

Выращивание белоногой креветки (*Penaeus vannamei*, Penaeidae, Decapoda) в рециркуляционных установках: первый опыт экспериментального культивирования вида в России

Д-р биол. наук **Н.П. Ковачева**,

канд. биол. наук **Р.Р. Борисов**,

И.Н. Никонова,

канд. биол. наук **Н.В. Кряхов**,

Р.О. Лебедев – Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии (ФГУП «ВНИРО»),

канд. биол. наук **Е.С. Чертопруд** – Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии (ФГУП «ВНИРО»); Биологический факультет
Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова (МГУ)

@ kovatcheva@vniro.ru; borisovrr@mail.ru; pechenkinds@gmail.com; ranico@yandex.ru;
horsax@yandex.ru

Ключевые слова: белоногая креветка *Penaeus vannamei*, молодь, культивирование, рост в установках замкнутого водоиспользования, влияние температуры воды на физиологические процессы



В представленной статье, на основании анализа литературной базы данных, описаны основные принципы культивирования белоногой креветки (*Penaeus vannamei*). Охарактеризованы общие методические подходы к содержанию этого теплолюбивого вида в установках с замкнутым водоиспользованием (УЗВ). Представлены первые для российской аквакультуры результаты экспериментального выращивания белоногой креветки в аквариальном комплексе ФГБНУ «ВНИРО» (лаборатория марикультуры беспозвоночных). Оценена интенсивность прироста размерно-весовых характеристик молоди вида. Показана зависимость трофической и двигательной активности молоди от температуры воды, а также выявлена пороговая температура культивирования белоногой креветки в УЗВ.

| Постановка проблемы |

Общие положения по таксономии и онтогенезу вида. Белоногая креветка *Penaeus vannamei* Boone, 1931 – один из североамериканских представителей семейства Penaeidae (отряд Decapoda) (рис. 1). Ранее этот вид был известен под названием *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), которое в настоящее время невалидно [1]. Нативный ареал вида охватывает тихоокеанское побережье Мексики и распространяется на юг до северных районов Перу [2; 3]. Однако в настоящее время белоногая креветка выращивается далеко за его пределами в зоне субтропического и тропического климата, как Евразии, так и Южной Америки. Взрослые особи *P. vannamei* живут в открытом океане, там же происходит и их нерест. Послеличинки мигрируют на мелководье, где в прибрежных лагунах и манграх происходит их развитие в ювенильных особей, а также дальнейший рост

до начала полового созревания [4]. Эмбриональное развитие белоногой креветки после вымета икры и ее оплодотворения составляет около 16 часов. В дальнейшем, в ходе онтогенеза особь проходит шесть науплиальных стадий, три стадии зоэа, три стадии мизиса и переходит на стадию послеличинки (PL), которую также можно считать первой ювенильной стадией [5; 6].

Аквакультура белоногой креветки в мире и в России. В настоящее время белоногая креветка является одним из наиболее популярных и перспективных объектов мировой аквакультуры. По данным [7], объем производства вида в мире достиг в 2015 г. 3 879 тыс. т, что составляет более 50% от общего количества выращенных в искусственных условиях десятиногих ракообразных.

Культивирование белоногой креветки осуществляется не менее чем в сорока странах. Лидирующее место по производству занимает Китай



Рисунок 1. Белоногая креветка *Penaeus vannamei* из аквариального комплекса лаборатории марикультуры беспозвоночных ФГБНУ «ВНИРО»

(1624 тыс. тонн в год). Кроме того, крупнейшими производителями вида являются Индия (416 тыс. т в год), Индонезия (406 тыс. т в год), Эквадор (403 тыс. т в год), Вьетнам (318 тыс. т в год), Мексика (130 тыс. т в год). В последние десятилетия искусственное выращивание белоногой креветки в мире демонстрирует устойчивый рост, тогда как объемы аквакультуры других видов креветок практически не меняются (рис. 2).

Для культивирования белоногой креветки в открытых прудах подходят регионы, где температура воды остается в пределах 26-32°C в течение всего сезона выращивания. Белоногая креветка переносит широкий диапазон солености от 0,5-45 ‰, но растёт особенно хорошо при низкой концентрации солей в воде – около 10-15 ‰ [2]. Круглогодичное культивирование белоногой креветки в открытых водоемах успешно применяется на западном и восточном побережьях Мексики, в Центральной и Южной Америке. Подходящие области для аквакультуры вида были выявлены и апробированы в Юго-Восточной Азии и на низких широтах материковой части Китая [7]. Кроме того, *P. vannamei* содержат в установках с замкнутой водопользованием (УЗВ), что существенно расширяет диапазон возможного расположения хозяйств по выращиванию вида. Основные преимущества и трудности промышленной аквакультуры белоногой креветки приведены в табл. 1.

Развитие аквакультуры белоногой креветки в России находится на начальном этапе. Только недавно начали функционировать несколько бассейновых комплексов с замкнутой системой водопользования в Средней полосе России. Данный факт не является удивительным, так как основная часть территории России климатически не подходит для культивирования белоногой креветки

в открытых водоемах, что делает выращивание вида технологически затратным.

В представленной работе проведен анализ литературных данных по перспективным методам культивирования белоногой креветки в мире. На основе оригинальных данных впервые для российской аквакультуры представлены данные по динамике развития белоногой креветки в УЗВ.

| Индустриальное выращивание белоногой креветки |

Индустриальный цикл выращивания вида можно разделить на три основных этапа: содержание маточного стада, производство посадочного материала и товарное выращивание.

Содержание маточного стада. Создание и пополнение маточного стада возможно из трёх источников: из естественной среды (в регионах, где существуют дикие популяции креветки); из искусственно выращенных в открытых прудах; из селек-

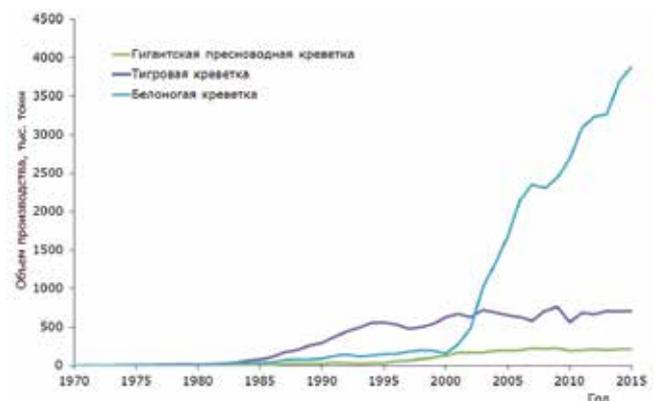


Рисунок 2. Динамика объемов производства гигантской пресноводной, тигровой и белоногой креветок в мировой аквакультуре [по 7]

ционных патогенно-устойчивых и/или свободных от патогенов культур. Возраст особей, отбираемых для размножения, должен быть около 7-8 месяцев, масса – 30-40 г [9]. Производителей для размножения помещают в бассейны с чистой фильтрованной морской водой, расположенные в темном помещении. Индикатором хорошего состояния маточного стада является высокая выживаемость, полученных от него, науплиусов. Жизнеспособные науплиусы активно двигаются, имеют ярко выраженный положительный фототаксис, деформация конечностей и придатков тела отсутствует [10].

Выращивание посадочного материала. Культивирование ранних стадий развития белоногой креветки осуществляется в контролируемых условиях в специализированных аквариальных комплексах бассейнового типа [10]. Общие биотехнические характеристики стадий развития *P. vannamei* приведены в табл. 2. Получение молоди – достаточно сложный и ответственный процесс, требующий поддержания высоких стандартов качества воды, использования нескольких типов живых кормов, постоянный контроль за

качеством выращиваемых особей. В связи с этим большинство хозяйств, занимающихся товарным выращиванием белоногой креветки, закупают посадочный материал в специализированных питомниках.

По окончании этапа полученная молодь на стадии послеличинки в возрасте 10-12 суток направляется в хозяйства для дальнейшего выращивания. Эффективность культивирования до товарного размера напрямую зависит от жизнестойкости посадочного материала. Основные признаки здоровой молоди белоногой креветки [6; 10]:

- тельсон послеличинки на 7-10 сутки развития полностью развернут;
- тело прозрачное со звездобразной коричневой или темно-коричневой пигментацией (розовая или красная окраска указывает на стресс особей);
- поверхность тела лишена водорослевых обрастаний и прилипших органических частиц, а также не имеет морфологических аномалий;
- на теле отсутствуют паразитические простейшие и признаки некроза;

Таблица 1. Характеристика положительных и отрицательных аспектов процесса культивирования белоногой креветки *Penaeus vannamei* [8]

Показатель	Преимущества	Трудности
Темпы роста	до массы 20 г особи растут со скоростью 1-1,5 г в неделю	темпы роста замедляются после достижения массы 20 г, удлиняя время получения крупных особей
Плотность посадки	высокая плотность посадки от 60-150 экз./м ² до 400 экз./м ²	выращивание при высоких плотностях требует постоянного контроля
Соленость	обитает в широком диапазоне солености 2-45‰	
Питание	достаточным для нормального развития является 20-35% содержание белка в корме	
Устойчивость к болезням	выживаемость белоногой креветки в аквакультуре выше, чем близкородственной тигровой креветки	вид восприимчив и является переносчиком: белопятнистого заболевания, таура-синдрома, инфекционного подкожного и кровяного некроза и некоторых других заболеваний
Селекция	искусственно получены патогенно-устойчивые и свободные от патогенов маточные стада креветок	маточные стада креветок, свободных от патогенов, имеют более высокую смертность при возникновении заболеваний по сравнению с дикими производителями; содержание искусственно полученного селекционного стада технически сложнее, чем диких производителей

Таблица 2. Биотехнические характеристики ранних стадий развития белоногой креветки *Penaeus vannamei* [по 5; 6].

Стадия	Продолжительность	Длина, мм	Размер корма, мкм	Тип корма
Яйца (икра)	12 ч.	0,26-0,29		не питается
Науплиус I-VI	40-50 ч.	0,42-0,46		не питается
Зоэа I	4-6 сут.	0,78-1,00	3-30	Фитопланктон: диатомовые водоросли; фитофлагелляты
Зоэа II		0,13-2,10	до 100	Фитопланктон и зоопланктон: коловратки, артемия стадии парашют, копеподы, нематоды
Зоэа III		1,88-2,70	до 350	
Мизис I	4-6 сут.	2,5-3,5	до 350	Зоопланктон: коловратки, копеподы, нематоды, науплии артемии
Мизис II		3-4	до 350	
Мизис III		3,6-4,4	до 350	
PL 1		3,5-4,3	до 350	Науплии артемии
PL 2-5		>5	до 350	Науплии артемии

PL 1 – послеличинка в возрасте 1 суток; PL 2-5 – послеличинка в возрасте 2-5 суток

- кишечник заполнен пищей;
- мышцы плотно заполняют объем хитинового панциря;
- послеличинки активно передвигаются и способны плыть против течения;
- послеличинки возрастом более десяти суток проявляют устойчивость при прохождении стресс-тестов на изменение солености и температуры.

Выращивание молоди до товарного размера. Методы товарного выращивания белоногой креветки можно подразделить на четыре группы, в зависимости от плотности посадки культивируемых особей: экстенсивный, полуинтенсивный, интенсивный и суперинтенсивный. Первые два применяются в основном в зоне тропического климата и подразумевают использование для выращивания креветок открытых водоемов (прудов). Интенсивные и суперинтенсивные методики реализованы в условиях бассейновых комплексов, что актуально в условиях умеренного климата России.

Интенсивный метод. В хозяйствах по интенсивному выращиванию белоногой креветки применяют, как правило, крупные бассейны площадью около 1000 м² квадратной или круглой формы с глубиной около 1,5 м. Плотность посадки особей достигает 60-300 экз./м². Кормление молоди в та-



Рисунок 3. Молодь белоногой креветки *Penaeus vannamei* в возрасте 2 месяца в емкости объемом 200 л

ких условиях осуществляется 4-5 раз в сутки. Продуктивность интенсивных систем составляет 0,7-2 кг/м² за цикл, максимальные значения продуктивности – 3-3,5 кг/м² за цикл. При интенсивном выращивании креветок рекомендуется использовать селекционные культуры свободных от заболеваний и устойчивых к заболеваниям производителей [9].

Суперинтенсивный метод. В бассейновых комплексах по суперинтенсивному выращиванию рекомендуется содержать селекционных белоногих креветок, имеющих устойчивость к основным

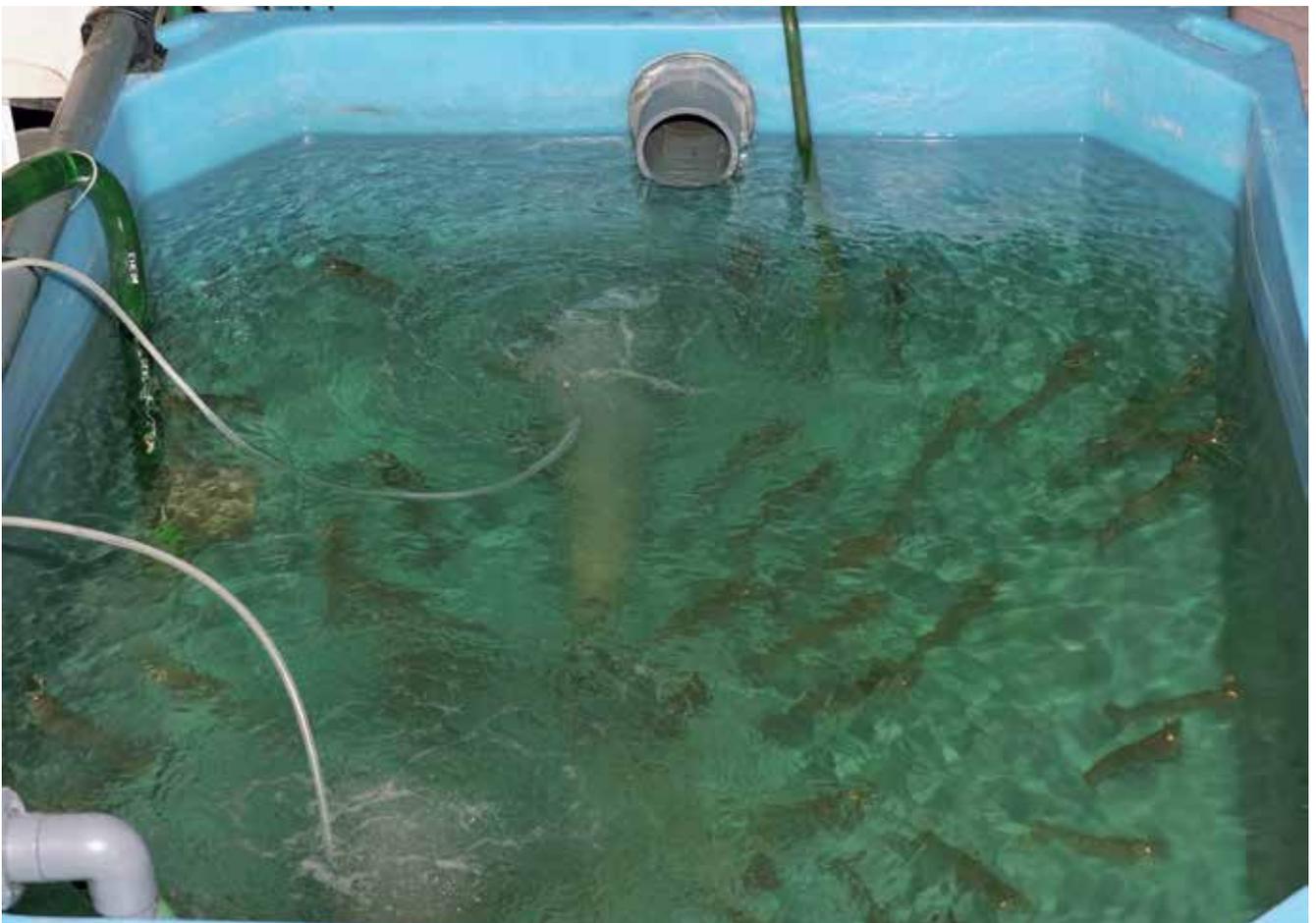


Рисунок 4. Белоногая креветка *Penaeus vannamei* в возрасте 5 месяцев в бассейне объемом 500 л

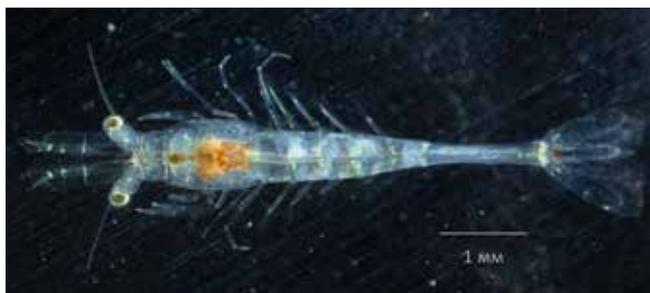


Рисунок 5. Молодь белоногой креветки *Penaeus vannamei* в возрасте 12 суток с момента окончания личиночного развития

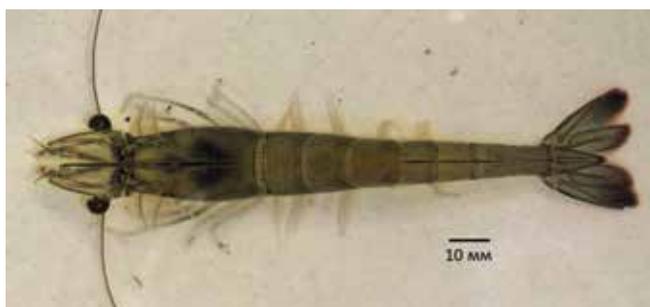


Рисунок 6. Белоногой креветка *Penaeus vannamei* в возрасте 4,5 месяца с момента окончания личиночного развития

типам заболеваний. Для культивирования особей применяют бассейны площадью около 300 м². Молодь массой 0,5-2,0 г высаживают из расчета 300-450 особей на м². В таких условиях *P. vannamei* может достигать 20 г за 120 суток [10]. Выход продукции составляет до 2,8-6,8 кг/м² за цикл культивирования. Темпы роста особей достигают 1,5 г в неделю. Средняя масса особей на конец культивирования – 16-26 г, а выживаемость – 55-91%.

Одним из способов суперинтенсивного выращивания белоногой креветки является применение системы биофлок. Биофлок представляет собой хлопья органических частиц, покрытых водорослями, бактериями и простейшими. Кроме

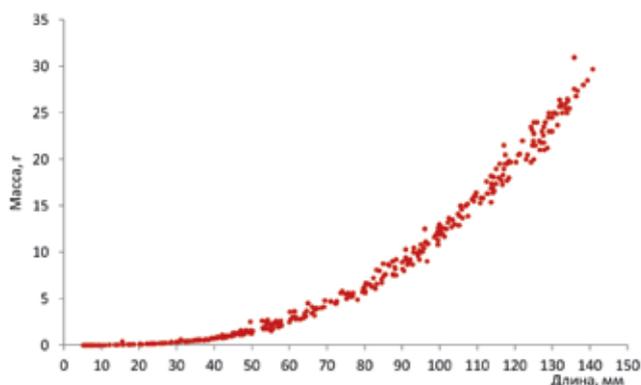


Рисунок 7. Изменение размерно-весовых характеристик белоногой креветки *Penaeus vannamei*

того, сообщество биофлора включает зоопланктон и мейобентос, использующие его в качестве кормовой базы. Благодаря микробиологическому сообществу вода в системе очищается от соединений азота, сводя необходимость подмены воды к минимуму. Хлопья органики и обитающие на них организмы, служат дополнительным источником пищи для культивируемых креветок [11]. Необходимым условием является наличие мощной аэрации поддерживающей компоненты биофлора во взвешенном состоянии. Основными преимуществами системы биофлора является возможность применения низкого водообмена (снижение расхода воды) и сокращение затрат корма за счет использования гидробионтами компонентов биофлора. Объем применяемых бассейнов составляет 250-300 м³, а плотность посадки особей – 300-500 экз./м³. Несмотря на ряд преимуществ системы биофлок, при ее использовании возникают и существенные трудности. В первую очередь это связано со сложностями в организации мощной системы аэрации, а также необходимости контроля и поддержания определённого количества взвешенных частиц. Кроме того, большое количество взвешенных в толще воды частиц ила может стать причиной заболеваний, снижения выживаемости и ухудшения вкусовых качеств товарной продукции креветок [11].

| Экспериментальные работы |

Сотрудниками лаборатории марикультуры беспозвоночных ФГБНУ «ВНИРО» в период с октября 2017 г. по февраль 2018 г. проведены эксперименты, направленные на отработку основных этапов культивирования молоди белоногой креветки в условиях УЗВ.

В течение первого и второго месяца культивирования креветок (147 экз.) содержали в емкости объемом 200 л (рис. 3), плотность посадки составляла около 300 экз./м². Затем молодь пересадили в бассейн объемом 500 л (рис. 4), снизив плотность посадки до 114 экз./м². Температура воды в бассейне в ходе культивирования составляла 28-30°C, а соленость – 12-14‰. В начале культивирования кормление креветок осуществляли 7-8 раз в сутки, по мере роста особей частоту кормлений сократили до 4 раз в сутки. Количество вносимых кормов корректировали в зависимости от активности потребления корма особями. В качестве основной пищи для креветок использовали комбикорма производства фирмы Tetra (Германия) – TetraMin и TetraWaferMix. Кроме того, в первые три месяца культивирования молодь дополнительно кормили науплиями артемии (*Artemia* sp.). Для всех креветок раз в месяц проводили измерение длины и массы тела. Дополнительно проведен эксперимент по вли-

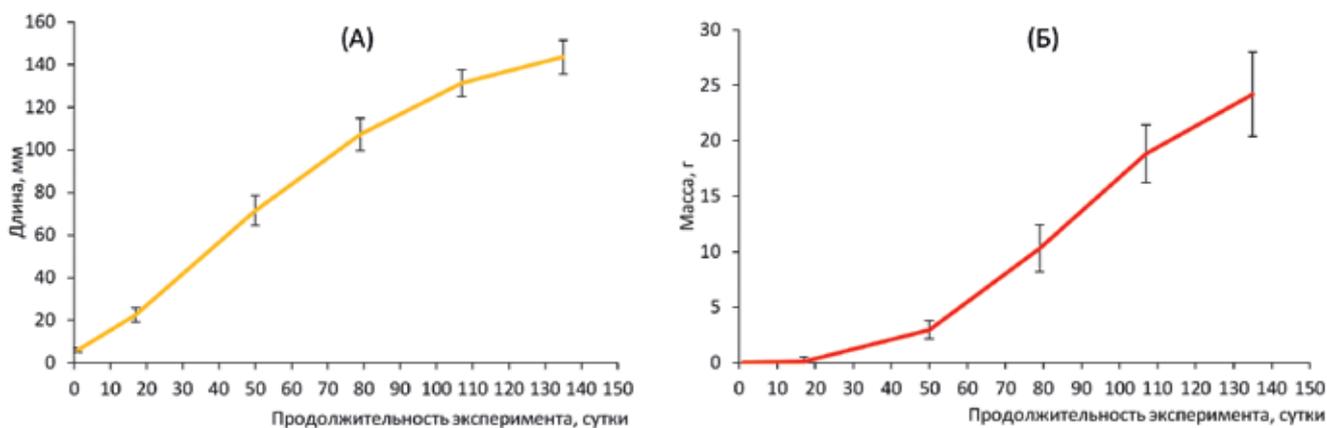


Рисунок 8. Изменение линейных размеров (А) и массы (Б) белоногой креветки *Penaeus vannamei* при выращивании в аквариальном комплексе ФГБНУ «ВНИРО»

янию температуры воды на физиологическую активность молоди возрастом 4-5 месяцев. Для этого в емкости (объемом 200 л) с экспериментальной группой креветок (18 экз.) постепенно снижали температуру воды с 29 до 11°C, а затем повышали также до 29°C. В ходе эксперимента учитывали количество потребляемого особями корма и фиксировали случаи гибели.

На момент поступления в лабораторию молодь (послеличинка в возрасте 12 суток, PL12) имела длину 6 мм при массе тела около 1 мг (рис. 5). Через четыре с половиной месяца культивирования средняя длина креветок составила 128 мм, масса 24,2 г (рис. 6). Таким образом, длина тела особей увеличилась почти в 20 раз, а масса более чем 24 тысячи раз. Установлена зависимость между линейными размерами и массой тела креветок (рис. 7). Максимальные размерно-весовые характеристики белоногой креветки за четыре с половиной месяца культивирования составили: длина тела – 136 мм, а масса – 30 г.

Рост молоди наиболее быстро проходил в первые два месяца культивирования (рис. 8). В этот период линейные размеры креветок за месяц увеличивались в 3-4 раза по сравнению с начальной длиной тела. В дальнейшем интенсивность роста замедлилась. Увеличение массы молоди проходило наиболее быстро в первый месяц культивирования, когда возросла от 0,2 до 2,5 г (рис. 8). Затем скорость прироста массы постепенно уменьшалась, снизившись к пятому месяцу до 30% от начальной. Заметное уменьшение интенсивности прироста как линейных размеров, так и массы креветок произошло после достижения молодь 20 г. Результаты хорошо согласуются с литературными данными [8], согласно которым темпы роста вида замедляются после достижения массы 20 г, что значительно увеличивает время выращивания крупных особей.

В ходе экспериментальных исследований влияния температуры на физиологическую активность

молоди белоногой креветки было отмечено, что при понижении температуры резко сокращалось потребление корма особями (рис. 9). Если в оптимальных условиях (28-30 °С) молодь потребляла 0,5-0,9 г/экз. в сутки, то при температуре менее 20°C количество съеденной пищи снизилось в 2-3 раза. Креветки полностью прекратили питаться при температуре 13°C. Снижение пищевой активности сопровождалось уменьшением двигательной активности вплоть до почти полного ее прекращения при 11-12°C. При указанной температуре креветки лежали на боку и изредка двигали плеоподами, а двигательная реакция на внешние раздражители практически отсутствовала. В ходе снижения температуры и при низких температурах отмечены случаи гибели особей. Однако большая часть (более 70%) креветок выжили после пребывания в течение нескольких суток при температуре 11-12°C.

Белоногая креветка является теплолюбивым видом, и уменьшение ее физиологической активности при понижении температуры является закономерным [12]. По литературным данным оптимальными температурами для культивирования вида являются 27-30°C [5; 6; 12]. При этом отмечено, что белоногие креветки устойчивы к понижению температуры до 15°C [8]. Согласно



Рисунок 9. Потребление корма молодь белоногой креветки *Penaeus vannamei* при разной температуре воды

| АКВАКУЛЬТУРА И ВОСПРОИЗВОДСТВО |

полученным нами результатам, культивирование вида при температурах ниже 20°C является неэффективным. Критической температурой для белоногой креветки можно принять 11-13°C, поскольку в этом температурном диапазоне трофическая и двигательная активности особей практически полностью отсутствуют.

В целом, представленные результаты подтверждают потенциальную возможность культивирования белоногой креветки в условиях УЗВ на территории России. Показатели скорости роста креветок в рециркуляционных системах водообеспечения (УЗВ) являются приемлемыми для промышленной аквакультуры, хотя и несколько ниже таковых для открытых прудов, расположенных в зоне тропического климата [9].

| Заключение |

Для российской аквакультуры белоногая креветка является новым объектом, выращиваемым в настоящее время только на единичных бассейновых комплексах. При этом, в мировой аквакультуре данный вид занимает лидирующие позиции по объемам производства среди десятиногих ракообразных. Разработка и промышленное внедрение технологии выращивания белоногой креветки может способствовать импортозамещению и расширению ассортимента продукции, получаемой рыбохозяйственной отраслью. Основная часть территории России климатически не подходит для культивирования этого теплолюбивого вида в открытых водоемах, что делает актуальным выращивание креветки в рециркуляционных установках. Обобщение имеющихся литературных данных позволяет сформулировать основные принципы биотехнической схемы получения молоди вида в полностью контролируемой среде. Адаптация этих подходов к условиям России будет способствовать росту объемов аквакультуры десятиногих ракообразных как в

приморских регионах, так и в континентальной части страны. Первые результаты по экспериментальному культивированию белоногой креветки, выполненные в аквариальном комплексе лаборатории марикультуры беспозвоночных ФГБНУ «ВНИРО», демонстрируют потенциальную возможность промышленного выращивания вида. Скорость прироста линейных размеров и массы особей в условиях рециркуляционных установок достаточно высокие, что позволяет характеризовать белоногую креветку как перспективный объект для аквакультуры.

| ЛИТЕРАТУРА |

1. WoRMS (2018). *Penaeus vannamei* Boone, 1931. Accessed at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=377748> on 2018-04-11
2. Wyban J.A., Sweeney J.N. Intensive shrimp production technology. Hawaii: High Health Aquaculture Inc., 1991. 158 p.
3. Rosenberry B. World shrimp farming. *Shrimp News International*, 2002. 276 p.
4. Dall W.; Hill J.; Rothlisberg P.C.; Staples D.J., 1990. The biology of Penaeidae. In: Blaxter J.H.S., Southward A.J., eds. *Advances in marine biology*, Vol. 27. New York, USA: Academic Press, 489 pp.
5. Kitani H. Larval development of the White Shrimp *Penaeus vannamei* Boone reared in the laboratory and the statistical observation of its naupliar stages // *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 1986. V. 52. P. 1131-1139.
6. Cobo M.L. Intensification of white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) larviculture // Ph.D. thesis. Ghent: University Belgium, 2013. 219 p.
7. FAO. Fishery and Aquaculture Statistics. Global aquaculture production 1950-2015. Online: www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en. Accessed: 18 December 2017.
8. FAO. Introductions and movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific. Bangkok: Food and agriculture organization of the united nations regional office for Asia and the Pacific, 2004. 32 p.
9. FAO. Online: http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Litopenaeus_vannamei/en. Accessed: 22 December 2014.
10. Treece G.D. Shrimp culture // *Encycl. Aquacul.* 2000. V. 1. P. 806-868.
11. Hargreaves J.A. Biofloc production systems for aquaculture // *Sout. Reg. Aquacul. Center.* 2013. № 4503. 12 p.
12. Juarez L.M., Moss S.M., Figueras E. Maturation and larval rearing of the Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*. *The Shrimp Book*. Nottingham: University Press, 2010. 920 p.



WHITE SHRIMP (*PENAEUSVANNAMEI*, *PENAEIDAE*, *DECAPODA*) CULTIVATION IN CLOSED RECYCLING WATER SYSTEM: THE FIRST EXPERIENCE OF THE SPECIES' EXPERIMENTAL CULTIVATION IN RUSSIA

Kovacheva N.P., Doctor of Sciences, Borisov R.R., PhD, Nikonova I.N., Kryakhova N.V., PhD, Lebedev R.O. – Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, kovacheva@vniro.ru; borisovrr@mail.ru; ranico@yandex.ru; nvkryakhova@mail.ru; lebedeff@mail.ru; horsax@mail.ru
Chertoprud E.S., PhD – Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography; Moscow State University named after M.V. Lomonosov

The article presents the basic principles of white shrimp (*Penaeusvannamei*) cultivation based on literature analysis. General methodological approaches to this thermophile species breeding in closed recycling water system (CRWS) are characterized. The novel for the Russian aquaculture results of the white shrimp experimental cultivation in the aquarium complex of Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (laboratory of mariculture of invertebrates) are presented. A gain of juvenile species size and weight characteristics is estimated. The dependence of juveniles trophic and locomotor activity on water temperature is shown; the temperature threshold for white shrimp cultivation in CRWS is evaluated.

Keywords: white shrimp, *Penaeusvannamei*, juveniles, cultivation, growth in closed recycling water system, the effect of water temperature on the physiological processes