



НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 595.384:591.134

**ОСОБЕННОСТИ РОСТА ДЕСЯТИНОГИХ РАКООБРАЗНЫХ
В РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ
НА ПРИМЕРЕ АВСТРАЛИЙСКОГО РАКА *CHERAX QUADRICARINATUS*
(DECAPODA: PARASTACIDAE)*)**

© 2018 г. Р. Р. Борисов, И. Н. Никонова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

E-mail: borisovrr@mail.ru

Поступила в редакцию 26.02.2018; после доработки 20.03.2018;
принята к публикации 09.08.2018; опубликована онлайн 28.09.2018.

Объёмы производства декапод методами аквакультуры в последние годы постоянно увеличиваются. При этом особую актуальность приобретают исследования, направленные на интенсификацию технологических процессов. Одним из них является использование рециркуляционных установок. В работе на примере австралийского рака *Cherax quadricarinatus* проведён анализ основных факторов, тормозящих интенсификацию культивирования десятиногих ракообразных в рециркуляционных установках. Главными среди этих факторов являются каннибализм и подавление крупными особями роста мелких. В экспериментах исследовалось влияние на рост и выживаемость: группового и индивидуального содержания; размерного состава групп; объёма ёмкостей для культивирования. Все использованные особи получены от одной самки *C. quadricarinatus*. Продолжительность экспериментов составила шесть месяцев. Выявлена прямая корреляция каннибализма с плотностью посадки особей. В ёмкостях небольшого размера в группах раков отмечено формирование одной-двух доминирующих особей, подавляющих рост остальных раков в группе. При индивидуальном содержании скорость роста у мелких особей была выше, чем у крупных. Эксперименты с разноразмерными группами молоди раков показали, что проведение сортировки по размеру позволяет получить более быстро и равномерно растущие группы особей, но не помогает решить проблему каннибализма. На основании собранных данных рекомендовано в первые три месяца культивирования дважды проводить сортировку особей по размеру и снижать плотности посадки. Полностью исключить каннибализм возможно только при индивидуальном содержании раков.

Ключевые слова: аквакультура ракообразных, австралийский красноклешнёвый рак, *Cherax quadricarinatus*, рост, каннибализм

Аквакультура десятиногих ракообразных в последние два десятилетия демонстрирует активный рост. Так, в 2012 г. производство декапод методами аквакультуры впервые превысило их вылов из естественных водоёмов, а в 2015 г. выращено 7,35 млн т десятиногих ракообразных [10]. Особое место в аквакультуре занимает использование рециркуляционных установок, позволяющее контролировать не только параметры водной среды, но и плотность групп гидробионтов, их размерный

*Статья по материалам докладов Всероссийской конференции с международным участием «Научные чтения, посвящённые 110-летию со дня рождения д. б. н., профессора Виктора Сергеевича Ивлева (1907–1964) и 100-летию со дня рождения д. б. н. Ирины Викторовны Ивлевой (1918–1992) «Перспективы и направления развития экологии водоёмов» (11–15 октября 2017 г., Севастополь).

и половой состав. Рециркуляционные установки применяются как для выращивания товарной продукции, так и для получения посадочного материала многих видов декапод. Использование рециркуляционных установок — единственный возможный способ культивирования тепловодных видов в регионах, где температуры в естественных водоёмах опускаются ниже границы устойчивости таких видов. Однако при всех своих многочисленных достоинствах применение рециркуляционных установок связано с рядом ограничений, главные среди которых — дефицит площадей, высокие эксплуатационные затраты и небольшой объём используемых ёмкостей (меньший, чем объём естественных водоёмов). В результате для повышения рентабельности требуется увеличивать плотность культивирования гидробионтов.

При этом одной из существенных проблем культивирования десятиногих ракообразных является высокий уровень их агрессии и каннибализма в группах с повышенной плотностью содержания. Каннибализм характерен для большинства видов декапод; это основной фактор, тормозящий интенсификацию технологий индустриальной аквакультуры ракообразных [8, 12, 13, 17, 28, 30]. Другая проблема — снижение и неравномерность роста особей в группах с высокой плотностью содержания [21, 25]. Изучение этих явлений и поиск решений, направленных на уменьшение их влияния, — одно из приоритетных направлений в аквакультуре ракообразных. Среди радикальных подходов к решению вышеуказанных проблем можно назвать использование систем индивидуально-группового содержания. Они применяются для культивирования некоторых дорогостоящих и агрессивных видов, например крабов и омаров [9, 30]. Раки обычно менее склонны к каннибализму, чем крабы или омары, тем не менее он всё ещё рассматривается как основной фактор, ограничивающий развитие их аквакультуры [12, 16, 28].

Одним из активно культивируемых в мире речных раков является австралийский красноклешнёвый рак *Cherax quadricarinatus*. Хозяйства по его выращиванию есть в разных странах на четырёх континентах [8, 31]. Ведутся работы по адаптации технологии его культивирования и в России [5]. Как и у большинства десятиногих ракообразных, у этого вида поведение территориальное, но уровень агрессии в группах *C. quadricarinatus* обычно ниже, чем среди других видов речных раков. Возможность культивирования в рециркуляционных установках [2], а также относительно высокие скорости роста и развития делают данный вид хорошим модельным объектом для исследования поведения, антагонистических взаимоотношений и особенностей роста в группах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперимент проводили в два этапа. На первом молодь раков в возрасте около 20 суток с момента выхода из икры, полученную от одной самки, использовали для четырёх вариантов эксперимента продолжительностью 60 суток (табл. 1). После этого из полученной молоди раков были отобраны не имеющие повреждений особи трёх размерных категорий: крупные (длина 55,0–69,5 мм, масса 3,42–6,69 г); средние (длина 47,0–56,0 мм, масса 2,12–3,62 г); мелкие (длина 35,5–47,0 мм, масса 0,94–2,00 г). С отобранными особями в течение 120 суток проводили 4 варианта эксперимента (табл. 2), включающего групповое и индивидуальное содержание.

Таблица 1. Условия проведения первого этапа эксперимента

Table 1. Arrangements for the first stage of the experiment

Вариант	Характеристики ёмкостей		Кол-во особей	Плотность посадки, экз.·м ⁻²	Повторности
	объём воды, л	площадь дна, м ²			
1	5,6	0,043	10	230	3
2	5,6	0,043	15	345	3
3	5,6	0,043	20	460	3
4	210,0	0,570	107	190	1

Таблица 2. Условия проведения второго этапа эксперимента**Table 2.** Arrangements for the second stage of the experiment

Вариант	Характеристики ёмкостей		Количество особей длиной:			Повторности
	объём воды, л	площадь дна, м ²	35–47 мм	47–56 мм	55–70 мм	
1	2,8	0,025	1			10
2	2,8	0,025			1	10
3	200,0	0,500	10		10	1
4	200,0	0,500		20		1

На 30-е и 60-е сутки первого этапа, а также на 30, 60 и 120-е сутки второго этапа эксперимента определяли выживаемость, долю особей с повреждениями переопод, длину и массу тела раков. Кроме того, в вариантах с индивидуальным содержанием отслеживали продолжительность межличных периодов, а после каждой линьки измеряли длину и массу тела декапод. Температуру поддерживали в диапазоне 27–29 °С. В качестве корма использовали комбикорма TetraMin Granules и TetraWafer Mix производства Германии. Корм вносили один раз в сутки из расчёта 5–10 % от массы тела особей. Корректировку количества вносимого корма по ходу эксперимента проводили в соответствии с ростом и интенсивностью его потребления особями. Во всех ёмкостях находились индивидуальные укрытия норного типа и субстраты из спутанных пластиковых нитей, увеличивающие гетерогенность пространства.

Для статистической обработки данных применяли программу Statistica 6.0. В случае параметрических анализов данных использовали *t*-критерий Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. В отдельных случаях при сравнении выборок небольшого размера применяли непараметрические методы (тест Колмогорова — Смирнова) при том же уровне значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первый этап эксперимента. Через 30 суток с начала эксперимента максимальная выживаемость отмечена в варианте 1 (плотность посадки 230 экз.·м⁻²) — 90 %, минимальная зафиксирована в варианте 3 (плотность посадки 460 экз.·м⁻²) — 72 % (рис. 1). Доля особей с отсутствующими или частично регенерирующими переоподами первой пары (первые клешненоносные конечности) коррелировала с плотностью посадки особей (вариант 1–3) (рис. 1). Все случаи гибели раков как в первой, так и во второй части эксперимента были связаны с проявлениями каннибализма. Утрата особями переопод также являлась результатом агрессивных взаимодействий между раками. Наибольшее влияние на дальнейший рост оказывает утрата первых переопод, поскольку их регенерация требует значительных энергетических затрат. Кроме того, отсутствие переопод негативно сказывается на возможностях раков впоследствии активно конкурировать в группе за ресурсы. Восстановление первых переопод происходит медленно, и в течение следующих нескольких линек они остаются существенно меньше, чем у неповреждённых особей. Минимальной доля молоди с такими повреждениями была в варианте 1 (плотность посадки 230 экз.·м⁻²) — 17 %, а максимальной — в варианте 3 (плотность посадки 460 экз.·м⁻²) — 43 %. Размеры особей во всех вариантах эксперимента (рис. 2) были близкими и статистически значимых отличий не имели (*t*-критерий Стьюдента, $p > 0,05$). При этом наилучшие показатели роста зафиксированы в варианте 4 (плотность посадки 190 экз.·м⁻²).

На 60-е сутки во всех вариантах эксперимента показатели выживаемости заметно снизились (рис. 2). Больше всего случаев гибели особей в результате каннибализма (45 %) зафиксировано в варианте 3, при максимальной плотности посадки. В остальных вариантах эксперимента показатели выживаемости были близки и колебались в диапазоне 66–68 %. Доля особей, утративших первые переоподы в результате агрессивных взаимодействий (рис. 1), была высока во всех вариантах (1–3) при содержании раков в ёмкостях небольшого объёма. Минимальной доля особей, пострадавших в результате каннибализма и агрессивных взаимодействий, была в варианте 4.

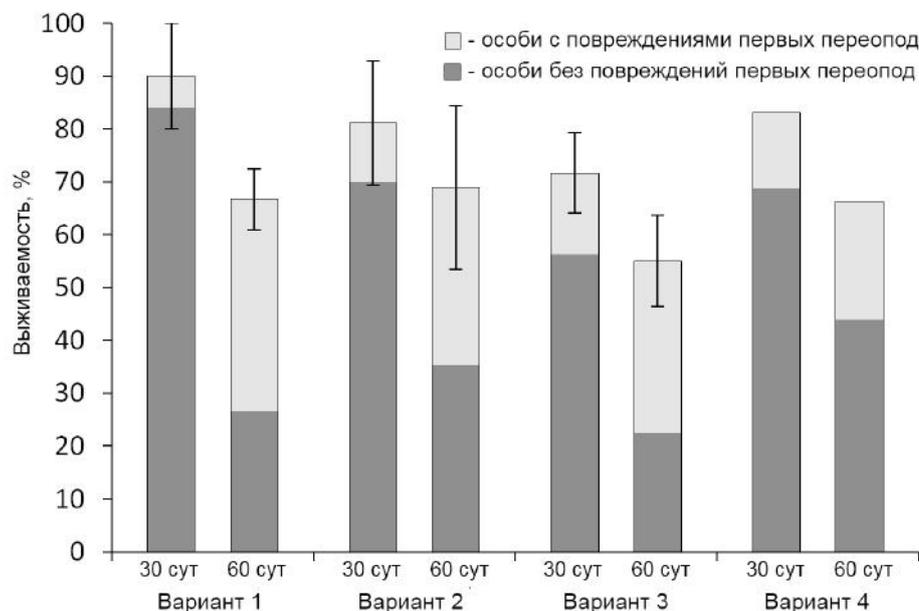


Рис. 1. Изменение выживаемости и доли молоди рака *C. quadricarinatus* с повреждениями на первом этапе эксперимента

Fig. 1. Dynamics of survival rate and proportion of *C. quadricarinatus* juveniles individuals with defects at the first stage of the experiment

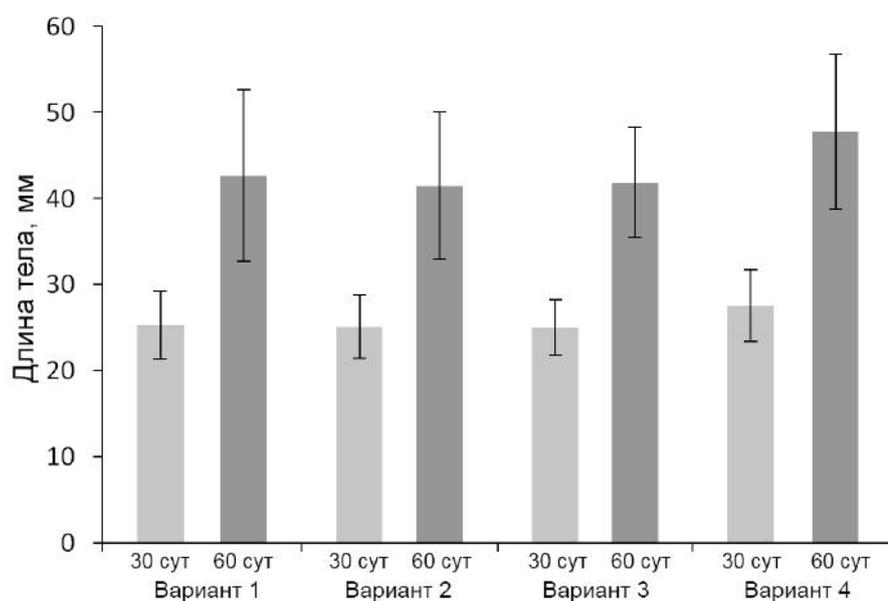


Рис. 2. Рост молоди рака *C. quadricarinatus* на первом этапе эксперимента

Fig. 2. Growth of crayfish *C. quadricarinatus* juvenile at the first stage of the experiment

В конце первого этапа эксперимента молодь в варианте 4 оказалась достоверно крупнее (t -критерий Стьюдента, $p < 0,05$), чем в вариантах 1–3 с ёмкостями маленького размера (рис. 2). Показатели роста молоди (рис. 2) в ёмкостях небольшого объёма (варианты 1–3) были близкими и не имели статистически значимых отличий вне зависимости от плотности посадки. При этом затраты кормов на единицу прироста по массе тела были меньше всего в варианте 4 (коэффициент 1,5).

Сравнение размера особей с повреждениями переопод и особей без таких повреждений (рис. 3) показало, что во всех вариантах эксперимента неповреждённые раки были достоверно крупнее (тест

Колмогорова — Смирнова, $p < 0,05$). Особенно ярко данная закономерность проявилась в вариантах 1–3, где на одну ёмкость приходились только одна-две, реже три особи без повреждений, которые были значительно крупнее других.

Второй этап эксперимента. Изменение размерно-весовых показателей раков на протяжении второго этапа эксперимента представлено на рис. 4 и 5. Наиболее существенные показатели прироста продемонстрировали мелкие особи, содержащиеся индивидуально (вариант 2) (1,32 раза по длине и 11,76 раза по массе), и особи среднего размера, содержащиеся в группе (вариант 4) (1,26 раза по длине и 11,35 раза по массе). При этом максимальные показатели средней длины и массы тела (114 мм и 32 г соответственно) на конец эксперимента были у особей из варианта 4 (рис. 5Б). Однако показатели выживаемости в вариантах 3 и 4 составили только 65 и 55 % соответственно. Кроме того, у части раков за период эксперимента в результате агрессивных взаимодействий наблюдалась утрата или повреждение переопод. Доля особей, ставших жертвами каннибализма или утративших первые переоподы, в вариантах 3 и 4 составила 50 %. Каннибализм в группах раков наблюдался практически всегда во время линьки, когда линяющая особь имела мягкие покровы и была беззащитна. Результатом высокого уровня каннибализма при содержании раков в группах стало то, что показатель продукции с одной посаженной особи у раков из групп (варианты 3 и 4) был почти в два раза ниже (17,7 г на особь), чем у крупных раков, которые содержались индивидуально (31,5 г на особь), и даже меньше, чем у мелких раков, содержащихся индивидуально (18,5 г на особь).

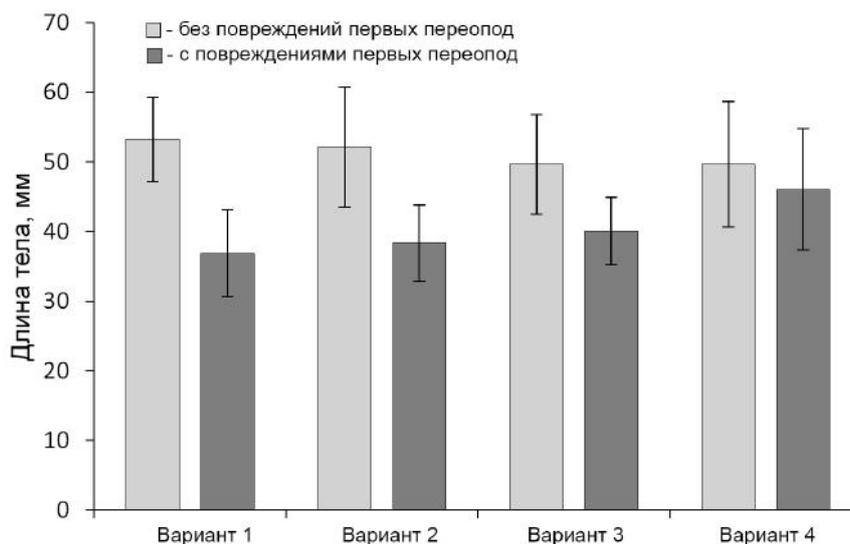


Рис. 3. Длина тела молоди рака *C. quadricarinatus* в конце первого этапа эксперимента (60 суток) у особей без повреждений и с повреждениями первых переопод

Fig. 3. Body length of the juvenile *C. quadricarinatus* at the end of the first stage of the experiment (60 days) in individuals without defects and in individuals with defects of the first pereopod

Содержание особей индивидуально (варианты 1 и 2) позволило сравнить скорость роста и частоту линек мелких и крупных раков. За время эксперимента мелкие особи линяли чаще (в среднем 3,9 линьки), чем крупные (2,6 линьки). Соответственно, межлиночные периоды у мелких раков были в среднем короче, чем у крупных. Показатели прироста по длине и массе тела у мелких (19 и 71 % соответственно) и крупных (18 и 67 % соответственно) особей были близки и не имели статистически значимых отличий. Следствием этого стало сокращение разницы в размерно-весовых показателях мелких и крупных раков при индивидуальном содержании (варианты 1 и 2) (рис. 4). При групповом содержании (вариант 3) подобной тенденции не наблюдалось, и разница в размерах между мелкими и крупными особями в конце эксперимента оставалась существенной (рис. 5А).

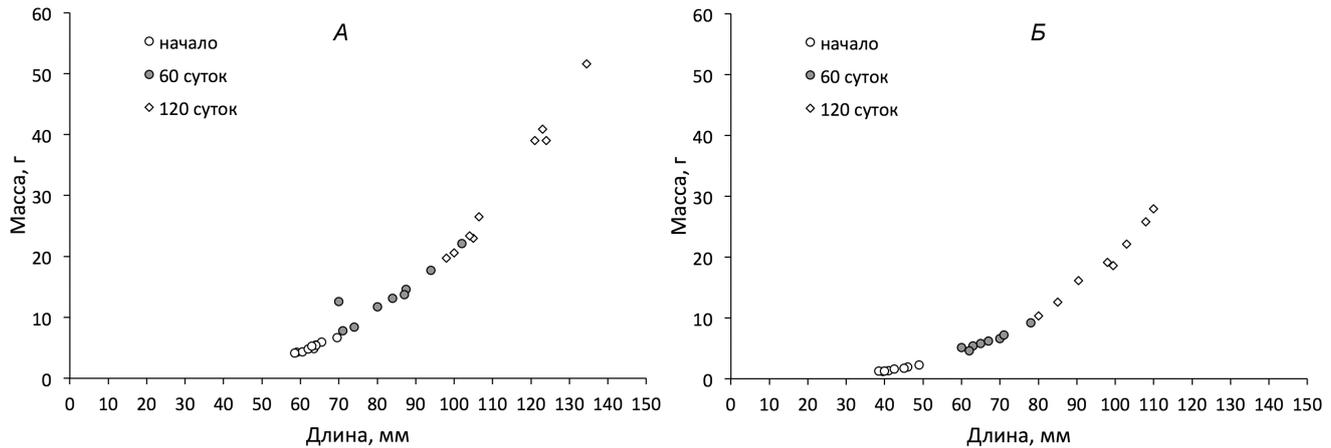


Рис. 4. Изменение размерно-весовых характеристик молоди рака *C. quadricarinatus* при индивидуальном содержании: *A* — крупных особей (вариант 1), *B* — мелких особей (вариант 2)

Fig. 4. Changes of length and weight of *C. quadricarinatus* juvenile in individual housing: *A* – large individuals (variant 1); *B* – small individuals (variant 2)

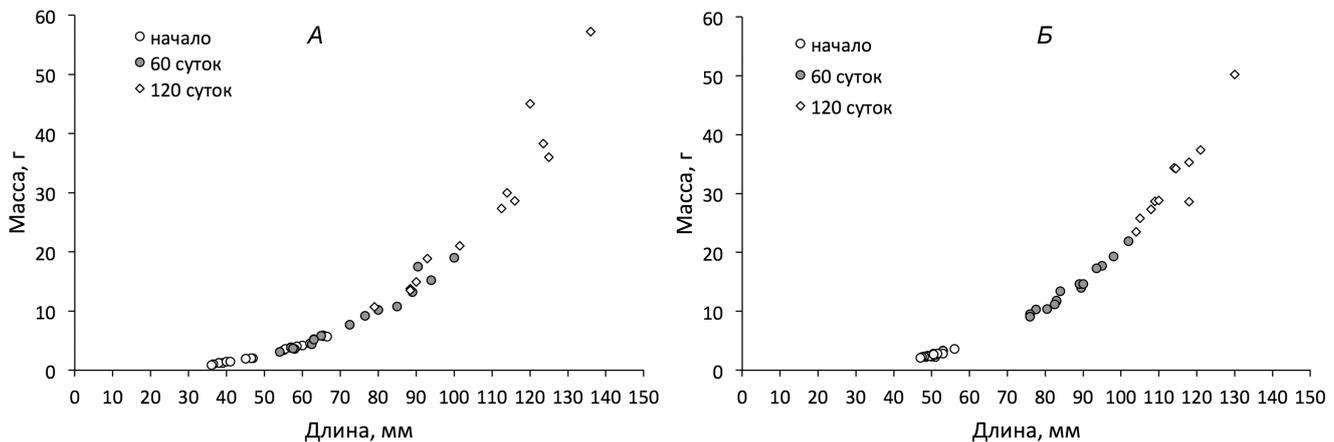


Рис. 5. Изменение размерно-весовых характеристик молоди рака *C. quadricarinatus* при групповом содержании: *A* — крупных и мелких особей (вариант 3); *B* — средних особей (вариант 4)

Fig. 5. Changes of length and weight of *C. quadricarinatus* juvenile in group housing: *A* – large and small individuals (variant 3); *B* – medium individuals (variant 4)

ОБСУЖДЕНИЕ

Десятиногие ракообразные, как и другие членистоногие, имеют жёсткий, нерастяжимый экзоскелет, выполняющий опорную и защитную функции. Однако платой за высокую эффективность внешнего экзоскелета является невозможность роста особи без смены покровов. Фактически изменение размеров у ракообразных происходит только в процессе линьки, когда сбрасываются старые покровы, размер особи быстро увеличивается за счёт гидратации, после чего происходит затвердение новых покровов. В результате рост декаподы носит ступенчатый характер, а в жизненном цикле особи регулярно повторяются периоды, когда она из-за мягких покровов остаётся практически не защищённой. При проведении экспериментов мы отметили, что большинство случаев каннибализма и травмирования происходит в период линьки раков. Зачастую здоровые особи близкого размера, находясь в межлиночном периоде, не могут нанести друг другу серьёзных травм. Исключением являются виды с очень мощными клешнями, предназначенными для дробления раковин моллюсков (например, омары). Как продемонстрировали наши эксперименты и исследования других авторов [16, 29], частота возникновения агрессивных контактов и, как следствие, каннибализма напрямую зависит от плотности посадки особей. На первом

этапе эксперимента при высоких плотностях посадки отмечались уменьшение выживаемости и повышение доли травмированных особей. По мере роста молоди раков также наблюдалось увеличение случаев каннибализма и доли травмированных особей. Это связано, по-видимому, с потребностью в большей индивидуальной территории по мере роста линейных размеров раков. Поскольку основным периодом, когда особь бывает наиболее уязвимой, является линька, можно говорить о том, что каннибализм во многом определяется вероятностью встречи линяющих раков с другими особями группы. Для уменьшения уровня каннибализма усилия должны быть направлены на снижение этой вероятности или на защиту линяющих особей.

Важным фактором, определяющим разные аспекты поведения гидробионтов, является неоднородность среды [3, 4]. Так, увеличение неоднородности среды содержания раков за счёт установки индивидуальных убежищ [11, 15], а также субстратов различных типов с большой площадью поверхности, позволяющих особям не только перемещаться по дну ёмкости, но и максимально использовать её объём [19, 24, 28], даёт возможность в несколько раз снизить уровень каннибализма [22, 27]. Однако даже применение большого количества субстратов и укрытий не позволяет полностью решить проблему, а значит, данные меры должны сочетаться с подбором допустимых (оптимальных) плотностей посадки. Следует учитывать, что с ростом особей эти значения могут уменьшаться в несколько раз. В случае *C. quadricarinatus* при использовании достаточного количества убежищ и субстратов плотность особей в первый месяц культивирования может составлять до 200 экз.·м⁻². Уже в начале второго месяца она должна быть уменьшена до 100 экз.·м⁻², а на втором-третьем месяце — снижена до 20–30 экз.·м⁻². Из полученных нами результатов первого этапа эксперимента можно сделать ещё один интересный вывод: культивирование особей в ёмкостях небольшого размера приводит к выделению в каждой из них одной-двух крупных особей, подавляющих рост остальных. Более крупные размеры раков, не получивших повреждений, отмечены во всех вариантах эксперимента, но в ёмкости большого объёма данная тенденция выражена не столь ярко. Это подтверждает опубликованные ранее сведения о том, что у *C. quadricarinatus* крупные особи занимают доминантное положение в группах и оказывают негативное влияние на рост других особей [7, 18]. В ёмкости большого размера также наблюдалось более эффективное использование кормов. В связи с этим применение ёмкостей маленького объёма (10–20 л) представляется нецелесообразным.

Как показали результаты второго этапа эксперимента по содержанию раков в группах, с ростом особей, даже несмотря на значительное снижение плотности посадки, каннибализм остаётся очень существенной проблемой. За время культивирования 50 % раков в вариантах 3 и 4 или погибли, или лишились первых переопод. Кроме того, наблюдения за ростом декапод показали, что при групповом содержании крупные особи продолжают оказывать тормозящее влияние на рост мелких. В этой связи индивидуальное содержание может быть эффективным при культивировании вида в замкнутых системах, при дефиците площадей. Несмотря на отсутствие каннибализма и травм при индивидуальном содержании, в этом варианте нами зафиксированы более низкие скорости роста. Одним из объяснений данного явления может быть то, что размер ёмкости содержания влияет на рост особи, что отмечено ранее для некоторых видов ракообразных [23, 32]. Необходимы дополнительные исследования влияния размера ёмкости на рост у *C. quadricarinatus*.

Сравнение результатов роста и выживаемости раков в разно- и одноразмерных группах подтвердило данные, полученные некоторыми авторами, что сортировка особей по размеру чаще всего не приводит к существенному сокращению уровня каннибализма, но может способствовать более равномерному росту раков [6, 26]. Кроме того, по мере роста особей сортировки становятся менее эффективными [6, 14, 26], поскольку нарушают уже сложившиеся иерархические взаимоотношения в группе. В связи с этим пересадку декапод и их сортировку по размеру целесообразно выполнять в первые три месяца культивирования.

Сравнение скорости роста раков при индивидуальном содержании показало, что мелкие особи линяли чаще крупных. За счёт частых линек мелкие раки росли быстрее крупных и в нескольких

случаях догнали их по размеру (рис. 4А). При этом наблюдалась неравномерность роста особей, а разница в средних размерах между крупными и мелкими раками сохранялась. Ускорение роста мелких особей отмечено также в случаях удаления крупных доминантов из популяции [20] и при раздельном содержании групп мелких и крупных особей [1]. Таким образом, иерархические отношения в группах раков *C. quadricarinatus* играют очень большую роль и оказывают существенное влияние на рост особей.

Заключение. Каннибализм и подавление крупными особями роста мелких являются главными проблемами при содержании австралийского рака в группах, при этом наблюдается прямая корреляция каннибализма с плотностью посадки особей. По мере роста молоди раков увеличивается уровень агрессии и каннибализма. В условиях ограниченного пространства в группах одна-две особи становятся доминирующими. Ускорить рост мелких раков можно, изолировав их от крупных доминирующих особей. Проведение сортировки по размеру позволяет получить более равномерно и быстро растущие группы раков, но не помогает решить проблему каннибализма. Кроме того, существенная индивидуальная изменчивость в скорости роста наблюдается при всех вариантах содержания. Для повышения эффективности культивирования австралийского рака по мере роста особей в первые три месяца необходимо последовательно снижать плотность посадки, проводя при этом сортировку декапод по размеру. На последних этапах культивирования актуальным может быть индивидуальное содержание.

Результаты исследований могут быть использованы для усовершенствования биотехник культивирования как *C. quadricarinatus*, так и других видов десятиногих ракообразных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Борисов Р. Р., Ковачева Н. П., Акимова М. Ю., Паршин-Чудин А. В. *Биология и культивирование австралийского красноклешнёвого рака *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868)*. Москва : Изд-во ВНИРО, 2013. 48 с. [Borisov R. R., Kovacheva N. P., Akimova M. Ju., Parshin-Chudin A. V. *Biology and cultivation of australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868)*. Moscow: VNIRO, 2013, 48 p. (in Russ.)].
2. Жигин А. В., Борисов Р. Р., Ковачева Н. П., Загорская Д. С., Арыстангалиева В. А. Выращивание австралийского красноклешнёвого рака в циркуляционной установке // *Рыбное хозяйство*. 2017. № 1. С. 61–65. [Zhigin A. V., Borisov R. R., Kovacheva N. P., Zagorskaya D. S., Arystangalieva V. A. Cultivation of australian red-claw crayfish in circulation systems. *Rybnoe khozyaistvo*, 2017, no. 1, pp. 61–65. (in Russ.)].
3. Ивлев В. С. *Экспериментальная экология питания рыб*. Москва : Пищепромиздат, 1955. 251 с. [Ivlev V. S. *Eksperimental'naya ekologiya pitaniya ryb*. Moscow: Pishchepromizdat, 1955, 251 p. (in Russ.)].
4. Михеев В. Н., Афонина М. О., Павлов Д. С. Неоднородность среды и поведение рыб: элементы неоднородности как ресурс и как источник информации // *Вопросы ихтиологии*. 2010. Т. 50, № 3. С. 378–387. [Mikheev V. N., Afonina M. O., Pavlov D. S. Heterogeneity of environment and behavior of fishes: elements of heterogeneity as resource and source of information. *Voprosy ikhtiologii*. 2010, vol. 50, no. 3, pp. 378–387. (in Russ.)].
5. Хорошко А. И., Крючков В. Н. Новые направления прудовой аквакультуры в южных регионах России // *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*. 2010. № 2. С. 51–55. [Khoroshko A. I., Kryuchkov V. N. Novye napravleniya prudovoi akvakul'tury v yuzhnykh regionakh Rossii. *Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa*, 2010, no. 2, pp. 51–55. (in Russ.)].
6. Ahvenharju T., Ruohonen K. Agonistic behaviour of signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus* Dana) in different social environments: Effects of size heterogeneity on growth and food intake. *Aquaculture*, 2007, vol. 271, iss. 1–3, pp. 307–318. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.004>.
7. Barki A., Karplus I., Manor R., Parnes S., Aflalo E. D., Sagi A. Growth of redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in a three-dimensional compartments system: Does a neighbor matter?

- Aquaculture*, 2006, vol. 252, iss. 2–4, pp. 348–355. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.07.012>.
8. *Biology freshwater crayfish* / D. M. Holdich (Ed.). Oxford, England: Blackwell Science, 2001, 720 p.
 9. Drengstig A., Bergheim A. Commercial land-based farming of European lobster (*Homarus gammarus* L.) in recirculating aquaculture system (RAS) using a single cage approach. *Aquacultural Engineering*, 2013, vol. 53, pp. 14–18. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.007>.
 10. *Fishery and Aquaculture Statistics. Global aquaculture production 1950–2015 (FishstatJ)*. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome, 2017. URL: <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>.
 11. Figler M. H., Cheverton H. M., Blank G. S. Shelter competition in juvenile red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*): The influences of sex differences, relative size and prior residence. *Aquaculture*, 1999, vol. 178, iss. 1–2, pp. 63–75. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00114-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00114-3).
 12. Franke R., Wessels S., Horstgen-Schwark G. Enhancement of survival and growth in crowded groups: the road towards an intensive production of the noble crayfish *Astacus astacus* L. in indoor recirculation systems. *Aquaculture Research*, 2013, vol. 44, iss. 3, pp. 451–461. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03052.x>.
 13. *Freshwater prawn culture: the farming of Macrobrachium rosenbergii* / M. B. New, W. C. Valenti (Eds). Oxford, England: Blackwell Sci. Ltd, 2000, 443 p. <https://doi.org/10.1002/9780470999554>.
 14. González R., Celada J. D., Carral J. M., García V., Sáez-Royuela M., González A. Intensive rearing of juvenile crayfish (*Pacifastacus leniusculus*, Astacidae) during the first 6 months: effects of size grading. *Aquaculture Research*, 2011, vol. 42, iss. 9, pp. 1385–1392. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02732.x>.
 15. González R., Celada J. D., García V., Carral J. M., González A., Sáez-Royuela M. Shelter and lighting in the intensive rearing of juvenile crayfish (*Pacifastacus leniusculus*, Astacidae) from the onset of exogenous feeding. *Aquaculture Research*, 2011, vol. 42, iss. 3, pp. 450–456. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02641.x>.
 16. González R., Celada J. D., González A., García V., Carral J. M., Sáez-Royuela M. Stocking density for the intensive rearing of juvenile crayfish, *Pacifastacus leniusculus* (Astacidae), using *Artemia* nauplii to supplement a dry diet from the onset of exogenous feeding. *Aquaculture International*, 2010, vol. 18, iss. 3, pp. 371–378. <https://doi.org/10.1007/s10499-009-9250-x>.
 17. Jeffs A. Status and challenges for advancing lobster aquaculture. *Journal of the Marine Biological Association of India*, 2010, vol. 52, pp. 320–326.
 18. Karplus I., Barki A. Social control of growth in the redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*: testing the sensory modalities involved. *Aquaculture*, 2004, vol. 242, iss. 1–4, pp. 321–333. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.08.041>.
 19. Karplus I., Barki A., Levi T., Hulata G., Harpaz S. Effects of kinship and shelters on growth and survival of juvenile Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*). In: *Freshwater Crayfish* : Proc. of the Intern. Assoc. of Astacology Tenth Symp., 1994 / M. C. Geddes, D. R. Fielder, A. M. M. Richardson (Eds). Louisiana: Louisiana State University, 1995, vol. 10, iss. 1, pp. 494–505.
 20. Moorhouse T. P., Macdonald D. W. The effect of removal by trapping on body condition in populations of signal crayfish. *Biological Conservation*, 2011, vol. 144, iss. 6, pp. 1826–1831. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.03.017>.
 21. Naranjo-Páramo J., Hernández-Llamas A., Vargas-Mendieta M., Mercier L., Villarreal H. Dynamics of commercial size interval populations of female redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) reared in gravel-lined ponds: A stochastic approach. *Aquaculture*, 2018, vol. 484, pp. 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.10.044>.
 22. Naranjo-Páramo J., Hernández-Llamas A., Villarreal H. Effect of stocking density on growth, survival and yield of juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) in gravel-lined commercial nursery ponds. *Aquaculture*, 2004, vol. 242, iss. 1–4, pp. 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.05.017>.
 23. Nicholson S., Mann D., Fotedar R., Paterson B. The effects of holding space on growth and survival of individually reared three-spot crab (*Portunus sanguinolentus*). *Aquacultural Engineering*, 2008, vol. 39, iss. 1, pp. 30–36. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.05.002>.
 24. Parnes S., Sagi A. Intensification of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* culture: I. Hatchery and nursery system. *Aquacultural Engineering*, 2002, vol. 26, iss. 4, pp. 251–262. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(02\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00034-1).
 25. Paul P., Rahman A., Hossain M. M., Islam S., Mondal S., Haq M. Effect of Stocking Density

- on the Growth and Production of Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *International Journal of Fisheries and Aquaculture Sciences*, 2016, vol. 6, no. 1, pp. 77–86.
26. Qin J.G., Ingerson T., Geddes M.C., Kumar M., Clarke S. Size grading did not enhance growth, survival and production of marron (*Cherax tenuimanus*) in experimental cages. *Aquaculture*, 2001, vol. 195, iss. 3–4, pp. 239–251. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00554-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00554-8).
27. Ramalho R.O., Correia A.M., Anastacio P.M. Effects of density on growth and survival of juvenile Red Swamp Crayfish, *Procambarus clarkii* (Girard), reared under laboratory conditions. *Aquaculture Research*, 2008, vol. 39, iss. 6, pp. 577–586. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01907.x>.
28. Romano N., Zeng C. Cannibalism of decapod crustaceans and implications for their aquaculture: a review of its prevalence, influencing factors, and mitigating methods. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 2016, vol. 25, iss. 1, pp. 42–69. <https://doi.org/10.1080/23308249.2016.1221379>.
29. Savolainen R., Ruohonen K., Railo E. Effect of stocking density on growth, survival and cheliped injuries of stage 2 juvenile signal crayfish *Pasifastacus leniusculus* Dana. *Aquaculture*, 2004, vol. 231, iss. 1–4, pp. 237–248. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.09.045>.
30. Shelley C., Lovatelli A. *Mud crab aquaculture: A practical manual*. Rome: FAO, 2011, 78 p. (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper ; no. 567).
31. Stevenson J., Jerry D., Owens L. *Redclaw Selective Breeding Project*. Australia: Rural Industries Research and Development Corporation, 2013, 58 p. (RIRDC Publication no. 13/007 ; Project no. PRJ-000327).
32. van Olst J.C., Carlberg J.M. The effects of container size and transparency on growth and survival of lobsters cultured individually. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1978, vol. 9, iss. 1–4, pp. 469–479. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1978.tb00267.x>.

**SPECIAL ASPECTS OF DECAPOD CRUSTACEANS GROWTH
IN RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEMS
AS EXEMPLIFIED BY AUSTRALIAN CRAYFISH *CHERAX QUADRICARINATUS*
(DECAPODA: PARASTACIDAE)*)**

R. R. Borisov & I. N. Nikonova

Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russian Federation

E-mail: borisovrr@mail.ru

The volume of decapod crustacean production in aquaculture has steadily increased in recent years. At the same time, studies focused on the intensification of technological processes have gained special popularity. One of such area of focus is the use of recirculating aquaculture system. In this work an analysis of the main factors inhibiting the process of intensification of the cultivation of decapod crustaceans in the recirculating aquaculture system was carried out as exemplified by Australian crayfish *Cherax quadricarinatus*. The main factors are cannibalism and the suppression of small crayfishes by large individuals. In the experiments, the influence of group and individual housing, length frequency and tank size on growth and survival rate was studied. All individuals used in the experiment were obtained from one female. The duration of the experiments was six months. A positive correlation of cannibalism with the stocking density was revealed. The formation of one-two dominant individuals suppressing the growth of the remaining individuals of the group was observed in small-sized tanks. In individual housing the grows rate of small crayfishes was higher than that of large ones. Experiments with different-sized juveniles showed that the size separation allows to obtain faster and more evenly growing groups, but it does not solve the problem of cannibalism. Considering the results, it is recommended to provide size classification two times in the first three months and decrease the stocking density. Cannibalism can be excluded only with the individual housing.

Keywords: crustacean aquaculture, Australian red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, growth, cannibalism

*Scientific communication on the materials of the reports of All-Russian conference with international participate, devoted to the 110th anniversary of Dr. Viktor Sergeevich Ivlev (1907–1964) and to the 100th anniversary of Dr. Irina Viktorovna Ivleva (1918–1992) “Prospects and directions of aquatic ecology development” (11–15 October, 2017, Sevastopol).