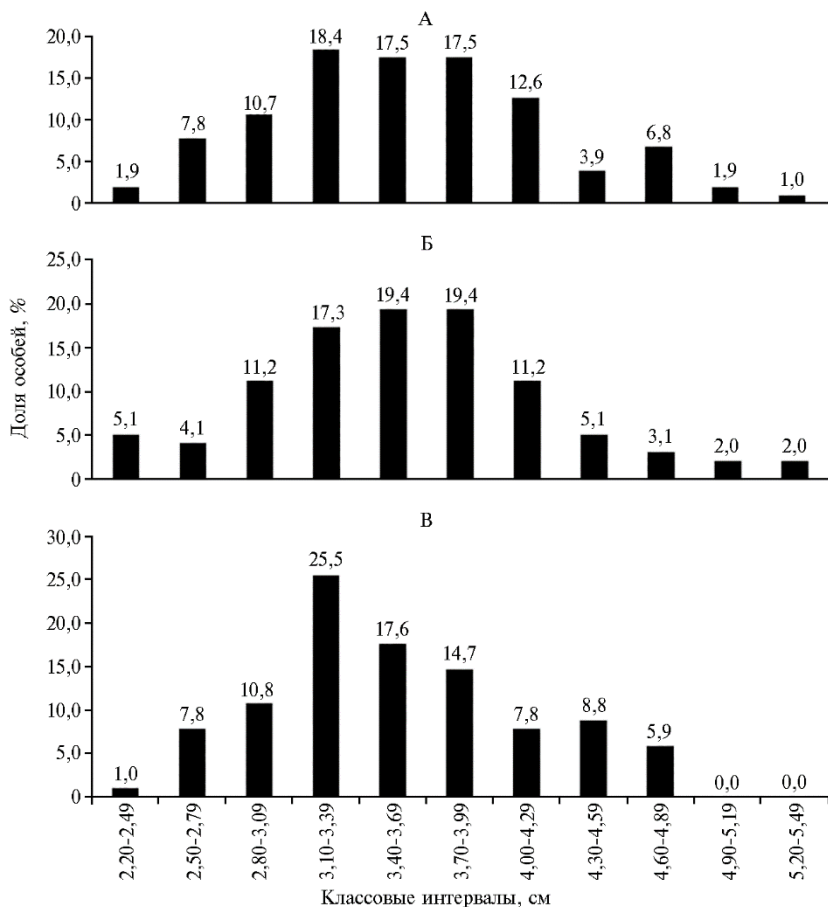


Рис. 4. Вариационные ряды длины молоди австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) при скармливании гранулированного корма для осетровых видов рыб *Corypens vital* («Alltech Corypens B.V.», Нидерланды) на 32-е сут эксперимента: А — I группа, Б — II группа, В — III группа (лабораторный опыт, 2019 год). Описание опытов см. в разделе «Методика».

Неполноценное питание может вести к неадекватному соотношению потребления энергии и веществ с дефицитом ряда макро- и микронутриентов. Это становится наиболее частой причиной иммунодефицитов и служит фактором риска у продуктивных животных. На красном болотном раке (*Procambarus clarkii*) проведены исследования в рамках поиска альтернативы рыбьего жира для кормов (34). Полная его замена на говяжий показала потенциальный вред для здоровья раков, в то время как частичная замена не подавляла рост и не ухудшала антиоксидантную способность и врожденный иммунитет. Наблюдалось увеличение содержания триглицеридов в гемолимфе и свободных жирных кислот по сравнению с раками, получавшими полноценный традиционный рацион ( $p < 0,05$ ) (34).

Некоторые рационы подразумевают периодическое или регулярное включение дополнительных компонентов — иммунопотенциаторов, таких как глицирризиновая кислота в качестве противовирусного средства. F. Liu

с соавт. (35) показали, что раки в группах, получавших оптимальную дозу 50–150 мг/кг корма, имели повышенную конечную массу тела, прирост, удельную скорость роста и пониженный коэффициент конверсии корма по сравнению с контролем ( $p < 0,05$ ). При этом были увеличены общее количество гемоцитов и содержание фенолоксидазы в гемолимфе, улучшены иммунные ответы и экспрессия связанных с иммунитетом генов. Включение в питание полисахаридов *Codonopsis pilosula* (36) давало аналогичные результаты. Изучалось влияние пробиотика *Pediococcus acidilactici* (37) и *Lactobacillus acidophilus*, *L. plantarum* (38) на иммунологические показатели гемолимфы и ферментативную систему молоты *Astacus leptodactylus* и *Cherax cainii*, а также хитозана на *Procambarus clarkii* (39). Указанные подходы в разной степени влияли на гемограмму ракообразных и общее физиологическое состояние.

## 2. Прирост биомассы и выживаемость молоди австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) при скармливании гранулированного корма для осетровых видов рыб *Corppens vital* («Alltech Corppens B.V.», Нидерланды) (лабораторный опыт, 2019 год)

Дата	I группа	II группа	III группа
	Биомасса, г		
21 июля (начало опыта)	24,0	24,0	24,0
22 августа (конец опыта)	109,5	99,0	103,9
	Прирост биомассы, %		
29 июля			
ΔM, %	99,8	102,6	105,4
Cw, %	8,6	8,8	9,0
6 августа			
ΔM, %	50,7	52,4	57,0
Cw, %	5,1	5,3	5,6
14 августа			
ΔM, %	28,9	12,1	14,8
Cw, %	3,2	1,4	1,7
22 августа			
ΔM, %	17,6	19,1	16,9
Cw, %	2,0	2,2	2,0
	Выживаемость, %		
21 июля	100,0	100,0	100,0
29 июля	88,1	89,4	90,6
6 августа	80,6	81,3	80,6
14 августа	71,9	72,5	73,1
22 августа	64,4	61,3	63,8

Примечание. Описание опытов см. в разделе «Методика». ΔM — относительный прирост биомассы, Cw — удельная скорость роста биомассы.

В наших опытах статистически значимых различий по ОЧГ и доле гранулоцитов между группами раков выявлено не было ( $p > 0,05$ ). Средние значения ОЧГ в группах находились в диапазоне от 1005 до 1073 шт/мкл, доли гранулоцитов — от 20,1 до 21,1 % (табл. 3).

## 3. Гематологические показатели молоди австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) при скармливании гранулированного корма для осетровых видов рыб *Corppens vital* («Alltech Corppens B.V.», Нидерланды) на 32-е сут эксперимента (лабораторный опыт, 2019 год)

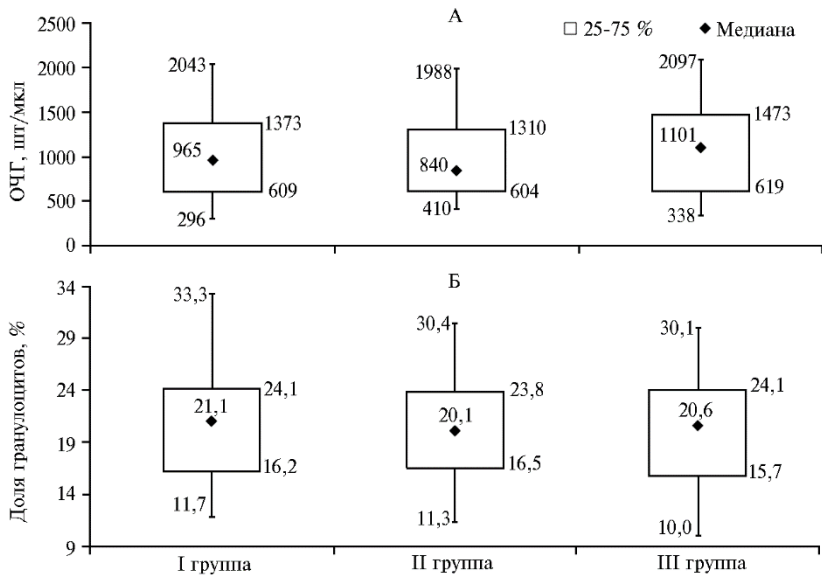
Показатель	I группа	II группа	III группа
ОЧГ, шт/мкл			
M±σ	1030±499	1005±493	1073±507
Cv, %	48,5	49,1	47,2
Доля гранулоцитов, %			
M±σ	21,1±5,97	20,2±5,50	20,1±5,48
Cv, %	28,3	27,3	27,2

Примечание. Описание опытов см. в разделе «Методика». ОЧГ — общее число гемоцитов.

Медианы (рис. 5) как усредненные показатели выборок в группах были следующими: по ОЧГ в I группе — 965, во II группе — 840, в

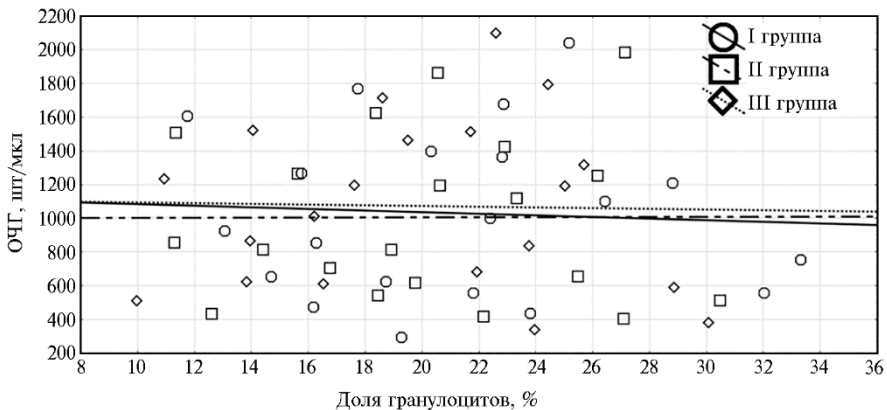


III группе — 1101 шт/мкл; по доле гранулоцитов в I группе — 21,1 %, во II группе — 20,1 %, в III группе — 20,6 %.



**Рис. 5.** Общее число гемоцитов (ОЧГ) и доля гранулоцитов у молоди австралийского красноклещевого рака (*Cherax quadricarinatus*) при скормлинии гранулированного корма для осетровых видов рыб *Sorpens vital* («Alltech Sorpens B.V.», Нидерланды) на 32-е сут эксперимента (лабораторный опыт, 2019 год). Описание опытов см. в разделе «Методика».

Общее число гемоцитов у раков при разных суточных нормах кормления не зависело от доли гранулоцитов ( $p > 0,05$ ): коэффициенты корреляции составляли от  $-0,02$  до  $-0,08$  (рис. 6).



**Рис. 6.** Соотношение общего числа гемоцитов (ОЧГ) и доли гранулоцитов у молоди австралийского красноклещевого рака (*Cherax quadricarinatus*) при скормлинии гранулированного корма для осетровых видов рыб *Sorpens vital* («Alltech Sorpens B.V.», Нидерланды) на 32-е сут эксперимента (лабораторный опыт, 2019 год). Линии на графике — прямые нулевых корреляций экспериментальных групп. Описание опытов см. в разделе «Методика».

Важный показатель усвоения и распределения питательных веществ в организме выращиваемых в аквакультуре объектов — выход съедобных частей (в нашем случае мышечного волокна, мяса) от общей живой массы. Поскольку масса молоди раков мала и осуществить изъятие всего мяса тела не представляется возможным, оценивали количество, содержащееся только в хвостовой части. Оставшиеся части тела учитывали как несъедобные (табл. 4).

Выход мяса в опытных группах у молоди рака статистически значимо не различался. Средние показатели находились в пределах от 31,11 % (II группа) до 32,54 % (I группа). Близкие данные — 30–32 % от массы тела, соответствующие более взрослым особям массой от 22 до 86 г, отмечены у *C. quadricarinatus* при выращивании в установке замкнутого водоснабжения (2, 40), у других видов раков они составляли 15–20 % (40). Стоит отметить, что в нашей работе представлены показатели по молоди, которые другие авторы не исследовали.

Один из показателей эффективности выращивания в целом — затраты корма (см. табл. 4). За все время нашего эксперимента больше всего корма было съедено в I группе — 170,9 г. В ней же отмечали наибольшие кормовые затраты — 2,00 ед.

#### 4. Технологические показатели молоди австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) при скармливании гранулированного корма для осетровых видов рыб *Corpens vital* («Alltech Corpens B.V.», Нидерланды) (лабораторный опыт, 2019 год)

Показатель	I группа	II группа	III группа
Исходная плотность посадки, экз/м <sup>2</sup>	479	479	479
Расход корма за период, г:			
21 июля–28 июля	17,3	11,5	5,8
29 июля–5 августа	34,5	23,3	11,8
6 августа–13 августа	52,0	35,6	18,6
14 августа–22 августа	67,1	39,9	21,3
Всего, г	170,9	110,3	57,5
Суммарный прирост биомассы, г	85,5	75,0	79,9
Затраты корма, ед.	2,00	1,47	0,72
Продуктивность, экз/м <sup>2</sup>	308	293	305
Продуктивность, г/м <sup>2</sup>	326,9	295,4	310,1
Себестоимость (затраты на корма), руб/кг молоди	421,4	309,7	151,7
Выход мяса с молоди			
Масса тела до обработки, г			
$M \pm \sigma$	1,06±0,167	1,10±0,156	1,08±0,172
min-max	0,76–1,34	0,67–1,30	0,79–1,39
Масса тела после обработки, г			
$M \pm \sigma$	0,95±0,146	0,92±0,136	0,97±0,149
min-max	0,68–1,16	0,66–1,15	0,72–1,21
Мышцы абдомена, г			
$M \pm \sigma$	0,31±0,065	0,30±0,067	0,32±0,073
min-max	0,15–0,40	0,14–0,32	0,17–0,46
Выход мяса из абдомена, %			
$M \pm \sigma$	32,5±3,85	31,1±2,99	32,0±3,90
min-max	22,1–37,6	21,9–37,0	22,9–36,9

Примечание. Описание опытов см. в разделе «Методика».

Низкие показатели кормового коэффициента показаны в работе С.В. Севастеева с соавт. (33). В ней при кормлении продуктами из артемии в схожие сроки получена молодь близких итоговых размеров при затрате корма от 0,5 до 1,6 ед. Если рассчитать затраты в соответствии с заявленной ООО «Пионер Трейд» (Россия) стоимостью декапсулированной артемии, которая предлагается как один из вариантов кормления в опыте С.В. Севастеева с соавторами, в 1500 руб/кг (2018 год), получится себестоимость по кормам от 750 до 2400 руб/кг, что в разы дороже применения кормов для осетровых видов рыб.

Согласно прайс-листу от 21.02.2019, в ООО «АльфеусФидс» (Россия) (официальный российский дистрибьютор «Corpens International B.V.—Alltech Corpens», Нидерланды) стоимость *Corpens vital* (0,8–1,2 мм) равняется 2,82 евро/кг, или 210,7 руб/кг (при курсе 74,7 руб/евро в феврале 2019 года). С учетом такой стоимости корма себестоимость молоди в III группе получается минимальной и составляет 151,7 руб/кг против 309,7 и 421,4 руб/кг соответственно в I и II группах.

Таким образом, низкие затраты корма на прирост единицы биомассы молоди австралийского красноклещевого рака при скармливании гранулированного корма для осетровых видов рыб *Sorpres vital* с суточной нормой кормления 3 % при близких показателях прироста, выживаемости, средних масс, длин и их медиан, а также гематологического статуса свидетельствуют об эффективном усвоении корма и избыточной норме кормления в остальных группах. Увеличение суточной нормы кормления более 3 % не привело к повышению эффективности выращивания. Затраты корма при выращивании молоди в течение 32 сут от средней массы 0,15 г до 0,89 г составили 0,72 ед. При исходной плотности посадки 479 экз/м<sup>2</sup> выживаемость составила 61–64 % с продуктивностью 293–308 экз/м<sup>2</sup>, или 295–327 г/м<sup>2</sup>. Впервые были получены данные о выходе мяса абдомена у молоди рака, который находился в пределах 31–33 %. Увеличение нормы кормления не сказывалось на общем числе гемоцитов (1005–1073 шт/мкл) и доле гранулоцитов (20–21 %). Несмотря на подтверждение эффективности применения исследуемых схем кормления, необходимы дополнительные эксперименты для выяснения минимального порога суточной нормы кормления как для указанной возрастной группы молоди австралийского красноклещевого рака, так и для более старших возрастов, поскольку метаболизм, а с ним и потребность в корме меняются по мере взросления особи.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Кубанский государственный университет,  
350040 Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149,  
e-mail: dima-shum-92@mail.ru ✉, anastasia.evrumova@yandex.ru;  
<sup>2</sup>Международный Таразский инновационный институт,  
080000 Казахстан, г. Тараз, ул. Желтоксан, 69б,  
e-mail: bakyt\_kusy\_kz@mail.ru

Поступила в редакцию  
26 февраля 2022 года

*Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2022, V. 57, № 4, pp. 803–816

## REARING OF *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) JUVENILES USING FEED FOR STURGEONS

D.V. Shumeyko<sup>1</sup> ✉, V.A. Arystangalieva<sup>2</sup>, A.A. Evrumova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kuban State University, 149, ul. Stavropolskaya, Krasnodar, 350040 Russia, e-mail dima-shum-92@mail.ru (✉ corresponding author), anastasia.evrumova@yandex.ru;

<sup>2</sup>International Taraz Innovative Institute, Taraz, Zheltoksan Street 69b, 080000 Kazakhstan, e-mail bakyt\_kusy\_kz@mail.ru

ORCID:

Shumeyko D.V. orcid.org/0000-0001-7911-1878

Evrumova A.A. orcid.org/0000-0003-2674-0827

Arystangalieva V.A. orcid.org/0000-0002-7598-6375

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Partially contributed by the Fund for the Promotion of Innovations as part of NIR (research work) "Development of biotechnology for cultivation of juveniles of aquaculture objects in water with altered physicochemical qualities" under the UMNIC program, Agreement 11100GU/2016 dated 20.02.2017

Received February 26, 2022

doi: 10.15389/agrobiology.2022.4.803eng

### Abstract

At present, the Australian red-clawed crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868) farming is not well-developed and is mainly limited to temperate and subtropical regions where the initial stages of growth occur under well controlled conditions. In Russia, *C. quadricarinatus* farming technologies are under development and the values of bioproducts are much more lower. Juveniles of crayfish are more demanding on feed and require at least a 30–50 % protein-based diet for rapid growth. Starter feed for sturgeon fish species has the appropriate indicators, which opens up prospects for its use in crayfish farming. In this work, for the first time, we submit data on feeding norms, growth rate, survival and hematological indicators of juvenile crayfish fed sturgeon feeds with a protein content of 46 %. Scientific research was aimed at studying the parameters of hemolymph and growth of juvenile Australian red-clawed crayfish that received mixed feed for sturgeons. The experiments were conducted at the Kuban State University. Equal-aged 480 juveniles of Australian red-clawed crayfish with an average weight of 150 mg were selected from three females, mixed, and distributed in three rearing tanks of 160 individuals each, according to feeding rates (group I — 9 %, group II — 6 %, group III —

3 %). The tanks were mounted in a multi-tiered closed aquaculture system. The crayfish juveniles were fed twice a day (in the morning at 9<sup>00</sup> and in the evening at 1800) with granulated feed Coppens vital (0.8-1.2 mm) (Alltech Coppens B.V., the Netherlands), a protein content of 46.0 %. Survival rates and growth rates were recorded every 8 days (July 21, July 29, August 6, August 14, and August 22). A daily feeding rate was adjusted with respect to changes in survival and biomass of the groups. On day 32, 13 individuals weighing from 0.67 to 1.39 g were selected, boiled and weighed separately. The meat was separated from the carapace and other inedible parts and weighed. To determine the total hemocyte counting (THC) and the proportion of granulocytes in the hemolymph of crayfish, the cuticle was pierced at the base of the first pair of pleopods from the ventral side of the first segment of the abdomen and a small amount of hemolymph was removed with a micropipette. At the end of the experiment, the median length was 3.50 cm for groups I and II, 3.40 cm for group III; the median weight was 0.94 g, 0.98 g, and 0.89 g for groups I, II, and III, respectively. The differences between the groups were statistically insignificant. The final mortality was 57 individuals (35.6 %) for group I, 62 individuals (38.7 %) for group II, and 58 individuals (36.2 %) for group III. Differences between the groups in total hemocyte counts (THC) and percentage of granulocytes were statistically insignificant. The THC average values ranged from 1005 to 1073 cells/ $\mu$ l, granulocytes accounted for 20.1 to 21.1 %. The median THC was 965 cells/ $\mu$ l for group I, 840 cells/ $\mu$ l for group II, and 1101 cells/ $\mu$ l for group III; the median percentage of granulocytes was 21.1 %, 20.1 %, 20.6 % for groups I, II, and III. The THC values at different daily feeding rates does not depend on the percentage of granulocytes (the correlation coefficients ranged from -0.02 to -0.08). The relative weight gain decreased from 99.8 to 17.6 % (group I), from 102.6 to 19.1 % (group II), and from 105.4 to 16.9 % (group III). The specific growth rate was from 8.6 to 2.0 % (group I), from 8.8 to 2.2 % (group II), and from 9.0 to 2.0 % (group III). The meat yield index of crayfish juveniles did not differ significantly between the groups. Average indicators ranged from 31.1 to 32.5 %. In group I, the feed cost was the highest, 2.00 vs. 1.47 in group II and 0.72 in group III. Low feed consumption (daily feeding rate 3 %) with similar values of growth rates, survival rates, average weight and length, and their medians indicate efficient assimilation of feed by *C. quadricarinatus* juveniles in group III and excessive feeding rate in other groups.

Keywords: *Cherax quadricarinatus*, Australian redclaw crayfish, juveniles, feeding, hemolymph, hemocytes, granulocytes, recirculating aquaculture system.

## REFERENCES

1. Lagutkina L.Yu., Kuz'mina E.G., Taranina A.A., Akhmedzhanova A.B., Yasinskiy V.S., Ponomarev R.A. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo*, 2020, 2: 94-105 (doi: 10.24143/2073-5529-2020-2-94-105) (in Russ.).
2. Arystangalieva V.A. *Razrabotka tekhnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala avstraliyskogo krasnokleshneвого raka (Cherax quadricarinatus) v ustanovke s zamknutym vodoispol'zovaniem. Kandidatskaya dissertatsiya* [Technology for the Australian red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus*) stocking material production in an installation with closed water use. PhD Thesis]. Moscow, 2017 (in Russ.).
3. Lagutkina L.Yu., Kuz'mina E.G., Biryukova M.G., Pershina E.V. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo*, 2019, 4: 87-94 (doi: 10.24143/2073-5529-2019-4-87-94) (in Russ.).
4. Shumeyko D., Tsymbal N., Abramchuk A., Moskul G., Taranik A. Biotechnology of Australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) juvenile on-growing in recirculating aquaculture system. *E3S Web of Conferences*, 2020, 175: 02005 (doi: 10.1051/e3sconf/202017502005).
5. Shokasheva D.I. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo*, 2018, 2: 98-103 (doi: 10.24143/2073-5529-2018-2-98-103) (in Russ.).
6. Zhigin A.V., Borisov R.R., Kovacheva N.P., Zagorskaya D.S., Arystangalieva V.A. *Rybnoe khozyaystvo*, 2017, 1: 61-65 (in Russ.).
7. Cheng S., Wei Y.-c., Jia Y.-y., Li F., Chi M.-l., Liu S.-l., Zheng J.-b., Wang D.-l., Gu Z.-m. A study on primary diets for juveniles of red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture Research*, 2021, 52(5): 2138-2145 (doi: 10.1111/are.15066).
8. Muzinic L., Thompson K., Morris A., Webster C., Rouse D., Manomaitis L. Partial and total replacement of fish meal with soybean meal and brewer's grains with yeast in practical diets for Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture*, 2004, 230(1-4): 359-376 (doi: 10.1016/S0044-8486(03)00420-4).
9. Qian D., Yang X., Xu C., Chen C., Jia Y., Gu Z., Li E. Growth and health status of the red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, fed diets with four typical plant protein sources as a replacement for fish meal. *Aquaculture Nutrition*, 2021, 27(3): 795-806 (doi: 10.1111/anu.13224).
10. Foyzal M.J., Chua E.G., Gupta S.K., Lamichhane B., Tay C.Y., Fotedar R. *Bacillus mycoides* supplemented diet modulates the health status, gut microbiota and innate immune response of freshwater crayfish marron (*Cherax cainii*). *Animal Feed Science and Technology*, 2020, 262: 114408 (doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114408).

11. Lai Y., Luo M., Zhu F. Dietary *Bacillus amyloliquefaciens* enhance survival of white spot syndrome virus infected crayfish. *Fish & Shellfish Immunology*, 2020, 102: 161-168 (doi: 10.1016/j.fsi.2020.04.033).
12. Kong F., Zhu Y., Yu H., Wang X., Abouel Azm F.R., Yuan J., Tan Q. Effect of dietary vitamin C on the growth performance, nonspecific immunity and antioxidant ability of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Aquaculture*, 2021, 541: 736785 (doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736785).
13. Xiao C., Zhang Y., Zhu F. Effect of dietary sodium butyrate on the innate immune response of *Procambarus clarkii* and disease resistance against white spot syndrome virus. *Aquaculture*, 2021, 541: 736784 (doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736784).
14. Stumpf L., Cárdenas P.N.S., Timpanaro S., Greco L.L. Feasibility of compensatory growth in early juveniles of «red claw» crayfish *Cherax quadricarinatus* under high density conditions. *Aquaculture*, 2019, 510: 302-310 (doi: 10.1016/j.aquaculture.2019.05.053).
15. Castillo Diaz F., Tropea C., Stumpf L., López Greco L.S. Effect of food restriction on female reproductive performance in the redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae, Decapoda). *Aquaculture Research*, 48(8): 4228-4237 (doi: 10.1111/are.13244).
16. Luo S., Li X., Onchari M.M., Li W., Bu Y., Lek S., Zhang T., Wan Z., Jin S. High feeding level alters physiological status but does not improve feed conversion efficiency and growth performance of juvenile red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard, 1852). *Aquaculture*, 2021, 537: 736507 (doi: 10.1016/j.aquaculture.2021.736507).
17. Hou J., Wang X., Xu Q., Cao Y., Zhang D., Zhu J. Rice-crayfish systems are not a panacea for sustaining cleaner food production. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(18): 22913-22926 (doi: 10.1007/s11356-021-12345-7).
18. Cortés-jacinto E., Villarreal-colmenares H., Civera-cerecedo R., Naranjo-páramo J. Effect of dietary protein level on the growth and survival of pre-adult freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens) in monosex culture. *Aquaculture Research*, 2004, 35(1): 71-79 (doi: 10.1111/j.1365-2109.2004.00988.x).
19. Cortés-Jacinto E., Villarreal-Colmenares H., Cruz-Suárez L. E., Civera-Cerecedo R., Nolasco-Soria H., Hernández-Llamas A. Effect of different dietary protein and lipid levels on growth and survival of juvenile Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens). *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11(4): 283-291 (doi: 10.1111/j.1365-2095.2005.00353.x).
20. Cortés-Jacinto E., Villarreal-Colmenares H., Civera-Cerecedo R., Civera-Suárez L.E. 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*, 2004, 14: 70-80.
21. Ankesheva B.M., Bedritskaya I.N., Pyatikopova O.V. *Rybvodstvo i rybnoe khozyaystvo*, 2021, 1: 70-79 (doi: 10.33920/sel-09-2101-06) (in Russ.).
22. Galochkin V.A., Ostrenko K.S., Galochkina V.P., Fedorova L.M. Interrelation of nervous, immune, endocrine systems and nutritional factors in the regulation of animal resistance and productivity (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2018, 53(4): 673-686 (doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.673rus).
23. Jolly C.A., Fernandes G. Protein-energy malnutrition and infectious disease. *Nutrition and immunology*. M.E. Gershwin, J.B. German, C.L. Keen (eds.). Humana Press, Totowa, NJ, 2000: 195-202 (doi: 10.1007/978-1-59259-709-3\_16).
24. Sepici-Dinçel A., Alparslan Z.N., Benli A.Ç.K., Selvi M., Sarıkaya R., Özkul İ.A., Erkoç F. Hemolymph biochemical parameters reference intervals and total hemocyte counts of narrow clawed crayfish *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823). *Ecological Indicators*, 2013, 24: 305-309 (doi: 10.1016/j.ecolind.2012.07.002).
25. Safari O., Paolucci M., Motlagh H.A. Effects of synbiotics on immunity and disease resistance of narrow-clawed crayfish, *Astacus leptodactylus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823). *Fish & Shellfish Immunology*, 2017, 64: 392-400 (doi: 10.1016/j.fsi.2017.03.049).
26. Lu X., Peng D., Chen X., Wu F., Jiang M., Tian J., Wei K. Effects of dietary protein levels on growth, muscle composition, digestive enzymes activities, hemolymph biochemical indices and ovary development of pre-adult red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Aquaculture Reports*, 2020, 18: 100542 (doi: 10.1016/j.aqrep.2020.100542).
27. Safari O., Paolucci M. Effects of dietary onion (*Allium cepa*) powder on growth performance, hemolymph indices and fillet organoleptic properties of juvenile narrow-clawed crayfish, *Astacus leptodactylus leptodactylus* Eschscholtz, 1823. *Aquaculture Nutrition*, 2017, 23(6): 1418-1428 (doi: 10.1111/anu.12517).
28. Huang Y., Ren Q. Research progress in innate immunity of freshwater crustaceans. *Developmental & Comparative Immunology*, 2019, 104: 103569 (doi: 10.1016/j.dci.2019.103569).
29. Lagutkina L.Yu., Evgrafova E.M., Kuz'mina E.G., Mazlov A.M. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khozyaystvo*, 2021, 2: 134-143 (doi: 10.24143/2073-5529-2021-2-134-143) (in Russ.).
30. Shcherbina M.A., Gamygin E.A. *Kormlenie ryb v presnovodnoy akvakul'ture* [Fish feeding in freshwater aquaculture]. Moscow, 2006 (in Russ.).
31. Kovacheva N.P., Aleksandrova E.N. *Gematologicheskie pokazateli kak indikator fiziologicheskogo sostoyaniya dekapod: kamchatskogo kraba Paralithodes camtschaticus i rechnykh rakov rodov Astacus*

- i Pontastacus* [Hematological parameters as indicators of the physiological state of decapods, the Kamchatka crab *Paralithodes camtschaticus* and river crayfish genera *Astacus* and *Pontastacus*]. Moscow, 2010 (in Russ.).
32. Ivanov A.A., Pronina G.I., Koryagina N.Yu. *Fiziologiya gidrobiontov* [Physiology of hydrobionts]. St. Petersburg, 2021 (in Russ.).
  33. Sevasteev S.V., Asanova A.V., Litosh T.A. V sbornike: *Sbornik III natsional'noy (vserossiyskoy) nauchnoy konferentsii «Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki»* [In: Collection of the III Scientific Conference «Theory and practice of modern agricultural science»]. Novosibirsk, 2020, 2: 705-709 (in Russ.).
  34. Gao F., Liu M., Tang J., Wang A., Tian H., Wen C., Chi C., Jiang G., Li X., Liu W., Zhang D. Partial replacement of dietary fish oil by beef tallow does not impair antioxidant capacity and innate immunity of red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*. *Aquaculture Research*, 2021, 52(7): 3310-3321 (doi: 10.1111/are.15176).
  35. Liu F., Shao G.-Y., Tian Q.-Q., Cheng B.-X., Shen C., Wang A.-M., Zhang J.-H., Tian H.-Y., Yang W.-P., Yu Y.-B. Enhanced growth performance, immune responses, immune-related gene expression and disease resistance of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) fed dietary glycyrrhizic acid. *Aquaculture*, 2021, 533: 736202 (doi: 10.1016/j.aquaculture.2020.736202).
  36. Liu F., Geng C., Qu Y.-K., Cheng B.-X., Zhang Y., Wang A.-M., Zhang J.-H., Liu B., Tian H. Y., Yang W.-P., Yu Y.-B., Chen Z.-B. The feeding of dietary *Codonopsis pilosula* polysaccharide enhances the immune responses, the expression of immune-related genes and the growth performance of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Fish & Shellfish Immunology*, 2020, 103: 321-331 (doi: 10.1016/j.fsi.2020.05.034).
  37. Vaezi M., Esmaceli Feridooni A., Manaffar R., Amini K. Effects of probiotic (*Pediococcus acidilactici*) on hematological parameters, immunological responses and digestive enzymes of *Astacus leptodactylus* juveniles. *Aquatics Physiology and Biotechnology*, 2018, 6(3): 35-60 (doi: 10.22124/japb.2018.8702.1197).
  38. Foyosal M.J., Fotedar R., Siddik M.A.B., Tay A. *Lactobacillus acidophilus* and *L. plantarum* improve health status, modulate gut microbiota and innate immune response of marron (*Cherax cainii*). *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 5916 (doi: 10.1038/s41598-020-62655-y).
  39. Sun B., Quan H., Zhu F. Dietary chitosan nanoparticles protect crayfish *Procambarus clarkii* against white spot syndrome virus (WSSV) infection. *Fish & Shellfish Immunology*, 2016, 54: 241-246 (doi: 10.1016/j.fsi.2016.04.009).
  40. Lagutkina L.Yu., Ponomarev S.V. *Estestvennye nauki*, 2010, 4 (33): 64-68 (in Russ.).