

АКВАКУЛЬТУРА И ИСКУССТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО

УДК 639.51

**СОДЕРЖАНИЕ МОРСКИХ ХОЛОДНОВОДНЫХ РАКООБРАЗНЫХ
В УСТАНОВКАХ С ЗАМКНУТЫМ ВОДОИСПОЛЬЗОВАНИЕМ**

© 2013 г. Д. В. Тырин, Н. П. Ковачева, А. В. Жигин

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии, Москва, 107140*

Статья поступила в редакцию 03.06.2013 г.

Окончательный вариант получен 02.10.2013 г.

Определены основные параметры обмена веществ камчатского краба и американского омара и исследована динамика концентраций азотистых соединений в воде в установках с замкнутым водоиспользованием. Определён оптимальный наполнитель для биофильтра и установлено, что внесение источника азота в сочетании с постепенным понижением температуры воды обеспечивает интенсификацию стартового периода биологической очистки. Даны рекомендации по созданию установки с замкнутым водоиспользованием для содержания камчатского краба и американского омара.

Ключевые слова: камчатский краб, американский омар, установки с замкнутым водоиспользованием, марикультура, ракообразные.

ВВЕДЕНИЕ

Мировая аквакультура – стабильно развивающееся направление производства продукции животного происхождения (ежегодный рост за период 1961–2009 гг. составил 3,2%) и по темпам развития опережающее рыболовство (FAO Yearbook, 2012). Согласно прогнозам ФАО, для поддержания установившегося в последние годы уровня среднеловового потребления мировая продукция аквакультуры к 2050 г. должна достичь объёма 80 млн тонн. В 2011 г. производство продукции в мировой аквакультуре достигло величины около 63,6 млн т, что составляет 41,3% от общей продукции рыбного хозяйства (154 млн т) (FAO Yearbook, 2012). Из этого объёма на марикультуру приходится 18,3 млн т. Ценной составляющей в продукции марикультуры являются ракообразные, объём выращивания которых в 2011 г. достиг 585 тыс. т, или 3,8% от общей продукции марикультуры.

Среди ракообразных выделяются такие важные промысловые объекты, как камчатский краб (*Paralithodes camtschaticus*) и американский омар (*Homarus americanus*), которые круглогодично пользуются стабильным спросом у потребителей как в России, так и за рубежом. Удовлетворение спроса на эти объекты в живом виде требует расширения работ по их содержанию в искусственных условиях. Интенсивная технология содержания ценных промысловых видов вне регионов их промысла предусматривает применение установок с замкнутым водоиспользованием (УЗВ). Это позволяет уменьшить расходы на перевозку, оптимизировать логистику поставки живых гидробионтов и обеспечить круглогодичное удовлетворение спроса, что в условиях удалённости от мест промысла может обеспечить только УЗВ, где возможно создание и регулирование условий обитания гидробионтов в соответствии с их физиологическими потребностями.

Целью проведённых работ было определение основных биотехнических параметров содержания морских холодноводных ракообразных в условиях УЗВ. В соответствии с этим необходимо было решить следующие первостепенные задачи: определить количество выделяемого общего аммония и потребляемого растворённого кислорода объектами исследования, изучить динамику содержания минеральных форм азота в воде при их содержании, оценить возможность интенсификации стартового периода биологической очистки и определить лучший наполнитель для биофильтров в условиях УЗВ с холодной морской водой.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работы проводились в аквариальной лаборатории марикультуры беспозвоночных ФГУП «ВНИРО», на комплексах для предпродажной передержки гидробионтов в г. Москва (ООО «Водный Мир», ООО «LaMarée»), на бассейновом комплексе в посёлке Ура-Губа (Мурманская область), а также в ООО «Морской аквариум» (Москва). В экспериментах, проведённых в Москве, использовали искусственную морскую воду, приготовленную путём разведения смеси морских солей в водопроводной воде, пропущенной через мембранную установку обратноосмотической очистки. Поддерживали солёность 30–35‰.

Показатели среды регистрировали с помощью портативных мультипараметровых зондов «YSI» и «Hanna Instruments» (США). Концентрации аммония, нитритов и нитратов определяли колориметрированием проб на фотометре КФК-3-01 (Россия). Аммонийный азот определяли методом Solorzano, 1969. Анализ воды на содержание нитритов и нитратов проводили методом Bendschneider, Robinson, 1952. Также использовали колориметрические аквариумные тесты на азотистые соединения.

В экспериментах по изучению выделения аммония и потребления кислорода использовали по 10 крабов и 10 омаров на каждый температурный диапазон (в среднем – 6, 9 и 12°C). В первом эксперименте гидробионтов содержали без кормления 1 сут. в акварионе без блока биологической очистки, во втором содержание кислорода измеряли каждые 10 минут в течение 2 ч для каждой особи в термоконтейнере с циркуляционным насосом.

В эксперименте по изучению возможности сокращения продолжительности стартового периода биологической очистки температуру воды постепенно понижали с 19–21 до 6–12°C с внесением 10%-ного водного раствора аммиака в качестве источника азотистых соединений при каждом понижении концентрации аммония. Влияние типа субстрата биофильтра изучали при постоянной (в среднем – 6, 9 и 12°C) и понижаемой температуре воды в трёх группах установок, отличающихся типом наполнителя, при трёх разных диапазонах температуры воды. В контрольных установках без наполнителя применяли все те же процедуры, что и в экспериментальных. Во всех экспериментах наполнители были стерильными, использовали нашатырный спирт или комбикорм для рыб в качестве источников загрязнения (вносились при каждом понижении содержания аммония в концентрациях, превышающих ПДК), а также «готовую» культуру бактерий. Также сравнивали прохождение стартового периода биологической очистки без гидробионтов и с ними, а затем проверяли стабильность системы биологической очистки путём посадки небольшой биомассы гидробионтов (17,69 кг/м³ камчатского краба при

его кормлении) или её увеличения соответственно. Изучали влияние величины рациона камчатского краба на качество оборотной воды при двух температурах воды (в среднем – 5,5 и 10°C); кормили размороженным кальмаром индивидуально в количестве 0,5 и 1% от живой массы в сутки.

Результаты всех экспериментов обработаны статистически с помощью метода квадратов Пирсона, вычисления коэффициента Стьюдента и коэффициента корреляции.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для содержания ракообразных в настоящее время чаще всего используют обычные рыбоводные установки, что можно объяснить отсутствием серийного производства специализированного оборудования. Однако биологические и биотехнические основы содержания и тем более культивирования ракообразных, по сравнению с рыбами, имеют свою специфику, и её следует учитывать при создании УЗВ.

Главным принципиальным отличием, из которого вытекают все последующие, является каннибализм. Если основными факторами, лимитирующими плотность посадки (а следовательно, и продуктивность) при искусственном выращивании рыбы могут быть кислородный режим и уровень накопления выделяемых загрязняющих веществ, то при содержании ракообразных проблема каннибализма выходит на первый план и в конечном счёте определяет биопroduкцию емкостей. Это связано с тем, что по мере роста ракообразных их тело увеличивается, панцирь становится тесен и особь его сбрасывает. Происходит линька – критический период в жизни особи, в момент которого в организме животного протекают сложные гормональные и биохимические изменения. После линьки в течение нескольких часов до образования нового панциря ракообразные абсолютно беззащитны, являясь лёгкой добычей. Ситуация усугубляется тем, что линьки у особей происходят не синхронно, повышая вероятность каннибализма, особенно при повышенных плотностях посадки ракообразных, используемых в промышленных условиях.

Для снижения каннибализма в бассейнах размещают различные типы укрытий в виде сеток, обрезков труб, других предметов, которые позволяют прятаться полинявшим особям. Применяя различные типы укрытий в сочетании с другими биотехническими приёмами, удаётся уменьшить его проявление, повысить выживаемость ракообразных и частично снять остроту проблемы, но, к сожалению, не решить её полностью. В этой связи плотности посадки ракообразных (и, соответственно, биопroduкция) ниже, чем для рыб, на два порядка (0,5–2 против 100 кг/м³) даже при условии осуществления специальных мероприятий, направленных на снижение каннибализма (Жигин, 2011).

Одной из характерных черт УЗВ для ракообразных является необходимость применения ёмкостей с большой площадью дна, так как это донные виды. Однако создание индустриального хозяйства требует больших производственных площадей для размещения бассейнов в помещении. Поэтому ёмкости для содержания ракообразных следует размещать друг над другом, используя гидравлическую систему циркуляции воды вертикального типа (по типу стеллажа с лотками).

Особенностью установок для содержания ракообразных также является относительно небольшой расход циркулирующей воды, так как максимально

возможная биомасса гидробионтов в бассейнах относительно невелика. Соответственно не требуется поддерживать интенсивный водообмен для обеспечения оптимальной концентрации растворенного кислорода и удаления накапливающихся загрязнений. Это позволяет применять циркуляционные насосы меньшей производительности и трубопроводы меньшего диаметра, чем при содержании рыб, сокращая эксплуатационные и капитальные затраты. Также нет необходимости в оксигенации воды, так как для её насыщения кислородом до 100% вполне достаточно обычных средств аэрации, особенно если речь идёт о содержании холодноводных гидробионтов. Одной из особенностей УЗВ для ракообразных является невысокое (относительно рыб) количество выделяемых загрязнений, но оно «увеличивается» тем, что при низких температурах в морской воде процесс нитрификации идет значительно медленнее и менее стабильно.

Вместе с тем биологические особенности камчатского краба и американского омара подразумевают ряд технологических трудностей при осуществлении их содержания в обусловленных требованиями низкой температуры и высокой солёности воды. Известно, что основа любых УЗВ – блок регенерации воды, главным элементом которого является система биологической очистки. Процессы биологической очистки воды (нитрификации) значительно замедляются в морской воде, по сравнению с пресной, а снижение температуры воды ещё более тормозит скорость протекания процесса биологического окисления накопленных загрязнений. При этом наиболее длительным и проблематичным этапом в рассматриваемых условиях является пусковой период системы биоочистки. Для её запуска в работу крайне важно правильно провести стартовый период, так как оптимальная температура для жизнедеятельности бактерий основных нитрифицирующих родов *Nitrobakter* и *Nitrosomonas* лежит в диапазоне 24–26°C, а требуемая для содержания холодноводных морских ракообразных – 5–15°C. В системах, предусматривающих кормление ракообразных комбикормами, необходимо ещё более тщательное проведение стартового периода, поскольку корм является основным источником загрязнений в УЗВ. В качестве источника загрязнений при проведении стартового периода биологической очистки можно использовать небольшую биомассу гидробионтов. Как источник самих бактерий можно использовать воду из работающей УЗВ или готовые их культуры.

Содержание морских холодноводных ракообразных в УЗВ сейчас развивается в двух направлениях (Ковачева, 2008).

Первое используется в целях искусственного воспроизводства для пополнения естественных популяций. При этом различают несколько категорий бассейнов: карантинные – для предварительного содержания поступающих на комплекс взрослых особей с целью выявления больных или ослабленных особей, инкубационные – для содержания икраных самок и бассейны для подращивания личинок и молоди. Искусственное воспроизводство морских ракообразных в условиях УЗВ складывается из следующих этапов: отсадка самок со зрелой икрой (реже – проведение спаривания); инкубация икры на самках; выклев личинок; подращивание личинок до жизнестойкой молоди с последующим её выпуском в естественную среду. Важным условием эксплуатации УЗВ при воспроизводстве ракообразных является наличие УФ-стерилизации оборотной воды (особенно на ранних стади-

ях развития особей). Кроме того, в составе системы водоподготовки необходимо иметь специальные картриджи (или отдельный аппарат) с материалом, содержащим и высвобождающим большое количество кальция (например, коралловая крошка или ракушечник), так как при линьке ракообразные быстро изымают этот элемент из воды.

Второе направление – содержание товарной продукции в живом виде перед реализацией (предпродажная передержка) без кормления. Данное направление развивается наиболее быстро. Оно характеризуется относительно коротким периодом содержания гидробионтов, отсутствием процесса линьки особей, что в свою очередь позволяет содержать ракообразных при более высокой плотности посадки, рассчитывая её не только на площадь дна, но и на объём ёмкости. Наиболее рационально для предпродажной передержки использовать модульные системы с пластиковыми лотками или каркасными бассейнами (рисунок), так как они сравнительно компактны, это снижает затраты на занимаемую площадь, упрощает их транспортировку и монтаж. Бассейны не разделяются по категориям, но высаживаемых особей желательно сортировать по размерам.



Типы УЗВ для морских ракообразных: а – действующая в ООО «LaMare», б – экспериментальная в ФГУП «ВНИРО», в – акватрон для точек реализации.

Types of CWS for marine Crustacean: а – industrial in «LaMare», б – experimental in VNIRO, в – for realization places.

Наличие укрытий в таких системах не обязательно, поскольку время содержания гидробионтов до реализации обычно невелико, а влияние каннибализма на выживаемость наиболее существенно при массовых линьках, которых в данном случае не происходит. Хотя лимитирующий фактор каннибализма здесь значительно слабее, проявления агрессивности и связанный с ней травматизм сохраняются, что может привести к ухудшению товарного вида особей.

Желательно, чтобы бассейны для содержания ракообразных имели прямоугольную форму, темный цвет и шероховатое дно для удобства передвижения животных. Все используемые в УЗВ и контактирующие с водой комплектующие должны быть выполнены из инертных материалов, так как ракообразные очень чувствительны к содержанию вымываемых в воду элементов, особенно металлов. В составе системы циркуляции желательно иметь накопительную ёмкость, расположенную перед подачей воды в бассейны для содержания ракообразных, в которой могут проводиться терморегуляция, аэрация и забор воды насосным оборудованием. Кроме того, с ней удобней осуществлять внесение каких-либо веществ (лекарственные препараты, микроэлементы, адсорбенты), подмену воды и отбор проб. Постоянность и надёжность циркуляции воды в установке должна обеспечиваться стационарной насосной группой (основным и резервным насосами), оснащённой как централизованным, так и автономным резервным (дизель-генератор) источниками электропитания.

Авторами установлено, что при температуре морской воды 6–7°C длительность стартового периода биологической очистки превышает 108 сут. (Тырин, 2011). Исследования по интенсификации стартового периода биологической очистки в рассматриваемых условиях показали, что внесение источника азотистых соединений или посадка небольшого количества гидробионтов при одновременном плавном понижении температуры воды с 19–21°C до 6–12°C, приводит к существенному (в два раза) сокращению продолжительности стартового периода до 49–63 сут. в зависимости от заданной конечной температуры воды. Было испытано шесть типов наполнителей для биофильтров и в результате установлено, что коралловая крошка фракции 10–20 мм являлась в данном случае оптимальным наполнителем для нитрифицирующего биофильтра.

Одним из важнейших показателей, который необходимо учитывать при проектировании и последующей эксплуатации циркуляционных систем, в том числе и для содержания ракообразных, является удельное выделение особями общего аммонийного азота в зависимости от создаваемых искусственных условий содержания. В частности, авторы установили, что при увеличении средней температуры воды с 6 до 12°C выделение общего аммонийного азота взрослыми особями камчатского краба возрастает более чем в четыре раза: в среднем с 7,33 до 29,49 мг/кг живой массы в сутки. У взрослых особей американского омара разница в выделении аммония с ростом температуры воды в тех же пределах менее значимая: в среднем с 3,32 до 4,63 мг/кг/сут. (Тырин, 2011). Это объясняется значительно более высокой эвритермностью данного вида, в рамках которой размах изучаемого диапазона температур не столь значителен. Исследования по определению удельного потребления кислорода показали, что по сравнению с камчатским крабом его потребление американским омаром достоверно выше: 43,05 и 61,34 мг/кг живой массы в час при 6°C и при 12°C против 33,75 и 44,32 мг/кг/ч соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные выше и другие проведённые авторами исследования позволили сформулировать требования к основным параметрам условий содержания морских холодноводных ракообразных в искусственных условиях (таблица). Полученные данные могут быть использованы при проектировании УЗВ для холодноводных морских ракообразных.

Параметры для содержания описываемых видов*

Parameters for cultivation of described species*

Показатель	Величина
Температура воды при содержании, °C:	
- личинки камчатского краба	6–7
- молодь камчатского краба	10–12
- взрослый камчатский краб	6–8
- взрослый американский омар	12–14
Солёность воды, S, ‰	30–35
pH воды	7,8–8,2
Концентрация азотистых соединений в воде при длительном содержании гидробионтов, не более, мг/л:	
- аммоний	0,3
- нитриты	0,2
- нитраты	40
Содержание ионов кальция Ca+2, мг/л	350–450
Содержание растворённого в воде кислорода, не менее, мг/л	7
Плотность посадки:	
- камчатских крабов при искусственном воспроизводстве, шт/м ²	2
- камчатских крабов при передержке, кг/м ³	40–50
- личинка камчатского краба, шт/л	75
- постличинка камчатского краба, шт/л	25
- американских омаров при передержке, кг/м ³	60–70

Примечание: * расход воды при передержке камчатского краба составил 4,7–5,9 л/кг/ч.

Note: *the water flow tanks with crabs was 4,7–5,9 l/kg per hour.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Жигин А. В. Замкнутые установки в аквакультуре. М.: РГАУ-МСХА, 2011. С.432–439.

Ковачева Н. П. Аквакультура ракообразных отряда Decapoda: камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* и гигантская пресноводная креветка *Macrobrachium rosenbergii*. М.: ВНИРО, 2008. 239 с.

Тырин Д. В. Биотехнические основы содержания камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* и американского омара *Homarus americanus* в установках с замкнутым водоиспользованием: Автореф. ... дис. канд. с.-х. наук. М.: РГАУ-МСХА, 2011. 141 с.

The state of world fisheries and aquaculture 2012 (FAO Yearbook), Rome: FAO Fisheries and Aquaculture Department, 2012. 230 p.

CULTIVATION OF COLD WATER CRUSTACEAN IN CLOSED WATER SYSTEMS

© 2013 y. D. V. Tyrin, N. P. Kovatcheva, A. V. Zhigin

Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140

Were determined the main parameters of the Red king crab and the American lobster metabolism and researched the dynamic of nitrogen compounds concentrations in the closed water systems (CWS). Were found the optimum filler for a biofilter and that the introduction of the nitrogen source in combination with a gradual decrease of water temperature allows intensification start up period. Were developed recommendations for the design of CWS for Red king crab and American lobster cultivation.

Keywords: Red king crab, American lobster, closed water systems (recirculation systems), mariculture, Crustacean.