

Научная статья

УДК 595.384:591.134

DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-167-178

EDN: ZOBSVH



ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОСАДКИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ СОДЕРЖАНИЯ В ИСКУССТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ АВСТРАЛИЙСКОГО КРАСНОКЛЕШНЕВОГО РАКА С ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ КЛЕШНЯМИ

В.С. Жарников*

Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии,
105187, г. Москва, Окружной проезд, 19

Аннотация. Обсуждаются данные, полученные при проведении эксперимента о влиянии плотности посадки (150, 255 и 350 экз./м²) австралийского красноклешневого рака с иммобилизованными клешнями (первой пары грудных конечностей) на приросты длины и массы тела, продолжительность межлиночных интервалов, количество совершенных линек и выживаемость в трех равных по площади дна секциях аквариума. По окончании эксперимента (120 дней) выживаемость раков в первой секции сократилась до 75 экз./м² (50,0 %), во второй — до 102 экз./м² (40,0 %) и в третьей до — 114 экз./м² (37,5 %). Раки в первой секции были менее агрессивны по отношению к своим сородичам, испытывали минимальный стресс, доля погибших особей во время линьки была ниже, чем в других секциях, и составила 35 %. Показано, что в процессе эксперимента во всех трех секциях количество погибших особей в межлиночный период составило 15,0–17,5 %.

Ключевые слова: австралийский красноклешневый рак, каннибализм, иммобилизация клешней, линька, выживаемость, плотность, агрессия, травмированные особи

Для цитирования: Жарников В.С. Влияние плотности посадки на результаты содержания в искусственных условиях австралийского красноклешневого рака с иммобилизованными клешнями // Изв. ТИНРО. — 2025. — Т. 205, вып. 1. — С. 167–178. DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-167-178. EDN: ZOBSVH.

Original article

Effect of planting density on the results of growing in artificial conditions for Australian red-clawed crayfish with immobilized claws

Vyacheslav S. Zharnikov

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
19, Okružnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

Ph.D., senior researcher, zharnikov@vniro.ru, ORCID 0000-0001-6420-8175

Abstract. Results of experimental growing of Australian red-clawed crayfish with immobilized dactylopodites (movable fingers) of claws are considered. Effects of planting density

* Жарников Вячеслав Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, zharnikov@vniro.ru, ORCID 0000-0001-6420-8175.

© Жарников В.С., 2025

on body size and weight gains, duration of intermolting intervals, number of completed moults, and survival of crayfish were evaluated in three sections of aquarium with the same bottom area but different density, as 150, 255 and 350 ind./m². At the end of the experiment (120 days), 75 ind./m² had survived in the first section (50.0 %), 102 ind./m² (40.0 %) in the second section, and 114 ind./m² (37.5 %) in the third section. Crayfish in the first section were less aggressive towards their neighbors, less stressed, and their mortality during molting was lower than in the other sections (35 %). In the intermolting period, the crayfish mortality was approximately equal in all sections (15.0–17.5 %). Effect of the dactylopodites immobilization for reducing aggression and cannibalism of redclaws during their growing in artificial conditions is discussed.

Keywords: redclaw, cannibalism, immobilization of claws, molting, survival, planting density, crayfish aggression, crayfish injuring

For citation: Zharnikov V.S. Effect of planting density on the results of growing in artificial conditions for Australian red-clawed crayfish with immobilized claws, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2025, vol. 205, no. 1, pp. 167–178. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2025-205-167-178. EDN: ZOBSVH.

Введение

Cherax quadricarinatus (von Martens, 1868) — австралийский красноклешневый рак, тропический теплолюбивый вид, обитает в пресных водах, но известна его устойчивость к соленой воде. В сухой период раки перемещаются в эстуарную зону рек, где отмечается повышенный уровень соленой воды [Анцупова и др., 2023]. Традиционным местообитанием считаются реки на северо-западе штата Квинсленд и северной территории Австралии, был обнаружен в Папуа — Новая Гвинея [Анкешева и др., 2021]. В естественных условиях самцы могут достигать массы 500 г, а самки 400 [Lawrence, Jones, 2002]. В аквакультуре данный вид беспозвоночных привлекателен высоким темпом роста, за короткий промежуток времени (4–6 мес.) может достигнуть товарного размера. В сравнении с другими ракообразными австралийский красноклешневый рак не требователен к качеству воды, а важнейшим фактором жизнеобеспечения гидробионтов является температура [De Bock, Lopez Greco, 2010]. Оптимальная температура для выращивания составляет 25–30 °C [Xiaohuan et al., 1995], смертельная — ниже 10 и выше 36 °C [Lawrence, Jones, 2002].

В последние годы количество хозяйств по выращиванию австралийского красноклешневого рака в России возрастает [Борисов и др., 2022]. В большинстве случаев для его выращивания используют систему земляных прудов [Анкешева и др., 2021]. Однако из-за короткого теплого сезона (до 4 мес.) полный цикл роста красноклешневого рака до товарного размера (около 6 мес.) в прудах юга России невозможен, поэтому для достижения конечного роста или получения молоди необходима передержка раков в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) [Хорошко, Крючков, 2010].

Для повышения рентабельности УЗВ требуется увеличить плотность посадки гидробионтов. Однако существует одна из главных проблем десятиногих ракообразных — высокий уровень агрессии и каннибализма в группах с повышенной плотностью содержания [Борисов и др., 2014]. Число случаев каннибализма и агрессии увеличивается при дефиците пищи, укрытий и повышенной плотности популяции [Цукерзис и др., 1977]. Для снижения уровня каннибализма красноклешневого рака предпринимаются различные меры, включающие сортировку особей по полу, размеру, установку укрытий против агрессивных контактов при повышении плотности посадки раков. У наиболее агрессивных видов десятиногих ракообразных (крабов, омаров) для предотвращения травмированности при плотном их содержании во время транспортировки часто используют иммобилизацию клешней [Kendall et al., 1982]. Следует отметить, что австралийскому красноклешневому раку клешни (первая пара грудных конечностей) необходимы для захвата и удержания крупных объектов, защиты от хищников, спаривания, передвижения по растениям и агрессивных контактов между сородичами. Вторая и третья пара переопод имеют на конце дактилоподит (подвижный палец) и проподит (неподвижный палец), образуя небольшие клешни, участвующие в

процессе питания, выполняющие основной объем работ по поиску, сбору, удержанию и передаче пищевых объектов к ротовым конечностям [Борисов, 2020]. Таким образом, иммобилизация первой пары переопод (клешней) не сказывается на возможности поиска и употребления пищи.

Цель работы — оценить влияние иммобилизации первой пары переопод (клешней) на показатели выживаемости, темпа роста длины, массы тела, продолжительности межлиночных интервалов и оптимальной плотности посадки красноклешневого рака в искусственных условиях.

Материалы и методы

Научно-экспериментальные работы с иммобилизованными дактилоподитами первой пары грудных конечностей (клешней) проводили в течение 120 дней. В эксперименте задействовано 90 экз. австралийского красноклешневого рака с начальной длиной (зоологическая длина) 45,7–101,0 мм (среднее $59,8 \pm 1,10$ мм) и массой тела 2,1–9,8 г (среднее $6,06 \pm 0,27$ г). У каждой особи произведена первичная оценка длины (мм), массы тела (г), наносился порядковый номер с помощью влагостойкого маркера. Особей содержали в емкостях с площадью дна 0,4 м² и объемом 200 л. Аквариум был разделен пластиковыми перегородками на три равные секции (по 0,133 м²). В первой находилось 20 раков (150 экз./м²), во второй 30 (255 экз./м²) и в третьей 40 особей (300 экз./м²) (рис. 1).

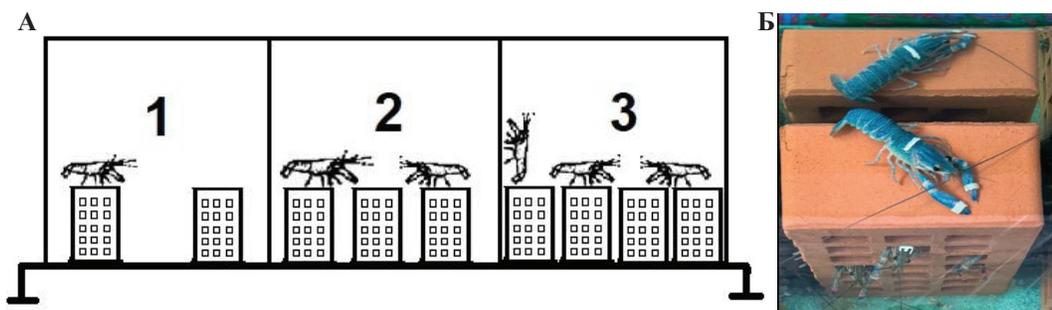


Рис. 1. Схема проведения эксперимента с австралийским красноклешневым раком (А): 1 — первая секция (20 экз.), 2 — вторая секция (30 экз.), 3 — третья секция (40 экз.); австралийский красноклешневый рак с иммобилизованными дактилоподитами первой пары грудных конечностей (клешней) (Б)

Fig. 1. Scheme of the experiment with Australian red-clawed crayfish (А): 1 — first section (20 ind.), 2 — second section (30 ind.), 3 — third section (40 ind.); Australian red-clawed crayfish with immobilized dactylopodites of claws (Б)

После каждой линьки рака извлекали экзувий (линочная шкурка) и отмечали его номер. Через 2–3 дня после затвердения внешних покровов отмечали на панцире номер, проводили измерения длины тела, определяли массу перелинявшего рака и вновь фиксировали дактилоподит у особей, надевая круглую силиконовую резинку и стягивая подвижный (дактилоподит) и неподвижный (проподит) пальцы первой пары грудных конечностей (клешни), а затем особей возвращали вновь в аквариум. В ходе эксперимента длину тела от роострума до тельсона определяли с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм, а массу раков с использованием электронных весов Superior mini digital i 2000 с точностью до 0,01 г.

В процессе проведения работ регистрировали количество линек каждой особи. Межлиночный интервал определяли после первой и второй, второй и третьей, третьей и четвертой линьками раков. Общее количество линек определяли путем подсчета среднего количества линек на одну особь.

В качестве укрытия для раков в каждую секцию помещали по одному кирпичу с 21 квадратным отверстием шириной 21 мм и длиной 91 мм, кратному для 10 ракам,

в начале эксперимента. Таким образом, в первой секции было соответственно два, во второй — три, а в третьей — четыре кирпича. Температуру в емкостях поддерживали в пределах 25–29 °С аквариумным нагревателем. В каждой емкости проводилась аэрация компрессором Tetra APS 300 и очистка воды с помощью биофильтра Eheim 2215. В качестве корма использовали комбикорм TetraWafer Mix (Германия). Корректировку количества корма по ходу эксперимента проводили в соответствии с ростом, смертностью и интенсивностью его потребления раками. Корм для раков вносили два раза в сутки в течение 120 дней эксперимента, из расчета 0,5–1,5 % от массы тела особей (при этом предварительно рассчитали суточную норму корма для каждой секции аквариума). Один раз в 3 дня проводили чистку емкостей от остатков корма и продуктов жизнедеятельности, один раз в неделю — контроль гидрохимических параметров аквариумными тестами (Tetra, производство Германия). Диапазон контролируемых показателей составлял по содержанию аммонийного азота (NH_4^+) — не более 0,25 мг/л, нитритов (NO_2) — < от 0,03 до 0,30 мг/л, нитратов (NO_3) — от 25 до 100 мг/л и уровень pH — от 7,0 до 8,5. Все диапазоны контролируемых показателей находились в пределах допустимых значений согласно рекомендациям Я. Брайнбалле [2010] и А.В. Жигина [2011]. Потери воды в результате чистки емкостей и испарения компенсировали доливом. В случае повышения нитратов до уровня выше 60–100 мг/л, проводили подмену части воды (около 50–70 %).

Для статистической обработки данных применяли программу Statistica 10.0. Для параметрических анализов данных использовали t-критерий Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. В тексте указана ошибка среднего.

Результаты и их обсуждение

Динамика выживаемости раков. Через 30 сут от начала эксперимента максимальная выживаемость раков — 70 % (14 экз.) — отмечена в первой секции с плотностью 105 экз./м². Выживаемость 60,0 (18 экз.) и 67,5 % (27 экз.) зафиксированы во второй и третьей секциях с плотностью посадки соответственно 135 и 203 экз./м². По окончании 60 дней эксперимента выживаемость раков в первой секции составила 50 % (10 экз.) с плотностью 75 экз./м² и в течение всего эксперимента (120 дней) не снижалась. Во второй и третьей секциях выживаемость в течение всего эксперимента постепенно снижалась. На 60-й день во второй секции выживаемость в емкости аквариума составила 53,3 % (16 экз.) с плотностью 120 экз./м², в третьей — 55,0 % (22 экз.) с плотностью 165 экз./м². Выживаемость и плотность раков по окончании эксперимента (120 дней) в первой секции составила 50,0 %, или 75 экз./м² (10 экз.), во второй — 40,0 %, или 90 экз./м² (12 экз.), а в третьей — 37,5 %, или 113 экз./м² (15 экз.) (рис. 2). В первой секции в конце эксперимента приходилось по 4 убежища (отверстия кирпича) на одного рака. Во второй и третьей секциях количество укрытий на одного рака составило соответ-

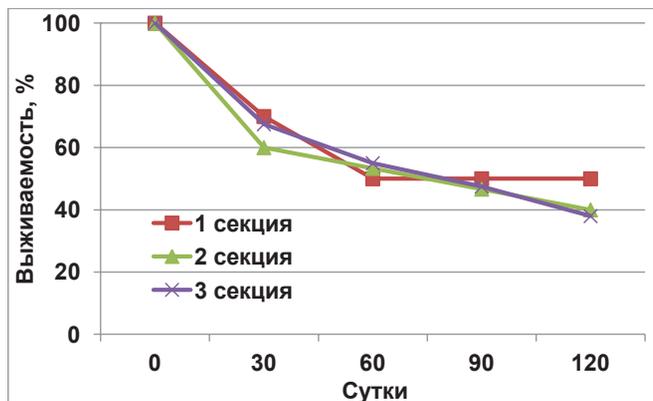


Рис. 2. Выживаемость красноклешневого рака в течение 120 дней эксперимента, %

Fig. 2. Survival of redclaw in 120 days of the experiment, %

ственно 5 и 6 отверстий. Экспериментальные данные показали, что в первой секции у раков с плотностью посадки 75 экз./м² снижение численности во втором периоде эксперимента не наблюдалось, однако во второй и третьей секциях с плотностью посадки 90 и 113 экз./м² снижение количества живых особей продолжалось в течение всего эксперимента. По наблюдениям, количество укрытий не отразилось на выживаемости раков, так как во время линьки особи беззащитны и находятся на дне аквариума, на видном месте для остальных сородичей.

Снижение выживаемости раков в искусственных условиях происходило в результате проявления каннибализма и естественной смертности в межлиночный период. Каннибализм раков наблюдался во время линьки, когда линяющая особь имеет мягкие покровы и беззащитна. Нападению своих сородичей подвергались как линяющие, так и особи, находящиеся в межлиночном периоде, при этом не происходило каннибализма, но им наносились травмы и увечья в виде оторванных конечностей. Раки с травмами медленней росли, так как большая часть энергетических затрат расходуется на восстановление потерянных конечностей [Борисов, 2020].

Подобные эксперименты с иммобилизацией и удалением клешней были проведены исследователями на омарах. Через 6 мес. лучшая выживаемость (82 %) отмечалась среди дактилотомированных (удалены подвижные пальцы (дактилоподит) первой пары грудных конечностей) омаров, а худшая выживаемость (55 %) наблюдалась в необработанном контроле. При хелотомии (удаление первой пары грудных конечностей) выживаемость составила 79 %, а у тех, у кого были склеены клеем дактилоподит и проподит (дактилостаз), она равнялась 64 % [Aiken, Young-Lai, 1981]. По мнению Aiken, Young-Lai [1979], при иммобилизации клешней у молодых красноклешневых раков увеличивалась выживаемость в сравнении с особями, находившимися в контроле. Такая же закономерность была обнаружена и у американского омара [Aiken, Young-Lai, 1979].

Проведенные исследования подтверждают тот факт, что иммобилизация клешней у красноклешневого рака приводит к увеличению выживаемости при повышенной плотности содержания в аквариуме. Так, при классическом содержании рекомендуемая плотность посадки раков может колебаться от 6 до 30 экз./м² (в среднем 20–30 экз./м²) в зависимости от массы особей [Saoud et al., 2013; Борисов, Никонова, 2018]. Другие исследования, проведенные нами в течение 140 дней по иммобилизации первой пары переопод у красноклешневого рака, при сравнении с контрольной группой показали, что фиксация клешней снижает значения приростов длины и массы тела особей, но повышает выживаемость при содержании в аквариуме с повышенной плотностью. Так, например, плотность посадки раков по окончании эксперимента в контроле снизилась с 75 экз./м² (209,1 г/м²) до 20 экз./м² (253,6 г/м²), а выживаемость составила 26,7 % [Жарников и др., 2025]. В нашем случае раки с иммобилизованными клешнями первой пары грудных конечностей с плотностью посадки 70–80 экз./м² и с биомассой до 650–740 г/м² при достаточном количестве укрытий и вносимого корма практически не подвергались каннибализму. Таким образом, в искусственных условиях при иммобилизации клешней можно содержать раков с большей плотностью посадки (2–3 раза), чем при классическом способе содержания (20–30 экз./м²).

Линька раков. Наблюдение за раками с иммобилизованными двумя клешнями первой пары грудных конечностей позволило сравнить частоту линек особей в каждой секции. На протяжении 120 дней эксперимента в первой секции среднее количество линек на одного рака составило $1,32 \pm 0,15$ раза (интервал между линек $90,9 \pm 10,3$ дня). Во второй секции количество линек на одного рака было $1,34 \pm 0,09$ раза, а интервал между ними — $89,50 \pm 6,10$ дня. В третьей секции, где плотность посадки раков равнялась 300 экз./м², количество линек было максимальным, за весь период особи полиняли $1,44 \pm 0,13$ раза, а межлиночный интервал составил в среднем $83,30 \pm 7,52$ дня. Таким образом, межлиночный период в третьей секции был короче, чем в первой и во второй секции, соответственно на 7,6 и 6,2 дня.

Подобная закономерность выявлена и у других десятиногих ракообразных. У американского омара при повышенной плотности и постоянном взаимодействии между молодыми особями увеличивается частота линьки [Cobb, Tamm, 1974, 1975; Cobb et al., 1982]. У креветки *Macrobrachium rosenbergii* при высокой плотности рост подавляется за счет уменьшения прироста за линьку [Karplus et al., 1992]. По данным А. Барки с соавторами [Barki et al., 1997] у красноклешневого рака при содержании с повышенной плотностью посадки и социальных взаимодействиях увеличивается частота линьки, но уменьшается прирост длины тела, что в совокупности способствует снижению роста особей.

Используемые в качестве укрытий кирпичи с отверстиями для раков в эксперименте показали себя как недостаточно структурированное пространство, где могут благоприятно полинять красноклешневые раки, не подвергаясь во время линьки каннибализму. Линька происходила не в укрытиях, а на дне аквариума, где раки были беззащитны. Исследования показали, что выживаемость раков снижалась из-за каннибализма полинявших особей и смертностью в межлиночный период. В первой секции аквариума выживаемость раков составила 50 %, из 10 экз. мертвых особей 7 экз. погибли во время линьки от каннибализма (35 %), а 3 экз. (15 %) — в межлиночный период по естественным причинам. Во второй секции выживаемость раков составила 40,0 %, из 18 мертвых особей (60,0 %) 13 экз. (43,4 %) погибло от каннибализма во время линьки, а 5 экз. (16,6 %) — в межлиночный период. В третьей секции выживаемость раков составила 37,5 %, из 25 мертвых особей (62,5 %) 18 экз. (45,0 %) погибло от каннибализма во время линьки, а 7 экз. (17,5 %) — в межлиночный период по естественным причинам. Следует отметить, что плотность посадки раков не повлияла на смертность в межлиночный период: количество погибших особей находилось на уровне 15,0–17,5 % во всех секциях эксперимента (табл. 1). Выживаемость раков во всех секциях была в прямой зависимости от уровня каннибализма во время линьки и в меньшей степени от смертности в межлиночный период.

Таблица 1

Количество погибших раков от каннибализма во время линьки и в межлиночный период в различных секциях, экз./%

Table 1

Number and percentage of crayfish died from cannibalism during molting and in the intermolting period, ind./%

Показатель	Первая секция	Вторая секция	Третья секция
Кол-во выживших особей	10/50	12/40,0	15/37,5
Смертность	10/50	18/60,0	25/62,5
Погибшие во время линьки от каннибализма	7/35	13/43,4	18/45,0
Смертность в межлиночный период	3/15	5/16,6	7/17,5
Травмированные особи (соотношение)	1 (1 : 10)	2 (1 : 6)	5 (1 : 3)

Повышение плотности содержания раков увеличило количество травмированных особей. В первой секции в конце эксперимента количество травмированных особей и без повреждений составило в соотношении 1 : 10 (отсутствовали переоподы — клешни первой пары грудных конечностей или ходильные конечности). Во второй (1 : 6) и третьей секциях (1 : 3) количество травмированных особей встречалось чаще (табл. 1).

Приросты длины и массы раков. За 120 дней эксперимента наиболее существенные показатели приростов длины и массы тела продемонстрировали выжившие особи из первой секции. Средняя длина выживших раков увеличилась с $57,61 \pm 2,02$ до $71,38 \pm 2,56$ мм, прирост длины тела составил $13,77 \pm 0,72$ мм (23,9 %), а масса тела увеличилась с $5,30 \pm 0,88$ до $9,25 \pm 1,12$ г, прирост — $3,95 \pm 0,64$ г (74,5 %). Менее существенные показатели приростов длины и массы тела продемонстрировали выжившие особи из второй и третьей секций. Так, средняя длина и масса тела раков во второй секции увеличилась с $64,30 \pm 1,41$ до $71,56 \pm 2,85$ мм (прирост длины тела $7,26 \pm 0,50$ мм, или 11,3 %), а масса тела — с $6,95 \pm 1,04$ до $8,74 \pm 1,04$ г ($1,79 \pm 0,34$ г, или 25,7 %).

В третьей секции прироста длины и массы тела были на уровне показателей второй секции, длина тела увеличилась с $63,03 \pm 1,57$ до $70,54 \pm 2,33$ мм (прирост $7,51 \pm 0,30$ мм, или 11,9 %), а масса тела с $6,50 \pm 0,71$ до $8,28 \pm 0,71$ г ($1,78 \pm 0,17$ г, или 27,4 %) (табл. 2). Подобные данные были получены нами при проведении другого эксперимента с одной, двумя иммобилизованными и свободными клешнями. Прирост массы раков с одной иммобилизованной клешней составил $2,75 \pm 0,85$ г, или 30 %. А наиболее низкие показатели прироста массы были у особей с двумя иммобилизованными клешнями $1,78 \pm 0,36$ г (21 %). У раков в контроле (свободные клешни) прирост составил $4,18 \pm 1,24$ г, или 49 % [Жарников и др., 2025]. Таким образом, иммобилизация клешней влияет на прирост массы тела при высокой плотности посадки раков, но не отражается при низкой, даже при избытке корма в аквариуме.

Таблица 2
Изменение длины, массы тела и выживаемость красноклешневого рака в ходе эксперимента
Table 2
Dynamics of body length, body weight and survival of redclaw during the experiment

Показатель	Первая секция	Вторая секция	Третья секция
	Начало эксперимента		
Кол-во особей, экз.	20	30	40
Средняя длина особей в начале эксперимента, мм	$57,61 \pm 2,02$	$64,30 \pm 1,41$	$63,03 \pm 1,57$
Средняя масса особей в начале эксперимента, г	$5,30 \pm 0,88$	$6,95 \pm 1,04$	$6,50 \pm 0,71$
	Конец эксперимента		
Кол-во выживших особей, экз.	10	12	15
Средняя длина выживших особей, мм	$71,38 \pm 2,56$	$71,56 \pm 2,85$	$70,54 \pm 2,33$
Средняя масса выживших особей, г	$9,25 \pm 1,12$	$8,74 \pm 1,04$	$8,28 \pm 0,71$
Выживаемость за весь срок эксперимента, %	50,0	40,0	37,5
Кол-во линек, раз	$1,32 \pm 0,15$	$1,34 \pm 0,09$	$1,44 \pm 0,13$

Статистический анализ показал, что прирост длины ($t = 0,0087$; $p = 0,9929$) и массы ($t = 0,0068$; $p = 0,9945$) тела раков во второй и третьей секциях достоверно не различались, в остальных случаях различия были достоверны (табл. 3).

Таблица 3
Сравнение показателей приростов длины и массы раков в трех секциях эксперимента
Table 3
Comparison of length and weight gains for crayfish in three sections of the experiment

Секции экспериментов	–	Вторая секция		Третья секция	
	Прирост	Длина	Масса	Длина	Масса
Первая	Длина	$t = 4,420$; $p = 0,0020$	–	$t = 3,3901$; $p = 0,0025$	–
	Масса	–	$t = 3,0950$; $p = 0,0059$	–	$t = 3,4291$; $p = 0,0023$
Вторая	Длина	–	–	$t = 0,0087$; $p = 0,9929$	–
	Масса	–	–	–	$t = 0,0068$; $p = 0,9945$

Скорость роста ракообразных зависит от линек, во время которых они растут [Storer, 2005]. Как показали исследования Лоуренса и Джонса [Lawrence, Jones, 2002], рост австралийского красноклешневого рака обратно пропорционален плотности посадки, даже когда пища не была ограничивающим фактором, как при интенсивном выращивании в земляных прудах, так и в интенсивных рециркуляционных системах (УЗВ). При низкой плотности, предположительно с меньшим количеством социальных взаимодействий, более половины раков достигало больших размеров, и рост был от-

носителем однородным, тогда как при высокой плотности рост снижался, а вариации размеров увеличивались [Pinto, Rouse, 1996; Jones, Ruscoe, 2000]. По мнению исследователей, влияние иммобилизации клешней на рост ракообразных было незначительным и проявлялось в несколько более коротких интервалах линьки по сравнению с особями, имеющими свободные клешни [Kendall et al., 1982].

Результаты настоящего исследования подтверждают ранее опубликованные данные, что у австралийского красноклешневого рака наблюдается обратная зависимость между плотностью и увеличением средней массы, даже если кормление проводится с избытком [Jones et al., 2000]. Добавление укрытий для красноклешневого рака приводит к увеличению массы и уменьшению коэффициента ее вариации, несмотря на то что уровни кормления, выживаемость и плотность аналогичны таковым в контрольных группах без укрытий [Karplus et al., 1995]. Использование укрытий и иммобилизация клешней у красноклешневого рака в эксперименте в первой секции способствовало снижению агрессивных контактов между особями, что привело к более равномерному росту всех особей в группе. В то же время высокая плотность раков во второй и третьей секциях содействовала низкому приросту длины и массы тела, а также повышенному травматизму особей.

Выращивание австралийского красноклешневого рака в естественных условиях на юге России возможно только при прогреве воды не менее 20 °С. По опыту прудового выращивания красноклешневого рака в Астраханской области известно, что при посадке особей массой более $5,0 \pm 3,1$ г за 60 дней средняя масса тела раков увеличилась до $32,5 \pm 14,4$ г (минимальная товарная масса 30 г), а за 100 дней — до $82,4 \pm 26,5$ г [Пятикопова и др., 2024]. Таким образом, при посадке красноклешневых раков в УЗВ и выпуске их в пруды для подращивания можно получить особей товарного размера за короткий промежуток времени (60–100 дней).

Заключение

Проведенный эксперимент по иммобилизации клешней у австралийского красноклешневого рака продемонстрировал положительный результат. Иммобилизация клешней позволила в три раза повысить плотность посадки раков, в отличие от классического способа содержания. В первой секции показатель выживаемости составил 50,0 % (75 экз./м²), а во второй и третьей секциях аквариума с более высокой плотностью раков выживаемость снизилась соответственно до 40,0 % (90 экз./м²) и 37,5 % (113 экз./м²). Плотность посадки раков не отразилась на смертности в межлиночный период (15,0–17,5 %), однако уровень погибших от каннибализма был различен и составлял от 35 до 45 %. Результаты эксперимента выявили, что иммобилизация клешней является перспективным методом для повышения эффективности временного содержания взрослых раков в искусственных условиях. Она позволяет увеличить плотность посадки, снизить каннибализм и травмированность взрослых животных, тем самым улучшить товарное качество особей в рециркуляционных установках. Оптимальным вариантом использования технологии иммобилизации первой пары переопод — это содержание раков в УЗВ с дальнейшим выпуском их в пруды для подращивания до товарного размера. По завершении летнего сезона можно длительно содержать их при повышенной плотности посадки и сохранении высокой выживаемости в искусственных условиях для последующей реализации. Полученные данные эксперимента открывают новые возможности для оптимизации выращивания раков на производстве, что может быть особенно ценным для аквакультурных хозяйств, стремящихся увеличить продуктивность и снизить затраты при временном содержании животных в искусственных условиях.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает искреннюю благодарность ведущему специалисту отдела аквакультуры беспозвоночных ВНИРО Ирине Николаевне Никоновой за существенную помощь в организации и предоставлении живого материала для проведения эксперимента.

The author is sincerely grateful to Irina N. Nikonova, leading specialist of the Invertebrate Aquaculture Dept. of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO) for her great help in organizing the experiment and providing live specimens of crayfish.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках бюджетного финансирования ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

The study was conducted within the framework of budgetary funding of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO).

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional guidelines for care and use of animals were implemented. The author declares no conflict of interest.

Список литературы

Анкешева Б.М., Тангатарова Р.Р., Пятикопова О.В. Формирование ремонтно-маточного стада австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) в индустриальной аквакультуре // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 4. — С. 948–959. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-948-959.

Анцупова А.М., Шумейко Д.В., Скафарь Д.Н. и др. Влияние растворов хлорида натрия на рост и выживаемость молоди австралийского красноклешневого рака // Тр. ВНИРО. — 2023. — Т. 194. — С. 143–154. DOI: 10.36038/2307-3497-2023-194-143-154.

Борисов Р.Р. Морфология и поведение десятиногих ракообразных (Crustacea: Decapoda) в постэмбриональном онтогенезе : дис. ... д-ра биол. наук. — М. : ВНИРО, 2020. — 395 с.

Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Артемов Р.В. и др. Оценка эффекта применения комбикормов с различным уровнем белка для молоди австралийского красноклешневого рака в условиях УЗВ // Тр. ВНИРО. — 2022. — Т. 187. — С. 128–137. DOI: 10.36038/2307-3497-2022-187-128-137.

Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Паршин-Чудин А.В. Управление пространственным распределением десятиногих ракообразных (отр. Decapoda) при культивировании в искусственных условиях // Рыб. хоз-во. — 2014. — № 3. — С. 84–89.

Борисов Р.Р., Никонова И.Н. Особенности роста десятиногих ракообразных в рециркуляционных установках на примере австралийского рака *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) // Морской биологический журнал. — 2018. — Т. 3, № 3. — С. 3–12. DOI: 10.21072/MBJ.2018.03.3.01.

Брайнбалле Я. Руководство по аквакультуре в установках замкнутого водоснабжения. Введение в новые экологические и высокопродуктивные замкнутые рыболовные системы. — Копенгаген : ФАО, 2010. — 70 с.

Жарников В.С., Никонова И.Н., Глазунов А.А. Особенности роста и выживаемости австралийского красноклешневого рака при иммобилизации клешней в искусственных условиях // Рыбоводство и рыбное хозяйство. — 2025. — № 2. — С. 102–114. DOI: 10.33920/sel-09-2502-03.

Жигин А.В. Замкнутые системы в аквакультуре : моногр. — М. : РГАУ-МСХА, 2011. — 664 с.

Пятикопова О.В., Бедрицкая И.Н., Попов Д.А., Тангатарова Р.Р. Опыт прудового выращивания красноклешневого рака в Астраханской области // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 659–669. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-659-669. EDN: MIEONV.

Хорошко А.В., Крючков В.Н. Новые направления прудовой аквакультуры в южных регионах России // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. — 2010. — Т. 2. — С. 51–54.

Цукерзис Я.М., Шаштояк И.А., Тамкявичене Е.А. Каннибализм у широкопалого рака // Тр. АН ЛитССР. Сер. В. — 1977. — Т. 3, № 79. — С. 97–103.

Aiken D.E., Young Lai W.W. Cheliped ablation and immobilization: methods for improving survival and growth of juvenile American lobster in commercial culture tanks // Proc. World Mari-culture. Soc. — 1979. — Vol. 10. — P. 159–161.

Aiken D.E., Young-Lai W.W. Dactyotomy, chelotomy and dactylostasis. Methods for enhancing survival and growth of small lobsters (*Homarus americanus*) in communal conditions // Aquaculture. — 1981. — Vol. 22. — P. 45–52. DOI: 10.1016/0044-8486(81)90132-0.

Barki A., Levi T., Shrem A., Karplus I. Ration and spatial distribution of feed affect survival, growth and competition in juvenile red-claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, reared in the laboratory // Aquaculture. — 1997. — Vol. 148, № 2–3. — P. 169–177. DOI: 10.1016/S0044-8486(96)01418-4.

Cobb J.S., Tamm G.R. Dominance status and molt order in lobsters (*Homarus americanus*) // Mar. Behav. Physiol. — 1975. — Vol. 3, № 2. — P. 119–124. DOI: 10.1080/10236247509378501.

Cobb J.S., Tamm G.R. Social conditions increase intermolt period in juvenile lobsters, *Homarus americanus* // J. Fish. Res. Board Can. — 1974. — Vol. 32. — P. 1941–1943.

Cobb J.S., Tamm G.R., Wang D. Behavioral mechanisms influencing molt frequency in the American lobster, *Homarus americanus* Milne Edwards // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. — 1982. — Vol. 62, № 3. — P. 185–200. DOI: 10.1016/0022-0981(82)90200-3.

De Bock M.S., López Greco L.S. Sex reversal and growth performance in juvenile females of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae): effect of increasing temperature and androgenic gland extract in the diet // Aquacult. Int. — 2010. — № 18. — P. 231–243. DOI: 10.1007/s10499-008-9239-x.

Jones C.M., Ruscoe I.M. Assessment of stocking size and density in the production of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) (Decapoda: Parastacidae), cultured under earthen pond conditions // Aquaculture. — 2000. — Vol. 189, № 1–2. — P. 63–71. DOI: 10.1016/S0044-8486(00)00359-8.

Karplus I., Barki A., Levi T. et al. Effects of kinship and shelters on growth and survival of juvenile Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) // Freshw. Crayfish. — 1995. — Vol. 10. — P. 494–505.

Karplus I., Hulata G., Ovadia D., Jaffe R. Social control of growth in *Macrobrachium rosenbergii*. III. The role of claws in bull-runt interactions // Aquaculture. — 1992. — Vol. 105, № 3–4. — P. 281–296. DOI: 10.1016/0044-8486(92)90093-Z.

Kendall R.A., Van Olst J.C., Carlberg J.M. Effects of chelae immobilization on growth and survivorship for individually and communally raised lobsters, *Homarus americanus* // Aquaculture. — 1982. — Vol. 29, № 3–4. — P. 359–372. DOI: 10.1016/0044-8486(82)90148-X.

Lawrence C., Jones C. Chapter Cherax // Biology of Freshwater Crayfish. — Oxford : Blackwell Science, 2002. — P. 635–670.

Pinto G.F., Rouse D.B. Growth and survival of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* at three densities in earthen ponds // J. World Aquacul. Soc. — 1996. — Vol. 27, № 2. — P. 187–193. DOI: 10.1111/j.1749-7345.1996.tb00268.x.

Saoud I.P., Ghanawi J., Thompson K.R., Webster C.D. A Review of the Culture and Diseases of Redclaw Crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868) // J. World Aquacul. Soc. — 2013. — Vol. 44, № 1. — P. 1–29. DOI: 10.1111/jwas.12011.

Storer T.J. Ethology and production of freshwater crayfish in aquatic polysystems in Western Australia : thesis of Doctor of Philosophy. — Curtin : Univ. of Technolog, 2005. — 370 p.

Xiaoxuan C., Zhixin W., Licai H. Effects of water temperature on ingestion and growth of *Cherax quadricarinatus* // J. Huazhong (Central China) Agricultural University. — 1995. — Vol. 14(5). — P. 477–480.

References

Ankesheva, B.M., Tangatarova, R.R., and Pyatikopova, O.V., Growing of replacement broodstock for australian red-claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in industrial aquaculture, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 4, pp. 948–959. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-948-959

Antsupova, A.M., Shumeyko, D.V., Skafar, D.N., Markov, A.D., Kosheleva, E.E., and Borisova, S.O., Influence of sodium chloride solutions on the juvenile Australian red-clawed growth and survival, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 194, pp. 143–154. doi 10.36038/2307-3497-2023-194-143-154

Borisov, R.R., Morphology and behavior of decapod crustaceans (Crustacea: Decapoda) in postembryonic ontogenesis, *Doctoral (Biol.) Dissertation*, Moscow: VNIRO, 2020.

Borisov, R.R., Kovacheva, N.P., Artemov, R.V., Nikonova, I.N., Arnautov, M.V., Artemov, A.V., and Gershunskaya, V.V., Efficiency assessment of the use of compound feeds with protein different levels for juveniles Australian red claw crayfish in RAS conditions, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 187, pp. 128–137. doi 10.36038/2307-3497-2022-187-128-137

Borisov, R.R., Kovacheva, N.P., and Parshin-Chudin, A.V., Decapoda spacing management of the process of cultivation under artificial conditions, *Rybn. Khoz.*, 2014, no. 3, pp. 84–89.

Borisov, R.R. and Nikonova, I.N., Special aspects of decapod crustaceans growth in recirculating aquaculture systems as exemplified by australian crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae), *Morskoy biologicheskiy zhurnal*, 2018, vol. 3, no. 3, pp. 3–12. doi 10.21072/MBJ.2018.03.3.01

Brynalle, Ya., *Rukovodstvo po akvakul'ture v ustanovkakh zamknutogo vodosnabzheniya. Vvedeniye v novyye ekologicheskiye i vysokoproduktivnyye zamknutyie rybovodnyye sistemy* (Guide to aquaculture in closed water supply installations. Introduction to new ecological and highly productive closed fish farming systems), Copenhagen: FAO, 2010.

Zharnikov, V.S., Nikonova, I.N., and Glazunov, A.A., Features of growth and survival of the Australian red-claw crayfish during immobilization of claws in artificial conditions, *Rybovodstvo i rybnoye khozyaystvo*, 2025, no. 2, pp. 102–114. doi 10.33920/sel-09-2502-03

Zhigin, A.V., *Zamknutyie sistemy v akvakul'ture* (Closed systems in aquaculture), Moscow: RGAU-MSKHA, 2011.

Pyatikopova, O.V., Bedritskaya, I.N., Popov, D.A., and Tangatarova, R.R., Experience of pond cultivation for red-clawed crayfish in the Astrakhan Region, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 659–669. doi 10.26428/1606-9919-2024-204-659-669. EDN: MIEONV.

Khoroshko, A.V. and Kryuchkov, V.N., New directions of pond aquaculture in the southern regions of Russia, *Teoreticheskiye i prikladnyye problemy agropromyshlennogo kompleksa*, 2010, vol. 2, pp. 51–54.

Tsukerzis, Y.M., Shashtoyaks, I.A., and Tamkyavichene, E.A., Cannibalism in broad-clawed crayfish, *Trudy Akademii nauk Litovskoy SSR, Ser. B*, 1977, vol. 3, no. 79, pp. 97–103.

Aiken, D.E. and Young Lai, W.W., Cheliped ablation and immobilization: methods for improving survival and growth of juvenile American lobster in commercial culture tanks, *Proc. World Mariculture. Soc.*, 1979, vol. 10, pp. 159–161.

Aiken, D.E. and Young-Lai, W.W., Dactylotomy, chelotomy and dactylostasis. Methods for enhancing survival and growth of small lobsters (*Homarus americanus*) in communal conditions, *Aquaculture*, 1981, vol. 22, pp. 45–52. doi 10.1016/0044-8486(81)90132-0

Barki, A., Levi, T., Shrem, A., and Karplus, I., Ration and spatial distribution of feed affect survival, growth and competition in juvenile red-claw crayfish, *Cherax quadricarinatus*, reared in the laboratory, *Aquaculture*, 1997, vol. 148, no. 2–3, pp. 169–177. doi 10.1016/S0044-8486(96)01418-4

Cobb, J.S. and Tamm, G.R., Dominance status and molt order in lobsters (*Homarus americanus*), *Mar. Behav. Physiol.*, 1975, vol. 3, no. 2, pp. 119–124. doi 10.1080/10236247509378501

Cobb, J.S. and Tamm, G.R., Social conditions increase intermolt period in juvenile lobsters, *Homarus americanus*, *J. Fish. Res. Board Can.*, 1974, vol. 32, pp. 1941–1943.

Cobb, J.S., Tamm, G.R., and Wang, D., Behavioral mechanisms influencing molt frequency in the American lobster, *Homarus americanus* Milne Edwards, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1982, vol. 62, no. 3, pp. 185–200. doi 10.1016/0022-0981(82)90200-3

De Bock, M.S. and López Greco, L.S., Sex reversal and growth performance in juvenile females of the freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Parastacidae): effect of increasing temperature and androgenic gland extract in the diet, *Aquacult. Int.*, 2010, no. 18, pp. 231–243. doi 10.1007/s10499-008-9239-x

Jones, C.M. and Ruscoe, I.M., Assessment of stocking size and density in the production of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (von Martens) (Decapoda: Parastacidae), cultured under earthen pond conditions, *Aquaculture*, 2000, vol. 189, no. 1–2, pp. 63–71. doi 10.1016/S0044-8486(00)00359-8

Karplus, I., Barki, A., Levi, T., Hulata, G., and Harpaz, S., Effects of kinship and shelters on growth and survival of juvenile Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*), *Freshw. Crayfish*, 1995, vol. 10, pp. 494–505.

Karplus, I., Hulata, G., Ovadia, D., and Jaffe, R., Social control of growth in *Macrobrachium rosenbergii*. III. The role of claws in bull-runt interactions, *Aquaculture*, 1992, vol. 105, no. 3–4, pp. 281–296. doi 10.1016/0044-8486(92)90093-Z

Kendall, R.A., Van Olst, J.C., and Carlberg, J.M., Effects of chelae immobilization on growth and survivorship for individually and communally raised lobsters, *Homarus americanus*, *Aquaculture*, 1982, vol. 29, no. 3–4, pp. 359–372. doi 10.1016/0044-8486(82)90148-X

Lawrence, C. and Jones, C., Chapter Cherax, *Biology of Freshwater Crayfish*, Oxford: Blackwell Science, 2002, pp. 635–670.

Pinto, G.F. and Rouse, D.B., Growth and survival of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* at three densities in earthen ponds, *J. World Aquacul. Soc.*, 1996, vol. 27, no. 2, pp. 187–193. doi 10.1111/j.1749-7345.1996.tb00268.x

Saoud, I.P., Ghanawi, J., Thompson, K.R., and Webster, C.D., A review of the culture and diseases of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Von Martens 1868), *J. World Aquacul. Soc.*, 2013, vol. 44, no. 1, pp. 1–29. doi 10.1111/jwas.12011

Storer, T.J., Ethology and production of freshwater crayfish in aquatic polysystems in Western Australia, *Thesis of Doctor of Philosophy*, Curtin: Univ. of Technolog, 2005.

Xiaoxuan, C., Zhixin, W., and Licai, H., Effects of water temperature on ingestion and growth of *Cherax quadricarinatus*, *J. Huazhong (Central China) Agricultural University*, 1995, vol. 14(5), pp. 477–480.

Поступила в редакцию 24.02.2025 г.

После доработки 6.03.2025 г.

Принята к публикации 10.03.2025 г.

*The article was submitted 24.02.2025; approved after reviewing 6.03.2025;
accepted for publication 10.03.2025*