



## Аквакультура

# Оценка эффекта применения комбикормов с различным уровнем белка для молоди австралийского красноклешневого рака в условиях УЗВ

Р.Р. Борисов, Н.П. Ковачева, Р.В. Артемов, И.Н. Никонова, М.В. Арнаутов, А.В. Артемов, В.В. Гершунская

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), Окружной проезд, 19, Москва, 105187  
E-mail: borisovrr@mail.ru

**Цель работы:** исследовать влияние комбикормов с различным уровнем белка на рост молоди красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus*.

**Используемые методы:** для решения поставленной задачи в аквариальной одеде аквакультуры беспозвоночных ВНИРО выполнено два эксперимента: первый – на молоди массой  $0,017 \pm 0,004$  г, длиной  $0,87 \pm 0,08$  мм, второй – на молоди массой  $0,31 \pm 0,14$  г, длиной  $23,7 \pm 3,9$  мм. Продолжительность экспериментов составила 30 и 40 сут., соответственно. Кормление молоди осуществляли тремя вариантами рецептов комбикормов с расчётной долей белка 25%, 35% и 45%. Основную часть в рецептурах составили компоненты растительного происхождения. В качестве контроля использовали корм для рыб и ракообразных Tetra Wafer Mix (Германия) с долей белка в корме 45%.

**Новизна:** разработка рецептуры кормов для выращивания молоди австралийского красноклешневого рака в установках замкнутого водоиспользования.

**Результат:** проведённые эксперименты показали, что скорость роста молоди австралийского красноклешневого рака находится в прямой зависимости от доли белка в корме. Установлено, что относительное содержание протеина в мышцах раков зависит от его содержания в комбикормах. Анализ собственных и литературных данных свидетельствует о том, что корма с содержанием белка ниже 35% не могут быть рекомендованы для выращивания молоди австралийского красноклешневого рака. Оптимальными для роста молоди являются корма с содержанием белка 45%. Установлено, что эффективность комбикормов зависит не только от содержания белка и энергетической ценности, но и от их вкусовой привлекательности.

**Практическая значимость:** полученные результаты будут использованы при разработке комбикормов для молоди австралийского красноклешневого рака.

**Ключевые слова:** аквакультура, австралийский красноклешневый рак *Cherax quadricarinatus*, комбикорма, белок.

## Efficiency assessment of the use of compound feeds with protein different levels for juveniles Australian red claw crayfish in RAS conditions

Rostislav R. Borisov, Nikolina P. Kovatcheva, Roman V. Artemov, Irina N. Nikonova, Maksim V. Arnautov, Andrey V. Artemov, Valeria V. Gershunskaya

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («VNIRO»), 19, Okružhnoy proezd, Moscow, 105187, Russia

**The aim of the work** is to investigate the effect of compound feeds with different levels of protein on the growth of juveniles of the Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*.

**Used methods:** To solve this problem, two experiments were carried out in the aquariums of aquaculture invertebrate department at VNIRO: the first was on juveniles weighing  $0.017 \pm 0.004$  g and  $0.87 \pm 0.08$  mm long; the second one was on juveniles weighing  $0.31 \pm 0.14$  g and  $23.7 \pm 3.9$  mm long. The duration of the experiments was 30 and 40 days, respectively. Feeding of juveniles was carried out with three variants of compound feed recipes with an estimated protein content of 25%, 35% and 45%. The main part of the formulations consisted of components of plant origin. Tetra Wafer Mix food for fish and crustaceans (Germany) with a protein content of 45% was used as a control. The duration of the experiments was 30 and 40 days, respectively. Feeding of juveniles was carried out with three variants of compound feed recipes with an estimated protein content of 25%, 35% and 45%. The main part of the formulations consisted of components of plant origin. Tetra Wafer Mix food for fish and crustaceans (Germany) with a protein content of 45% was used as a control.

**Newness:** Development of a feed formulation for rearing juveniles of the Australian red claw crayfish in recirculating aquaculture systems (RAS).

**Results:** These experiments showed that the growth rate of juvenile Australian red claw crayfish is directly dependent on the proportion of protein in the feed. It was established that the relative content of protein in the muscles of crayfish depends on its content in compound feed. An analysis of our own and published data

indicates that feeds with protein content below 35% cannot be recommended for growing of juveniles' Australian red claw crayfish. Feeds with a protein content of 45% are optimal for the growth of juveniles. It was established that the effectiveness of compound feeds depends not only on the protein content and energy value, but also on their taste attractiveness.

**Practical significance:** The obtained results will be used in the development of mixed feed for juveniles Australian red claw crayfish.

**Keywords:** aquaculture, Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*, compound feeds, protein.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из новых и перспективных объектов культивирования южных регионов Российской Федерации является австралийский красноклешневый рак *Cherax quadricarinatus* (von Martens, 1868) [Хорошко, Крючков, 2010; Шокашева, 2018]. В последние годы количество хозяйств возрастает. При этом рецепты и промышленное производство комбикормов для этого вида в Российской Федерации отсутствуют. Австралийский красноклешневый рак всеяден, что даёт возможность включать в состав кормов для аквакультуры широкий спектр ингредиентов животного и растительного происхождения [D'Abamo, Robinson, 1989; Jones, 1990]. Из-за короткого тёплого сезона (до 4 месяцев) полный цикл выращивания красноклешневого рака (около 6 месяцев) в прудах юга России невозможен, поэтому при его культивировании необходимо использовать подрощенную молодь для вселения в пруды. Получение и подращивание молоди осуществляется в искусственных условиях с использованием установок замкнутого водоиспользования (УЗВ) [Хорошко, Крючков 2010]. Подрощенная молодь в дальнейшем выпускается в пруды для выращивания в течение тёплого летнего периода. Для получения качественной жизнестойкой молоди особую актуальность приобретает разработка специализированных комбикормов в системах УЗВ.

Содержание белка в комбикормах является одним из наиболее важных показателей. Большое количество белка необходимо для быстрого роста гидробионтов, особенно на ранних стадиях жизненного цикла. Рыбная мука, которая в большинстве кормовых рецептур выступает в качестве основного источника белка, является наиболее дорогим ингредиентом. В этой связи поиск баланса между скоростью роста и стоимостью корма становится одной из важнейших задач повышения рентабельности культивирования [Saoud et al., 2012]. Снижение затрат на производство кормов может быть достигнуто как за счёт уменьшения доли белка, так и путём замены рыбной муки на более дешёвые источники белка растительного происхождения. При этом оба эти подхода могут приводить к снижению скорости роста.

В процессе развития аквакультуры австралийского красноклешневого рака выполнены многочислен-

ные исследования эффективного состава искусственных кормов, включая содержание белка для взрослых особей [Thompson et al., 2004, 2006] и для молоди [Webster et al., 1994; Keefe, Rouse, 1999; Hernandez et al., 2001; Cortes-Jacinto et al., 2003; Gutierrez, Rodriguez, 2010]. Проведённые исследования продемонстрировали, что, как и у других видов ракообразных, молодь австралийского красноклешневого рака является более требовательной к содержанию белка в корме, чем взрослые особи. Так же было установлено, что в установках замкнутого водоиспользования к качеству кормов должны предъявляться повышенные требования, поскольку в этом случае животные не имеют возможности пополнить свой рацион за счёт использования естественной кормовой базы. Например, корма с содержанием протеина 25% и более подходят для выращивания австралийского красноклешневого рака в прудах с естественной кормовой базой, а рецепты с белком 35% и более рекомендуются для его выращивания в УЗВ [Thompson et al., 2006]. В ряде исследований изучалась возможность замены рыбной муки различными растительными источниками белка и липидов и было показано, что для австралийского красноклешневого рака подходят диеты, содержащие недорогие растительные ингредиенты без ущерба для выживания и роста [Saoud et al., 2012]. Имеются данные, что замена до 50% белка рыбной муки соевой в рационе даёт лучший рост при минимальных затратах [Gutierrez, Rodríguez, 2010]. Для культивирования австралийского красноклешневого рака рекомендуются тонущие гранулы, содержащие 30–45% сырого белка, 5–8% липидов, 20–40% углеводов, 1–2% хитина с добавкой витаминов, каротиноидов и минеральных веществ [Saoud et al., 2012].

Несмотря на проведённые исследования, вопрос определения оптимального содержания белка и возможности частичной или полной замены рыбной муки в кормах для ранней молоди австралийского красноклешневого рака на другие компоненты остаётся не до конца решённым. Это связано с тем, что состав рецептуры кормов может влиять на эффективность их потребления и стать причиной снижения скорости роста, что особенно критично на ранних стадиях раз-

вития. В этой связи создание новых рецептур требует дополнительной проверки и проведения испытаний.

Цель работы – исследовать влияние комбикормов с различным уровнем белка на рыбоводно-биологические показатели молоди австралийского красноклешневого рака в первые два месяца культивирования в условиях УЗВ.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

На основании анализа и обобщения литературных данных по пищевым потребностям, питательной ценности и использованию компонентов различного происхождения в составе комбикормов для австралийского красноклешневого рака было разработано три варианта рецептов (табл. 1), расчётная доля белка в которых составляла 25% (КРАК 25), 35% (КРАК 35) и 45% (КРАК 45). В рецептуры включали компоненты животного и растительного происхождения. Источниками белка служили рыбная мука, кровяная мука, гаммарус, соевый шрот, кукурузный глютен, пивные дрожжи. В качестве контроля использовали корм для донных рыб и ракообразных Tetra Wafer Mix производства фирмы Tetra (Германия) (далее – Wafer). Данный корм хорошо зарекомендовал себя ранее при проведении экспериментов как с австралийским красноклешневым раком [Жигин и др., 2017], так и другими видами ракообразных [Борисов и др., 2021]. В состав

корма Wafer входят экстракты растительного белка, рыба и отходы рыбопереработки, зерновые культуры, растительные продукты, моллюски и ракообразные, дрожжи, водоросли, масла и жиры, витамины и микроэлементы.

Опытные образцы кормов были изготовлены в цехе по производству рыбных гранулированных комбикормов Филиала по пресноводному рыбному хозяйству ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»). Анализ состава комбикормов проводили в соответствии со стандартными методами.

Содержание сырого протеина в опытных образцах увеличивалось от рецепта КРАК 25 к КРАК 45, при одинаковом уровне жира, золы и влаги (табл. 2). Корм Wafer по химическому составу незначительно отличался от опытного образца (КРАК 45), за исключением большего содержания белка и меньшего количества клетчатки.

Опытные комбикорма содержали полный набор заменимых и незаменимых аминокислот, количество которых линейно увеличивалось с повышением уровня белка в комбикорме (табл. 3). Комбикорм КРАК 45 по сумме аминокислот не отличался от выступавшего в качестве контроля комбикорма Wafer.

В табл. 4 приведены данные по жирнокислотному составу липидов комбикормов для молоди австралийского красноклешневого рака. Рост суммы эйкозо-

Таблица 1. Состав экспериментальных комбикормов  
Table 1. The composition of the experimental compound feeds

Шифр рецепта			
КРАК 25	КРАК 35	КРАК 45	Wafer
Мука рыбная, мука кровяная, пшеница, шрот соевый, глютен кукурузный, крапива гранулированная, гаммарус сухой, дрожжи пивные, чеснок сухой, морковь сухая, жир рыбий, карбоксиметилцеллюлоза, витаминно-минеральный премикс, астаксантин			Рыба, побочные рыбные продукты, экстракты растительного белка, зерновые культуры, растительные продукты, артемия, дрожжи, спирулина, минеральные вещества, масла, жиры, витамины, премикс, антиоксиданты

Таблица 2. Химический состав комбикормов для молоди австралийского красноклешневого рака  
Table 2. Chemical composition of compound feeds for juveniles Australian red claw crayfish

Шифр комбикорма	Содержание, %						Валовая энергия, МДж/кг
	сырой протеин	сырой жир	БЭВ	сырая зола	клетчатка	влага	
КРАК 25	25,84±0,22	5,77±0,03	49,54±0,45	6,99±0,02	7,79±0,30	3,98±0,19	17,1
КРАК 35	35,34±0,15	5,95±0,26	42,09±0,28	6,60±0,02	6,22±0,20	3,61±0,30	18,0
КРАК 45	47,66±0,19	5,65±0,25	34,99±0,20	6,08±0,04	3,95±0,20	3,34±0,36	19,4
Wafer	49,78±0,23	5,53±0,22	29,00±0,13	7,61±0,03	2,43±0,09	5,88±0,22	19,1

**Таблица 3.** Аминокислотный состав белков комбикормов для молоди австралийского красноклешневого рака  
**Table 3.** Amino acid composition of compound feeds proteins for juveniles Australian red claw crayfish

Наименование аминокислоты	Содержание г/ 100 г продукта			
	КРАК 25	КРАК 35	КРАК 45	Wafer
Лизин	0,91	1,32	2,19	3,11
Изолейцин	1,00	1,28	2,06	1,92
Лейцин	1,96	2,83	4,45	3,60
Треонин	0,97	1,25	1,95	1,84
Валин	1,26	1,53	2,22	2,02
Гистидин	0,58	0,82	1,19	1,12
Аргинин	1,07	1,53	2,78	2,65
Фенилаланин	0,74	1,19	1,85	2,34
Метионин+Цистин	0,99	1,07	1,44	1,49
Сумма незаменимых аминокислот	9,48	12,82	20,13	20,09
Сумма заменимых аминокислот	10,73	15,04	23,92	22,23

**Таблица 4.** Жирнокислотный состав липидов комбикормов для молоди австралийского красноклешневого рака  
**Table 4.** Fatty acid composition of lipids in compound feed for juveniles Australian red claw crayfish

Наименование кислоты	Содержание в% от суммы жирных кислот			
	КРАК 25	КРАК 35	КРАК 45	Wafer
Сумма НЖК	21,70	19,61	17,97	18,09
Сумма МНЖК	46,26	49,12	48,94	36,82
Сумма ПНЖК	29,76	31,27	33,09	45,09
Сумма омега-3	9,76	10,87	12,58	13,28
Сумма омега-6	19,46	20,23	20,36	31,71
Сумма ЭПК+ДГК	3,68	5,18	6,44	5,21

пентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой (ДГК) кислот связан с увеличением процентного содержания рыбной муки и жира в рецептах. В контроле отмечено высокое содержание омега-6 жирных кислот, что вызвано использованием в составе корма растительных масел.

Биологические испытания проведены в аквариальной отделе аквакультуры беспозвоночных ФГБНУ «ВНИРО». Объектом исследования выступала молодь австралийского красноклешневого рака двух размерно-возрастных групп. Выполнено два эксперимента.

В эксперименте № 1 использовали раннюю молодь сразу после того, как она покинула самку (3 стадия развития). Средняя масса особей на момент начала эксперимента составила  $0,017 \pm 0,004$  г, длина  $0,87 \pm 0,08$  мм. Эксперимент проводился в прозрачных ёмкостях объёмом 5,6 л с площадью дна  $0,043$  м<sup>2</sup>. В ёмкостях находились убежища норного

типа и структурирующие объём субстраты (рис. 1 А). Плотность посадки раков составила 10 экз./ёмкость или 233 экз./м<sup>2</sup>. Для каждого варианта корма выполнено три повторности. Продолжительность эксперимента составила 30 сут.

Эксперимент № 2 выполнен на подрошенной молоди возрастом 30 сут. после схода с самки. Средняя масса особей на момент начала эксперимента составила  $0,31 \pm 0,14$  г, длина  $23,7 \pm 3,9$  мм. Эксперимент проводился в прозрачных ёмкостях объёмом 200 л с площадью дна  $0,45$  м<sup>2</sup>, в ёмкостях находились убежища норного типа и структурирующие объём субстраты (рис. 1 Б). Плотность посадки раков составила 20 экз./ёмкость или 44 экз./м<sup>2</sup>. Для каждого варианта корма выполнено две повторности. Продолжительность эксперимента составила 40 сут.

Кормление проводили два раза в сутки. Суточная норма вносимого корма составила для эксперимента № 1 – 30% от массы тела особей, а для эксперимен-

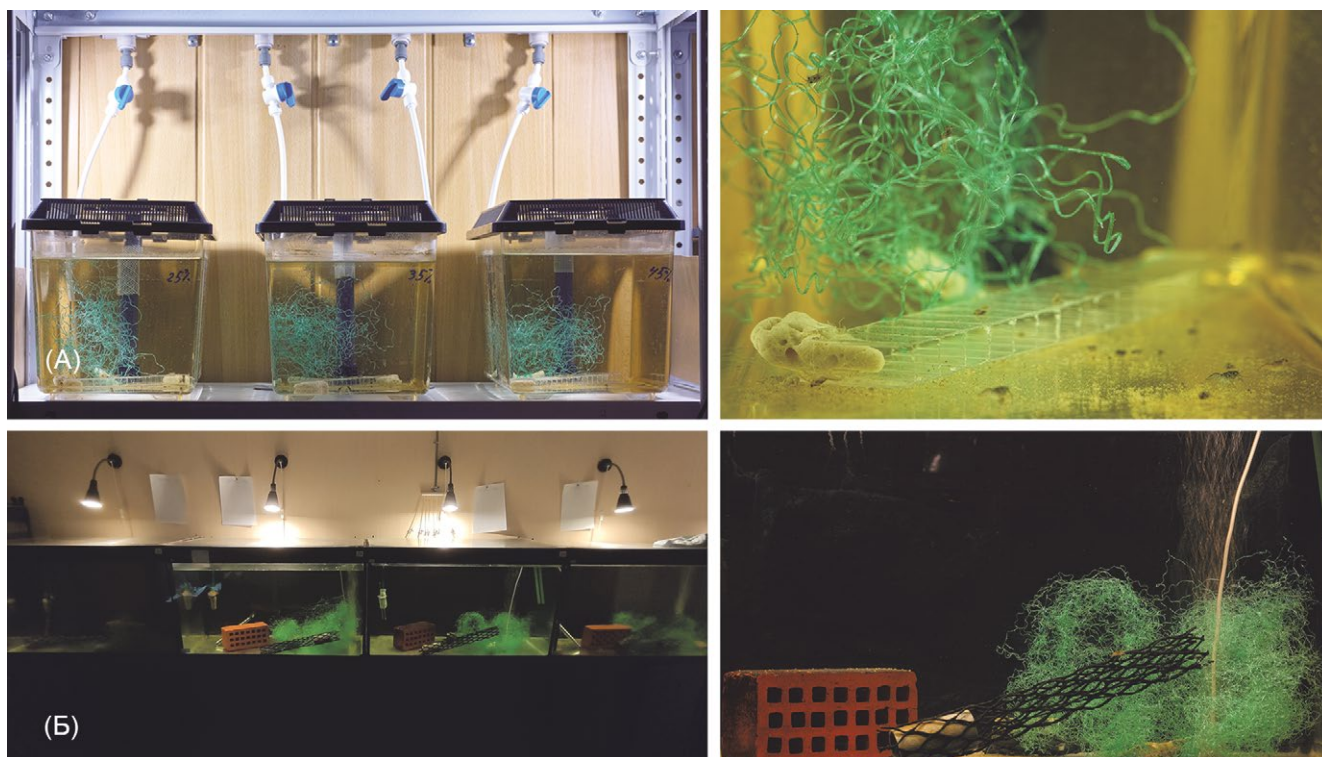


Рис. 1. Общий вид экспериментальных ёмкостей в экспериментах № 1 (А) и № 2 (Б)

Fig. 1. General view of experimental containers in experiments No. 1 (A) and No. 2 (B)

та № 2–15%. В дальнейшем эти показатели корректировали в зависимости от интенсивности потребления раками кормов, при этом повышение суточной нормы внесения кормов проводилось одинаково для всех вариантов кормления. Диаметр кормовых гранул в эксперименте № 1 составил <1 мм, а в эксперименте № 2 1–2 мм. Воду термостатировали на уровне 27–28 °С. Средняя температура составила 27,3 °С. Ежедневно учитывали погибших особей. При необходимости осуществляли чистку ёмкостей от несъеденных остатков кормов. Раз в неделю контролировали гидрохимические показатели (рН,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ , и  $\text{NO}_3^-$ ).

По окончании экспериментов определяли выживаемость, длину тела (от конца рostrума до конца тельсона) и массу особей. Рассчитан средний прирост биомассы раков в пересчёте на ёмкость. В эксперименте № 2 определён химический состав мышечной ткани раков.

Статистическую обработку результатов выполняли в программе Statistica 6.0. Для расчёта достоверности различий выборок использовали t-критерий Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

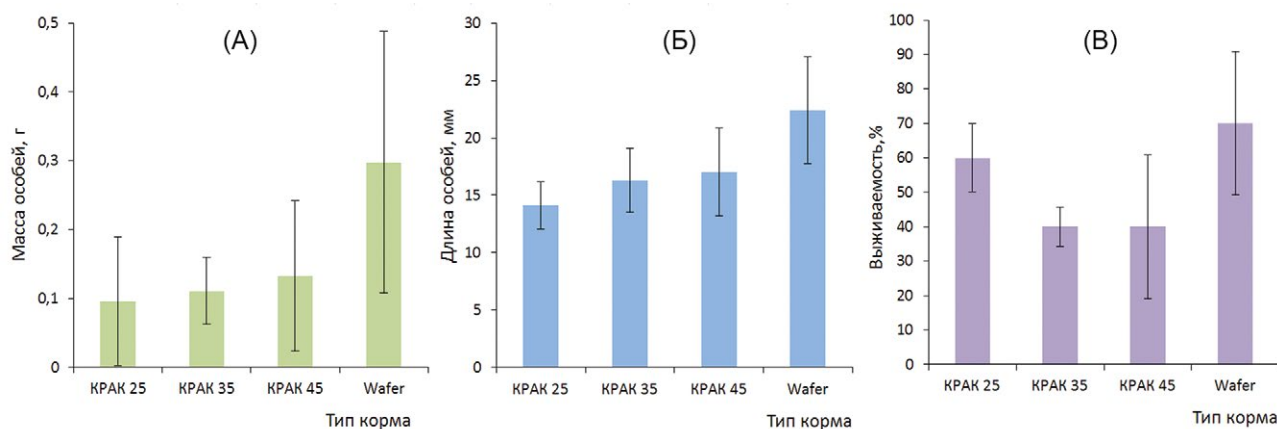
Рост молоди раков на разных типах комбикормов в эксперименте № 1 и эксперименте № 2 (табл. 4) в

целом имел схожую динамику. Скорость роста в обоих экспериментах напрямую зависела от доли белка в опытных кормах (рис. 2 А, Б и 3 А, Б). Наилучшие показатели роста особей и наименьшие кормовые затраты отмечены в варианте с наиболее высоким содержанием белка (КРАК 45). Статистически значимо отличалась длина особей между вариантами КРАК 25 и КРАК 45 ( $p < 0,008$ ), а также КРАК 25 и КРАК 35 ( $p < 0,017$ ). Однако различия по массе не были статистически значимы. Молодь, кормление которой осуществляли комбикормом Wafer, в обоих экспериментах продемонстрировала лучшие, чем при использовании опытных кормов, показатели скорости роста (табл. 3). Так, при кормлении Wafer в эксперименте № 1 (рис. 2 А, Б) раки оказались более чем в два раза крупнее по массе тела, чем во всех прочих вариантах ( $p < 0,004$ ). Сходная картина наблюдалась и в эксперименте № 2 (рис. 3 А, Б), где особи из контрольной группы оказались статистически значимо крупнее, чем во всех прочих вариантах ( $p < 0,002$ ). Затраты корма на прирост биомассы в контрольной группе были минимальными в обоих экспериментах (табл. 5).

В первом варианте эксперимента выживаемость при кормлении опытными кормами была выше в варианте с минимальной (25%) долей белка в корме (рис. 2 В). В эксперименте № 2 выживаемость была максимальной в варианте с долей белка в корме

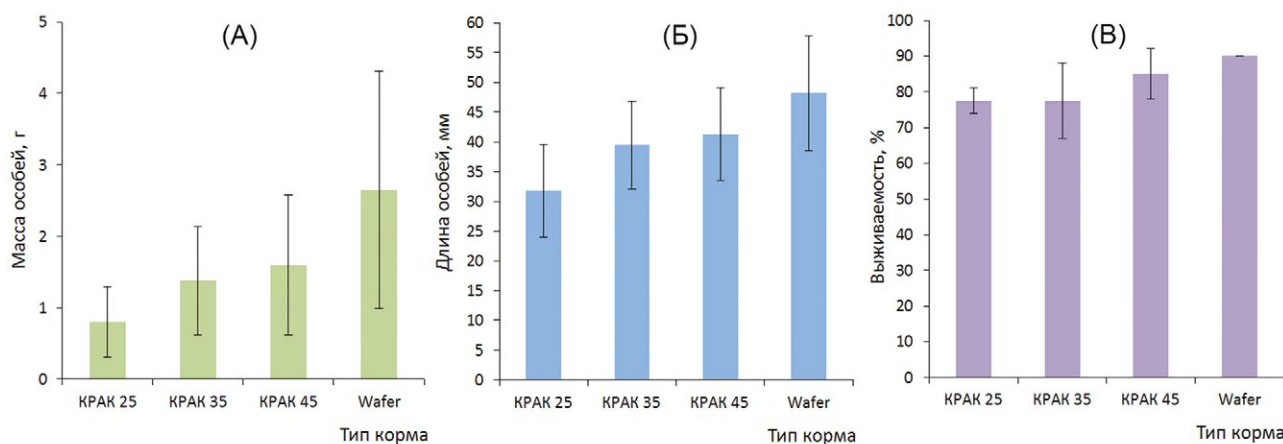
**Таблица 5.** Результаты выращивания молоди австралийского красноклещевого рака в экспериментах № 1 и 2  
**Table 5.** Results of rearing of juveniles Australian red claw crayfish in experiments No. 1 and 2

Комбикорма	Выживаемость, %	Масса средняя начальная, г	Масса средняя конечная, г	Прирост биомассы на ёмкость, г	Кормовые затраты
Эксперимент № 1					
КРАК 25	60	0,017±0,006	0,11±0,05	0,53	3,7
КРАК 35	43,3		0,15±0,05	0,62	3,2
КРАК 45	56,7		0,16±0,11	0,90	2,2
Wafer	53,3		0,31±0,05	1,63	1,2
Эксперимент № 2					
КРАК 25	77,5	0,33±0,06	0,81±0,30	6,06	6,9
КРАК 35	77,5	0,32±0,07	1,39±0,20	10,51	4,0
КРАК 45	85	0,32±0,07	1,58±0,35	13,42	3,1
Wafer	90	0,31±0,06	2,64±0,84	23,72	1,8



**Рис. 2.** Масса (А), длина (Б) и выживаемость (В) ранней молоди австралийского красноклещевого рака на момент окончания эксперимента № 1

**Fig. 2.** Weight (A), length (B) and survival (C) of early juveniles Australian red claw crayfish at the end of experiment No. 1



**Рис. 3.** Масса (А), длина (Б) и выживаемость (В) подращенной молоди австралийского красноклещевого рака на момент окончания эксперимента № 2

**Fig. 3.** Weight (A), length (B) and survival rate (C) of reared juveniles Australian red claw crayfish at the end of experiment No. 2

45% (рис. 3 В). Наилучшие показатели выживаемости в обоих экспериментах отмечены в контроле при кормлении молоди раков комбикормом Wafer.

В ходе эксперимента № 2 отмечено неполное потребление экспериментальных кормов.

В образцах мышечной ткани раков из эксперимента № 2 наблюдалось повышение уровня белка от КРАК 25 к КРАК 45 (табл. 6). Максимальные значения содержания протеина в мышцах рака были в образце из контрольной группы. Наиболее значительное обводнение мышечной ткани у особей рака отмечено при питании кормом с минимальным содержанием белка. Так же по сравнению с контрольным при питании экспериментальными кормами возросло содержание липидов от 0,16% для корма с наименьшим содержанием белка до 0,20% на корме, содержащем 45% белка.

Анализ аминокислотного состава (табл. 7) показал, что все образцы мышечной ткани раков содержали

полный набор заменимых и незаменимых аминокислот. Раки, выращенные на комбикорме с содержанием белка 35% и 45%, не различались значительно между собой и контролем как по сумме аминокислот, так и по сумме незаменимых аминокислот, что может свидетельствовать о сбалансированном аминокислотном профиле белка комбикормов, который полноценно используется в качестве высокоэффективного строительного материала мышечной ткани.

## ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе данных по росту на экспериментальных кормах чётко прослеживается тенденция – чем ниже уровень белка, тем медленнее рост. Данные по химическому составу мышц указывают на зависимость содержания протеина в мышцах рака от его содержания в комбикормах. При этом низкие показатели роста при кормлении кормом КРАК 25 в обоих экспериментах свидетельствует о том, что 25% белка

**Таблица 6.** Химический состав мышечной ткани молоди австралийского красноклешневого рака

**Table 6.** Chemical composition of muscle tissue of juveniles Australian red claw crayfish

Шифр комбикорма	Содержание, %			
	белок	жир	влага	зола
КРАК 25	14,63±0,20	0,16±0,02	84,10±0,80	1,11±0,09
КРАК 35	16,12±0,15	0,18±0,04	82,39±0,63	1,24±0,02
КРАК 45	16,26±0,13	0,20±0,06	82,37±0,47	1,17±0,03
Wafer	17,72±0,18	0,12±0,03	81,05±0,31	1,11±0,05

**Таблица 7.** Аминокислотный состав белков мышечной ткани молоди австралийского красноклешневого рака

**Table 7.** Amino acid composition of muscle tissue proteins in juveniles Australian red claw crayfish

Наименование аминокислоты	Содержание, г /100 г мышечной ткани			
	КРАК 25	КРАК 35	КРАК 45	Wafer
Лизин	1,23	1,34	1,36	1,34
Изолейцин	0,67	0,72	0,73	0,72
Лейцин	1,17	1,26	1,26	1,25
Треонин	0,63	0,68	0,67	0,65
Валин	0,66	0,72	0,72	0,72
Гистидин	0,34	0,38	0,36	0,37
Аргинин	1,32	1,46	1,5	1,75
Фенилаланин	0,61	0,69	0,68	0,68
Метионин	0,32	0,35	0,36	0,37
Триптофан	Не определяли			
Сумма незаменимых аминокислот	6,95	7,60	7,64	7,85
Сумма заменимых аминокислот	7,86	8,43	8,42	8,32
Сумма аминокислот	14,81	16,03	16,06	16,17

в корме недостаточно для обеспечения нормально-го роста молоди австралийского красноклешневого рака. Аминокислотный состав мышечной ткани раков в варианте КРАК 25 также указывает на недостаток белка в комбикорме. Полученные данные согласуются с литературными – для молоди рекомендуются корма с долей белка не менее 30% [Webster et al., 1994; Keefe, Rouse, 1999; Hernandez et al., 2001; Cortes-Jacinto et al., 2003; Gutierrez, Rodriguez, 2010]. В обоих экспериментах разница в росте особей, получавших корма с 35% и 45% белка, была не такой значительной как между КРАК 25 и КРАК 35. Химический состав мышечной ткани раков при кормлении КРАК 35 и КРАК 45 различался незначительно. Таким образом, можно заключить, что корма с содержанием белка ниже 35% не могут быть рекомендованы для выращивания молоди австралийского красноклешневого рака, а повышение доли белка в кормах до 45% будет способствовать ускорению роста молоди.

Гибель особей в процессе эксперимента при всех вариантах кормления в подавляющем числе случаев была обусловлена каннибализмом. У десятигогих ракообразных большинство случаев каннибализма происходит в период линьки [Борисов, 2020]. При низких скоростях роста в варианте КРАК 25 отмечены высокие показатели выживаемости, что, видимо, снизило личную активность особей и, как следствие, уменьшило возможность каннибализма. В этой связи уменьшение доли белка в кормах нельзя рассматривать в качестве подхода, который позволил бы снизить каннибализм в процессе культивирования.

Сравнивая результаты выполненных экспериментов, можно сказать, что особи, выращенные на корме Wafer, существенно обогнали в росте особей, кормление которых осуществляли экспериментальными кормами. По-видимому, причиной этого могут служить различия в составе: в частности, попытка использовать в экспериментальных кормах в качестве основного источника белка не рыбную муку, а растительные компоненты. Успешная возможность замены рыбной муки на источники белка растительного происхождения указывается рядом авторов [Muzinic et al., 2005; Thompson et al., 2005; Gutierrez, Rodriguez, 2010]. Однако наши исследования показывают, что к таким вариантам следует подходить с осторожностью. Можно также предположить, что причиной низких показателей прироста при использовании экспериментальных кормов может быть сниженная вкусовая привлекательность кормов или их отдельных компонентов. Основная оценка пищевых характеристик корма десятигогими ракообразными производится ротовыми конечностями [Garm et al., 2003]. Ротовые конечности

также активно участвуют в первичной механической обработке и манипуляциях с пищевыми объектами [Борисов, 2002]. Корм не сразу заглатывается раком, а сначала оценивается ротовыми конечностями. При низкой привлекательности гранулы корма могут быть не съедены, а раскрошены ротовыми конечностями. Таким образом, эффективность комбикормов может зависеть не только от доли белка, но и от вкусовой привлекательности. В этой связи интересным направлением может быть исследование вкусовых предпочтений молоди австралийского красноклешневого рака, оценка пищевой привлекательности различных компонентов комбикормов и формирование на основе полученных данных новых рецептов.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Проведённые эксперименты показали, что скорость роста молоди австралийского красноклешневого рака находится в прямой зависимости от количества белка в корме. Исследования содержания протеина в мышцах указывают на зависимость его количества от содержания белка в комбикормах. Анализ полученных и литературных данных свидетельствует, что корма с содержанием белка ниже 35% не могут быть рекомендованы для выращивания молоди австралийского красноклешневого рака. Оптимальными для роста молоди являются варианты кормов с долей белка 45%. Также отмечено, что эффективность комбикормов зависит не только от доли белка и их энергетической ценности, но и от вкусовой привлекательности.

## **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.

## **Соблюдение этических норм**

Все применимые этические нормы соблюдены.

## **Финансирование**

Работа выполнена в рамках государственного задания «ФГБНУ ВНИРО» по теме «Изучение питательных свойств, норм ввода перспективных видов сырья и разработка линейек рецептов комбикормов для объектов аквакультуры с учётом их видовой, возрастной специфики и технологий выращивания».

## **ЛИТЕРАТУРА**

Борисов Р.Р. 2002. Щетиночное вооружение и функции ротовых конечностей длиннопалого рака (*Pontastacus leptodactylus*) при обработке пищи // Тез. докл. VI Всерос. конф. по промышленным беспозвоночным. М.: Изд-во ВНИРО. С. 94–97.



- Борисов Р.Р. 2020. Морфология и поведение десятиногих ракообразных (Crustacea: Decapoda) в постэмбриональном онтогенезе.: Автореф. дис. ... доктора. биол. наук. М.: ВНИРО. 48 с.
- Борисов Р.Р., Никонова И.Н., Паршин-Чудин А.В., Ковачева Н.П. 2021. Оценка эффективности методов регулирования окраски белоногой креветки *Penaeus vannamei* в аквакультуре // Труды ВНИРО. Т. 183. С. 87–95.
- Жигин А.В., Борисов Р.Р., Ковачева Н.П., Загорская Д.С., Арыстангалиева В.А. 2017. Выращивание австралийского красноклешневого рака в циркулярной установке // Рыбное хозяйство. № 1. Р. 61–65.
- Хорошко А.В., Крючков В.Н. 2010. Новые направления прудовой аквакультуры в южных регионах России // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. № 2. С. 51–54.
- Шокашева Д.И. 2018. Специфика многолетней доместикации австралийского рака *Cherax quadricarinatus* в условиях западной части Российской Федерации // Известия ТИНРО, 194: 188–192.
- Cortes-Jacinto E., Villarreal-Colmenares H., Civera-Cerecedo R., Martinez-Cordova R. 2003. Effect of dietary protein level on growth and survival of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) // Aquaculture Nutrition. № 9. P. 207–213.
- D'Abramo L., Robinson E.H. 1989. Nutrition of crayfish // Reviews in Aquatic Sciences. V. 1. P. 711–728.
- Garm A., Hallberg E., Høeg J.T. 2003. Role of maxilla 2 and its setae during feeding in the shrimp *Palaemon adspersus* (Crustacea: Decapoda) // Biological Bulletin. № 204. P. 126–137.
- Gutierrez M.L., Rodriguez E.M. 2010. Effect of protein source on growth of early juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda, Parastacidae) // Freshwater Crayfish. V. 17. P. 23–29.
- Hernandez M.P., Rouse D.B., Olvera-Novoa M.A. 2001. Effect of dietary protein–lipid ratios on survival and growth of Australian crayfish (*Cherax quadricarinatus*) hatchlings and juveniles // Freshwater Crayfish. V. 13. P. 97–106.
- Jones C.M. 1990. The biology and aquaculture potential of the tropical freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. Queensland Department of Primary Industries Information Series. 109 p.
- Keefe A., Rouse D. 1999. Protein requirements for juvenile Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* // Freshwater Crayfish. V. 12. P. 471–477.
- Muzinic L.A., Thompson K.R., Morris A., Webster C.D., Rouse D.B., Manomaitis L. 2004. 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. V. 230. P. 359–376.
- Rodriguez-Gonzalez H., Garcia-Ulloa M., Hernandez-Llamas A., Villarreal H. 2006. Effect of dietary protein level on spawning and egg quality of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* // Aquaculture. V. 257. P. 412–419.
- Saoud I., Yta A., Ghanawi J. 2012. A review of nutritional biology and dietary requirements of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868) // Aquaculture Nutrition. V. 18. P. 349–368.
- Thompson K.R., Muzinic L.A., Engler L.S., Webster C.D. 2005. Evaluation of practical diets containing different protein levels, with or without fish meal, for juvenile on Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) // Aquaculture. V. 244. P. 241–249.
- Thompson K.R., Metts L.S., Muzinic L.A., Dasgupta S., Webster C.D. 2006. Effects of feeding practical diets containing different protein levels, with or without fish meal, on growth, survival, body composition and processing traits of male and female Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) grown in ponds // Aquaculture Nutrition. V. 12, № 3. P. 227–238.
- Thompson K.R., Muzinic L.A., Engler L.S., S.-R. Morton, Webster C.D. 2004. Effects of feeding practical diets containing various protein levels on growth, survival, body composition, and processing traits of Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) and on pond water quality // Aquaculture Research. V. 35, № 7. P. 659–668.
- Webster C.D., Goodgame-Tiu L.S., Tidwell J.H., Rouse D.B. 1994. Evaluation of practical feed formulations with different protein levels for juvenile redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) // Trans. Ky. Acad. Sci. V. 55. P. 108–112.

## REFERENCES

- Garm A., Hallberg E., Høeg J.T. 2003. Role of maxilla 2 and its setae during feeding in the shrimp *Palaemon adspersus* (Crustacea: Decapoda) // Biological Bulletin. N 204. P. 126–137. DOI: 10.2307/1543548.
- Gutierrez M.L., Rodriguez E.M. 2010. Effect of protein source on growth of early juvenile redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda, Parastacidae) // Freshwater Crayfish. V. 17. P. 23–29.
- Hernandez M.P., Rouse D.B., Olvera-Novoa M.A. 2001. Effect of dietary protein–lipid ratios on survival and growth of Australian crayfish (*Cherax quadricarinatus*) hatchlings and juveniles // Freshwater Crayfish. V. 13. P. 97–106.
- Jones C.M. 1990. The biology and aquaculture potential of the tropical freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus*. Queensland Department of Primary Industries Information Series. 109 p.
- Keeffe A., Rouse D. 1999. Protein requirements for juvenile Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* // Freshwater Crayfish. V. 12. P. 471–477.
- Muzinic L.A., Thompson K.R., Morris A., Webster C.D., Rouse D.B., Manomaitis L. 2004. 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. V. 230. P. 359–376. DOI: 10.1016/S0044-8486(03)00420-4.
- Rodriguez-Gonzalez H., Garcia-Ulloa M., Hernandez-Llamas A., Villarreal H. 2006. Effect of dietary protein level on spawning and egg quality of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* // Aquaculture. V. 257. P. 412–419. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.01.020.
- Saoud I., Yta A., Ghanawi J. 2012. A review of nutritional biology and dietary requirements of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868) // Aquaculture Nutrition. V. 18. P. 349–368. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2011.00925.x
- Thompson K.R., Muzinic L.A., Engler L.S., Webster C.D. 2005. Evaluation of practical diets containing different protein levels, with or without fish meal, for juvenile on Australian redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) // Aquaculture. V. 244. P. 241–249. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2004.11.018
- Thompson K.R., Metts L.S., Muzinic L.A., Dasgupta S., Webster C.D. 2006. Effects of feeding practical diets containing different protein levels, with or without fish meal, on growth, survival, body composition and processing traits of male and female Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) grown in ponds // Aquaculture Nutrition. V. 12, N3. P. 227–238. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2006.00407.x
- Thompson K.R., Muzinic L.A., Engler L.S., S.-R. Morton, Webster C.D. 2004. Effects of feeding practical diets containing various protein levels on growth, survival, body composition, and processing traits of Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) and on pond water quality // Aquaculture Research. V. 35, N7. P. 659–668. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2004.01063.x
- Webster C.D., Goodgame-Tiu L.S., Tidwell J.H., Rouse D.B. 1994. Evaluation of practical feed formulations with different protein levels for juvenile redclaw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) // Trans. Ky. Acad. Sci. V. 55. P. 108–112. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2004.11.018.

Поступила в редакцию 20.03.2022 г.

Принята после рецензии 20.04.2022 г.