

Аквакультура

УДК 639.51

Интенсивность дыхания и азотистого обмена креветки *Penaeus vannamei* при содержании в искусственных условиях

Д.В. Тырин, Д.С. Загорская, Н.П. Ковачева, И.Н. Никонова

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва
E-mail: tyrin1983@gmail.com

Исследовались основные физиологические параметры содержания взрослой белоногой креветки *Penaeus vannamei* в условиях установок с замкнутым водоиспользованием — потребление растворённого в воде кислорода и выделение аммония при температуре воды 27–28 °С и солёности 17–18 ‰. Выделение аммония исследовалось на 18 креветках, каждая из которых содержалась 3 суток (первые — без кормления и двое суток с кормлением сухим комбикормом из расчёта 1,3% от живой массы в сутки), потребление кислорода изучалось на 20 особях в течение 2 часов каждая. Было установлено, что голодавшие в течение суток креветки в среднем выделяют $0,150 \pm 0,062$ г аммонийного азота на 1 кг живой массы, при их кормлении выделение аммония повышалась до $0,411 \pm 0,090$ г/кг в первые сутки и $0,412 \pm 0,108$ г/кг во вторые. Результат эксперимента по определению кислородных потребностей показал, что белоногая креветка потребляет 383 ± 71 мг кислорода на 1 кг живой массы в час. Данные показатели могут использоваться при проектировании установок с замкнутым водоиспользованием (УЗВ).

Ключевые слова: белоногая креветка *Penaeus vannamei*, потребление кислорода, выделение аммония, установки с замкнутым водоиспользованием.

ВВЕДЕНИЕ

Креветка *Penaeus vannamei*, Boone, 1931 — представитель семейства Penaeidae отряда Decapoda, широко известна как Whiteleg shrimp — белоногая креветка, а также королевская креветка. Как и все ракообразные, белоногая креветка дышит растворённым в воде кислородом, главным образом через жабры, поэтому его концентрация в воде имеет для неё первостепенное значение. Кислород хуже растворяется в тёплой воде, соответственно

его наличие, наряду с предпочтением белоногой креветкой высокой температуры, является одним из лимитирующих факторов. Белоногая креветка в настоящее время является распространённым объектом содержания в искусственных условиях за рубежом (с использованием технологии «биофлок» или в установках с замкнутым водоиспользованием — УЗВ), работы в данном направлении ведутся с ней достаточно широко [Vinatea et al., 2009], но обобщающие результаты таких исследований

пока отсутствуют, а для нашей страны — это новый объект аквакультуры. Потребность в кислороде у других видов ракообразных изучалась ранее [Сушня, 1972; Wycliffe, Job, 1977; Romero et al., 2010], однако, этот физиологический параметр видоспецифичен.

Ракообразные являются аммонотеликами, т. е. у них главным конечным продуктом азотистого обмена является аммиак, большая часть которого выделяется через жаберный эпителий. Аммиак (NH_3) — остро токсичное соединение, и технологическая норма его содержания в оборотной воде УЗВ составляет всего 0,05 мг/л. Свободный аммиак активно взаимодействует с водой, образуя ионизированную форму — NH_4^+ (аммоний), допустимая концентрация ионов которой для ракообразных при длительном содержании в УЗВ составляет 0,2–0,3 мг/л. Этим определяется необходимость количественной оценки выделяемого гидробионтами аммония в процессе их жизнедеятельности (для последующего подбора методов нейтрализации его воздействия). В опубликованных научных работах вопрос выделения аммония промышленными ракообразными затрагивался только с точки зрения биохимического механизма этого процесса [Kormanik, Cameron, 1981; Weihrauch et al., 2002].

Потребление кислорода и выделение аммонийного азота могут быть выражены в виде удельных величин: в пересчёте на единицу массы гидробионтов в единицу времени, например, мг/кг в час. По сравнению с другими нашими работами по данной тематике [Тырин, 2011; Тырин, Арыстангалиева, 2013; Тырин, 2015; Жигин и др., 2017] методика проведения исследований была модифицирована в целях повышения точности результатов. Использовался более точный и современный мультипараметровый зонд и более герметичная экспериментальная установка при изучении потребления кислорода, а в части исследований по выделению аммония использовались одновременно 6 пластиковых вёдер, а не один аквариум.

Цель данной работы заключалась в определении количества потребляемого кислорода и выделяемого аммонийного азота у взрослых особей белоногой креветки в установленном

ранее оптимальном диапазоне температуры воды в условиях УЗВ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работы проводились в условиях аквариальной лаборатории марикультуры беспозвоночных ФГБНУ «ВНИРО» по модифицированной методике, ранее отработанной авторами [Тырин, 2011; Тырин, Арыстангалиева, 2013; Тырин, 2015; Жигин и др., 2017]. Объектом исследования являлась взрослая белоногая креветка одной генерации: эксперименты были проведены последовательно с разрывом во времени, во время которого особи существенно увеличили свою массу. Поэтому живая масса (далее — ЖМ) особей различается: выделение аммония изучали у креветки с ЖМ — $18,98 \pm 4,26$ г, потребление кислорода — с ЖМ $42,15 \pm 1,96$ г, пол не определяли.

Схема проведения эксперимента по определению уровня выделения аммонийного азота представлена на рис. 1, установка — на рис. 2. В качестве экспериментальных ёмкостей выступали 6 пластиковых вёдер (5 для креветок и 1 для подмены воды) с объёмом воды 10 л. Использовались компрессор-аэрактор «Techno Takatsuki Hiblew HP-80» (Япония) с распылителями воздуха и нагреватель. Солёность воды поддерживалась на уровне 17–18‰, температура — 27 °С (вёдра размещались в бассейне для термостатирования). Морская вода приготавливалась из смеси солей «Red Sea» (Израиль), разведённой в водопроводной воде, пропущенной через установку обратного осмоса «Осмо СМВ Рона-250» (Россия). Креветок из аквариума 1 помещали индивидуально в вёдра на трое суток: первые сутки их не кормили, вторые и третьи — кормили. Вёдра закрывали сеткой для предотвращения выпрыгивания креветок, после эксперимента особей отсаживали в аквариум 2. Кормление производили 3 раза в сутки комбикормом «Tetra Wafer» (Германия) из расчёта по 2 таблетки на каждую креветку за 1 раз, таким образом, суточный рацион составлял 6 таблеток или 0,42 г, т. е. 1,26% от живой массы использованных креветок. Взвешивание креветок и корма производилось на электронных весах «KERN Ew» (Германия, 0,02–150 г). Креветки съедали корм полностью.

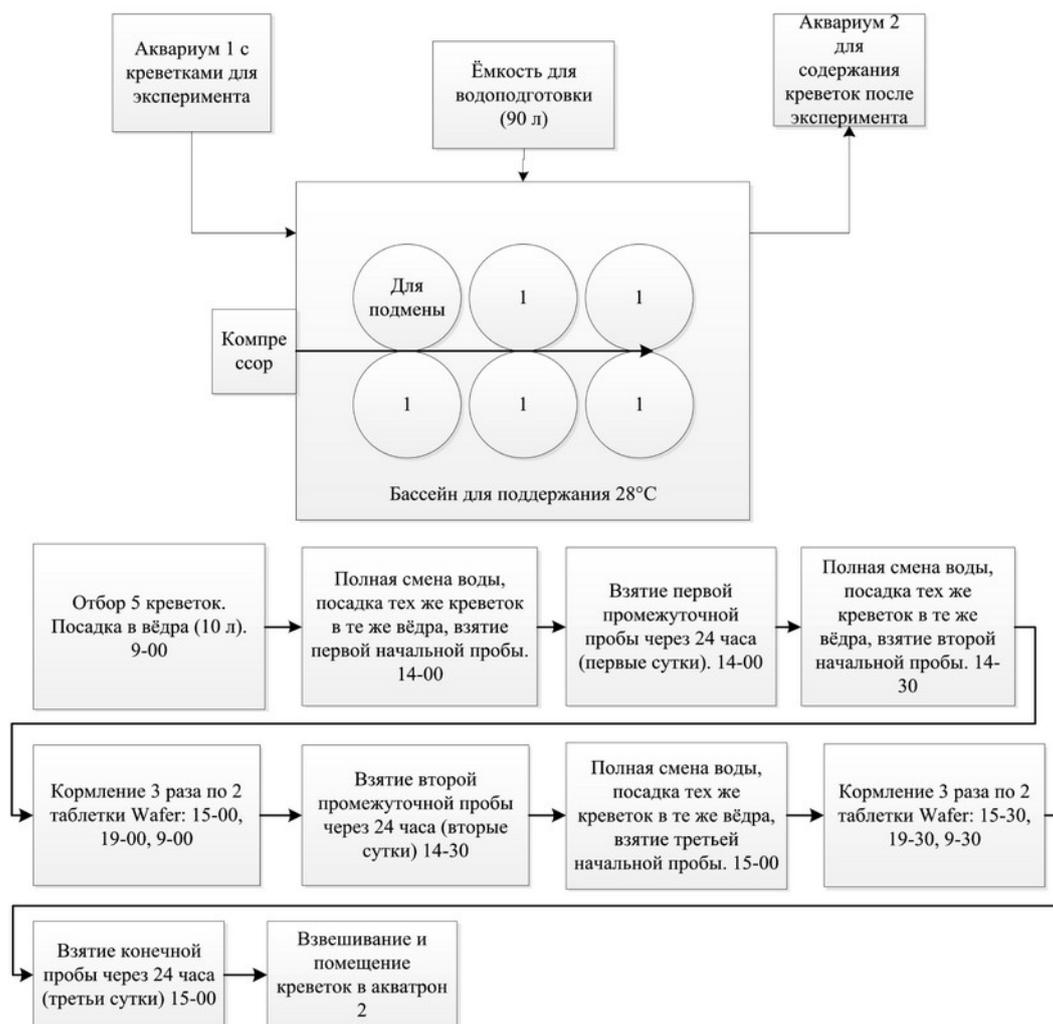


Рис. 1. Схема эксперимента по определению уровня выделения аммония



Рис. 2. Экспериментальная установка для определения уровня выделения аммония

Для эксперимента по определению уровня выделения аммонийного азота отобрали 18 особей с живой массой 12,10–27,59 г (средняя — $18,98 \pm 4,26$ г). Определение концентраций общего аммония проводили на спектрофотометре «Analytik Jena Spekol 1300» (Германия) методом Сэджи-Солорзано с использованием фенол-гипохлоритной реакции.

В качестве экспериментальной системы для определения потребления кислорода использовали пластиковую прозрачную канистру объёмом 19 л, которую термостатировали в пластиковом контейнере с нагревателем (рис. 3). Канистру заполняли водой до горлышка и закрывали крышкой с двумя отверстиями для шлангов, с помощью которых насос «Hailea NH-6520» (Китай), размещённый в контейнере, обеспечивал циркуляцию воды в канистре и подавал её на электрод мультипараметрового зонда «WTW Multi 3630 IDS» (Германия). Сверху крышку уплотняли пищевой плёнкой для полного исключения диффузии воздуха в воду. Температуру воды измеряли электронным термометром «ТР3001» (Китай). Средняя температура воды во время эксперимента колебалась от 27,0 до 28,8 °С ($28,1$ °С в среднем), в течение опыта с каждой креветкой температура воды плавно повышалась на 0,7–1,6 °С от начальной.

Экспериментальная группа составила 20 особей с ЖМ 31,87–50,86 г (средняя —

$42,15 \pm 1,96$ г). Перед проведением эксперимента систему запустили без креветки для определения потерь кислорода. Разница составила 0,01 мг/л за 2 часа экспозиции, что было признано достаточным для чистоты эксперимента результатом. Особей выдерживали без кормления не менее 4 часов до начала эксперимента. Каждый раз канистру заполняли новой водой из бассейна объёмом 400 л, в котором содержались креветки (солёность воды — 17–18‰, температура — 27 °С). После заполнения канистры в неё на 1 час помещали креветку для того, чтобы нивелировать пики потребления кислорода, вызванные стрессом от пересадки, потом опускали зонд оксиметра и вставляли шланги. Креветку содержали в канистре в течение 2 часов, при этом потребление кислорода и температуру воды регистрировали каждые 10 минут, а ЖМ определяли путём взвешивания после эксперимента. Далее особи помещались в другой бассейн.

Количественные показатели результатов исследований подвергали вариационно-статистическому анализу с использованием Microsoft Excel 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате наших исследований установлено, что удельное потребление кислорода белоногой креветкой средней массой $18,98 \pm 4,26$ г составляет в среднем 383 ± 71 мг

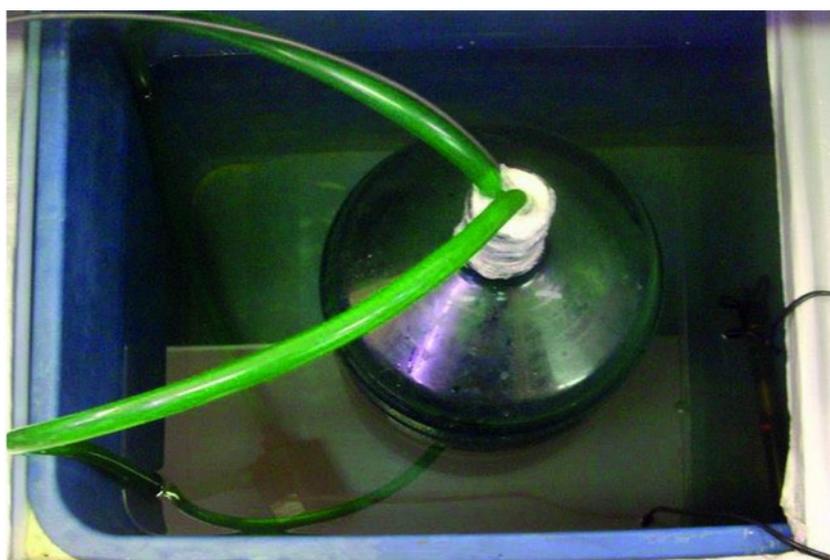


Рис. 3. Экспериментальная установка для определения потребления кислорода

на 1 кг ЖМ в час. Данные по отдельным особям представлены на рис. 4. Интенсивность дыхания (средняя по всем особям) за период эксперимента представлена на рис. 5 и уменьшается с 0,11 до 0,08 мг/л за 15-минутный интервал в течение 120 минут эксперимента.

Результаты исследований по выделению аммонийного азота и накоплению его в воде представлены на рис. 6 и 7.

Суточное удельное выделение общего аммония вычислялось путём умножения величины прироста концентрации общего аммония на объём воды и деления полученного результата на ЖМ особи ($42,15 \pm 1,96$ г). Установлено, что за сутки голодные креветки в среднем выделяли $0,150 \pm 0,062$ г аммонийного азота

на 1 кг ЖМ. При кормлении выделение аммония резко повышалось: $0,411 \pm 0,090$ г/кг ЖМ в первые сутки и $0,412 \pm 0,108$ г/кг ЖМ во вторые (т. е. более чем в 2,5 раза больше чем без кормления). Как видно из графиков, разница между первыми и вторыми сутками с кормлением не существенна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённые нами исследования позволили определить средние удельные величины потребления кислорода и выделения аммонийного азота взрослыми белоногими креветками. Полученные данные могут быть использованы для расчёта систем аэрации и биологической очистки воды при проектировании УЗВ.

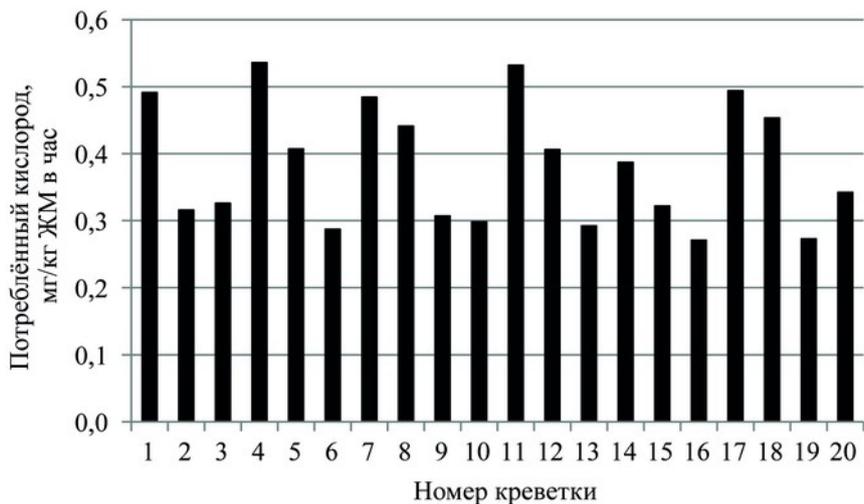


Рис. 4. Потребление кислорода каждой особью белоногой креветки

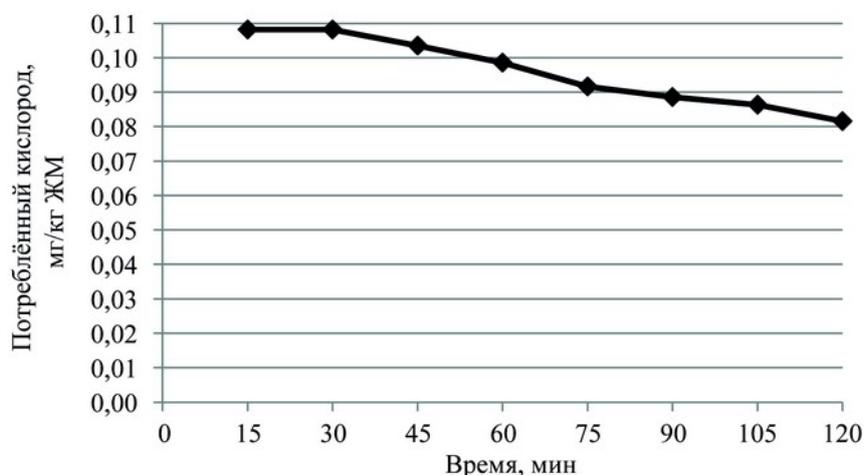


Рис. 5. Средняя интенсивность дыхания (по всем креветкам)

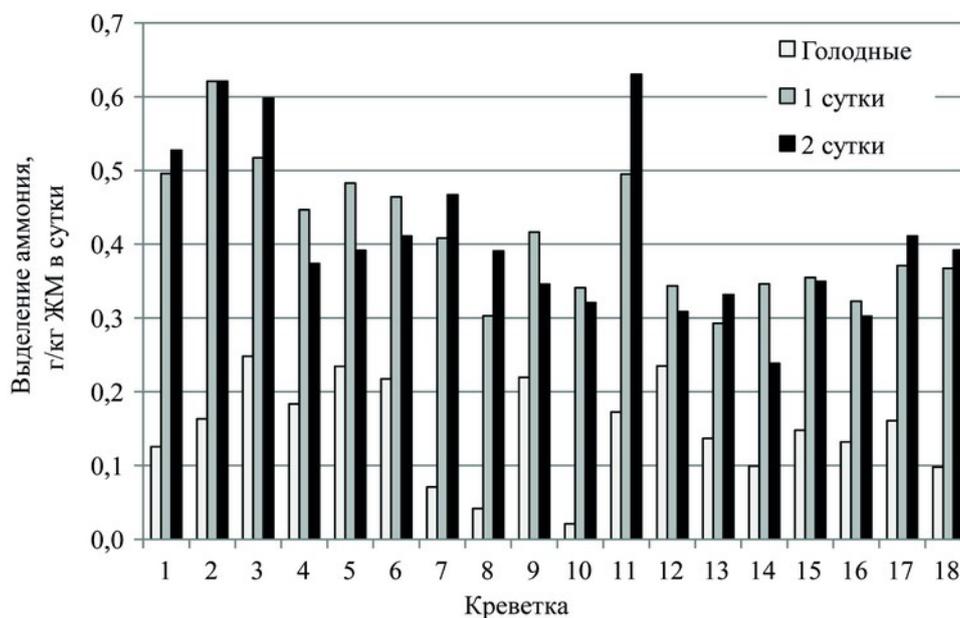


Рис. 6. Индивидуальные показатели выделения аммония (1, 2 сутки — с кормлением)

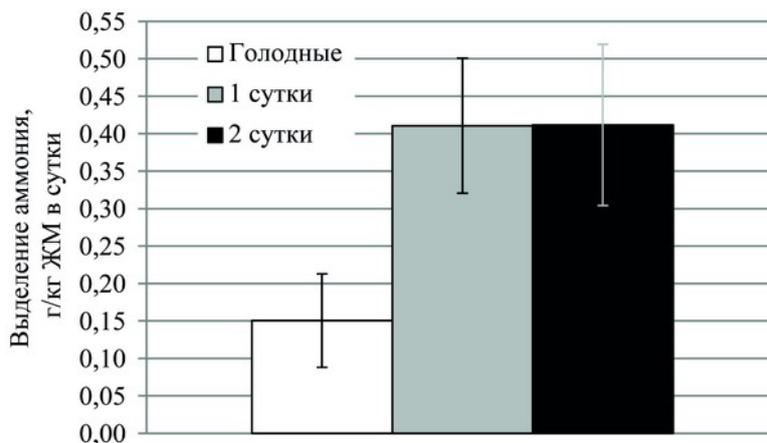


Рис. 7. Среднее суточное выделение аммония белой креветкой (1, 2 сутки — с кормлением)

ЛИТЕРАТУРА

Жигин А.В., Тырин Д.В., Арыстангалиева В.А., Ковачева Н.П. 2017. Интенсивность дыхания и азотистого обмена у австралийского красноклещевого рака при содержании в искусственных условиях // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. № 2(31). С. 45–49.

Сущенко Л.М. 1972. Интенсивность дыхания ракообразных. Киев: «Наукова думка». 195 с.

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

Тырин Д.В. 2015. Определение количества потребляемого кислорода и интенсивности дыхания производителями колючего краба // Сборник трудов международной научной конференции «Актуальные вопросы развития животноводства в современных условиях» 30–31.10.2014, М.: РГАУ-МСХА. С. 184–188.

Тырин Д.В., Арыстангалиева В.А. 2013. Потребление кислорода и интенсивность дыхания гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii* в искусственных условиях // Аграрная наука. № 2. С. 25–27.

Kormanik G.A., Cameron J.N. 1981. Ammonia excretion in the seawater Blue Crab (*Callinectes sapidus*) occurs

- by diffusion, and not $\text{Na}^+/\text{NH}_4^+$ exchange // J. of Comparative Physiology. Vol. 141. P. 457–462.
- Romero M.C., Tapella F., Stevens B., Buck C.L. 2010. Effects of reproductive stage and temperature on rates of oxygen consumption in *Paralithodes platypus* (Decapoda: Anomura) // J. of Crustacean Biology. Vol. 30(3). P. 393–400.
- Vinatea L., Olivera Gálvez A., Venero J., Leffler J., Browdy C. 2009. Oxygen consumption of *Litopenaeus vannamei* juveniles in heterotrophic medium with zero water exchange // Pesquisa Agropecuária Brasileira. Vol. 44, № 5.
- Weihrauch D., Ziegler A., Siebers D., Towle D.W. 2002. Active ammonia excretion across the gills of the green shore crab (*Carcinus maenas*): participation of Na^+/K^+ -ATPase, V-type H^+ -ATPase and functional microtubules // The J. of Experimental Biology. Vol. 205. P. 2765–2775.
- Wycliffe M.J., Job S.V. 1977. Standard, routine and active oxygen consumption of a freshwater shrimp // Hydrobiologia. Vol. 54 (1). P. 33–39.

Поступила в редакцию 27.11.2018 г.
Принята после рецензии 10.12.2018 г.

Trudy VNIRO

2019. Vol. 175

Aquaculture

Intensity of respiration and nitrogen metabolism of white-legged shrimp *Penaeus vannamei* under artificial conditions

D.V. Tyrin, D.S. Zagorskaya, N.P. Kovacheva, I.N. Nikonova

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow

The oxygen consumption and the excretion of ammonium of adult white-legged shrimp *Penaeus vannamei* were studied at a water temperature of 27–28 °C and salinity of 17–18‰. Ammonium excretion was studied on 18 shrimps, each of which was kept for 3 days, oxygen consumption was studied on 20 individuals for 2 hours each. It was found that shrimps starving during the day emit on average 0.150 ± 0.062 g of ammonium nitrogen per 1 kg of live weight. When shrimps fed at a rate of 1.3% of body weight per day, the excretion of ammonium increased to 0.411 ± 0.090 g/kg on the first day and 0.412 ± 0.108 g/kg in the second. The result of an experiment to determine oxygen needs showed that shrimp consumes 383 ± 71 mg of oxygen per 1 kg of live weight per hour. These indicators can be used in the design of closed water recirculation systems.

Keywords: closed water recirculation systems, white-legged shrimp *Penaeus vannamei*, oxygen consumption, release of ammonium.

REFERENCES

- Zhigin A.V., Tyrin D.V., Arystangalieva V.A., Kovacheva N.P. 2017. Intensivnost' dykhaniya i azotistogo obmena u avstralijskogo krasnokleshnevoogo raka pri sodержanii v iskusstvennykh usloviyakh [Intensity of respiration and nitrogen metabolism of Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* under artificial conditions] // Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa. № 2(31). S. 45–49.
- Sushchenya L.M. 1972. Intensivnost' dykhaniya rakoobraznykh [Crustaceans respiratory intensity]. Kiev: «Naukova dumka». 195 s.
- Tyrin D.V. 2011. Biotekhnicheskie osnovy sodержaniya kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* i amerikanskogo omara *Homarus americanus* v

- ustanovkakh s zamknutym vodoispol'zovaniem [Biotechnical bases of the Red King crab *Paralithodes camtschaticus* and American lobster *Homarus americanus* keeping in recirculated closed water systems]. Dis. ... kand. s.-kh. nauk. M.: RGAU-MSKHA. 141 s.
- Tyrin D.V. 2015. Opredelenie kolichestva potrebyaemogo kisloroda i intensivnosti dykhaniya proizvoditelyami kolyuchego kraba [Evaluation of the amount of oxygen consumed and respiration rate by Spiny King crab *Paralithodes brevipes*] // Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Aktualnye voprosy razvitiya zhivotnovodstva v sovremennykh usloviyah» 30–31.10.2014, M.: RGAU-MSKHA. C. 184–188.
- Tyrin D.V., Arystangalieva V.A. 2013. Potreblenie kisloroda i intensivnost' dykhaniya gigantskoj presnovodnoj krevetki *Macrobrachium rosenbergii* v iskusstvennykh usloviyakh [Oxygen consumption and respiration intensity by Giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* under artificial conditions] // Agrarnaya nauka. № 2. S. 25–27.
- Kormanik G.A., Cameron J.N. 1981. Ammonia excretion in the seawater Blue Crab (*Callinectes sapidus*) occurs by diffusion, and not $\text{Na}^+/\text{NH}_4^+$ exchange // J. of Comparative Physiology. Vol. 141. P. 457–462.
- Romero M.C., Tapella F., Stevens B., Buck C. L. 2010. Effects of reproductive stage and temperature on rates of oxygen consumption in *Paralithodes platypus* (Decapoda: Anomura) // J. of Crustacean Biology. Vol. 30(3). P. 393–400.
- Vinatea L., Olivera Gálvez A., Venero J., Leffler J., Browdy C., 2009. Oxygen consumption of *Litopenaeus vannamei* juveniles in heterotrophic medium with zero water exchange // Pesquisa Agropecuária Brasileira. Vol. 44, № 5.
- Weihrauch D., Ziegler A., Siebers D., Towle D.W. 2002. Active ammonia excretion across the gills of the green shore crab (*Carcinus maenas*): participation of Na^+/K^+ -ATPase, V-type H^+ -ATPase and functional microtubules // The J. of Experimental Biology. Vol. 205. P. 2765–2775.
- Wycliffe M.J., Job S.V., 1977. Standard, routine and active oxygen consumption of a freshwater shrimp // Hydrobiologia. Vol. 54 (1). P. 33–39.

FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1.** The scheme of the experiment to determine the level of ammonium excretion
- Fig. 2.** Experimental system for determining the level of ammonium excretion
- Fig. 3.** Experimental system for determining the level of oxygen consumption
- Fig. 4.** Oxygen consumption by each white-legged shrimp
- Fig. 5.** Average respiration rate (for all shrimps)
- Fig. 6.** Ammonium excretion by each white-legged shrimp (1st, 2nd days — with feeding)
- Fig. 7.** Ammonium excretion by each white-legged shrimp (1st, 2nd days — with feeding)