

ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ АНАДАРЫ – *ANADARA INAEQUIVALVIS* (BRUGUIÈRE, 1789), АККЛИМАТИЗИРОВАННОЙ В ЧЕРНОМ МОРЕ

А. М. Жаворонкова, ассист., А. П. Золотницкий, д. б. н., проф.

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»
e-mail: ann4356@yandex.ua

Исследована интенсивность дыхания двустворчатого моллюска – анадары (*Anadara inaequivalvis*), акклиматизированной в Азово-Черноморском бассейне. Показано, что скорость потребления кислорода (R) тесно связана с массой тела (W) и описывается уравнением степенной функции вида: $R = a \cdot W^k$. Изучены изменения интенсивности дыхания при температуре воды 12 и 25 °С. Обнаружено, что с повышением температуры воды происходит возрастание интенсивности дыхания (a) анадары.

Ключевые слова: *Anadara inaequivalvis*, скорость потребления кислорода, интенсивность дыхания, температурный коэффициент Вант-Гоффа

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в Азово-Черноморском бассейне появилось несколько стихийных вселенцев (аутоакклиматизантов), которые могли бы быть перспективными объектами промысла и марикультуры. К ним можно отнести представителя семейства арковых (Argidae) – анадару *Anadara inaequivalvis* (Bruguière, 1789), которую в ряде публикаций называют кровяной ракушкой, а также кунсаркой или скафаркой [7]. Этот вид характерен для побережья морей Юго-Восточной Азии и широко распространен в Индийском и Тихом океанах. Появление этого вида в Черном море связывают с переносом личинок моллюска судами с балластной водой. В 1980-х гг. этот моллюск стал встречаться в донных биоценозах Черного моря: сначала в прибрежных районах Болгарии, затем на шельфе Румынии [6, 10]. Позднее этот вид обнаружили в Керченском проливе [2, 11], а затем он был зарегистрирован в Азовском море [11, 12, 14].

Анадара обычно встречается как субдоминантный вид в биоценозах абры (*Abra ovata*), церастодермы (*Cerastoderma lamarcki*), гидробии (*Hydrobia salinasi*) [10]. Предельный возраст анадары в Азово-Черноморском бассейне – 9 лет. В Черном море этот вид вырастает до 80 мм, в Азовском – до 52-54 мм, достигая массы 46 г. На родине его длина может достигать 120 мм [2, 12, 13]. Представители этого семейства хорошо известны на Кубе, Фиджи, в Колумбии, Индии, Индонезии, Японии, Корее, Малайзии, Мексике, Филиппинах, Шри-Ланке, Тайване, Таиланде, Венесуэле и Западной Африке. По данным ФАО, объем промысла различных видов данного семейства составляет 0,7 % (97,2 тыс. т). В ряде зарубежных стран (Китае, Японии, Малайзии, Таиланде) различные виды арковых широко используются в качестве объекта культивирования [17, 24, 25].

В результате аутоакклиматизации анадары в Азово-Черноморском бассейне рядом исследователей получены важные данные о биологии и экологии этого вида [2, 7, 8, 11-15, 23]. В то же время, многие вопросы, представляющие интерес для марикультуры, остались малоизученными или со-

всем не исследованными. В частности, при разработке биологических основ культивирования тех или иных гидробионтов необходимо проведение детальных эколого-физиологических исследований приспособительных реакций (адаптаций) водных организмов к различным факторам среды. Без этого невозможно достичь оптимизации условий выращивания для разных онтогенетических стадий и добиться максимальной реализации биологических функций того или иного вида водных животных [5].

Одним из таких вопросов является определение уровня энергетического баланса (бюджета) моллюсков, где важнейшей характеристикой метаболических процессов является скорость потребления кислорода. Этот показатель является важнейшим компонентом энергетического баланса организма и отражает его расходную часть, указывая на изменения физиологического состояния под влиянием различных экологических факторов. Такие исследования на *A. inaequalvis* в нашей стране ранее не проводились, поэтому они представляют несомненный интерес для марикультуры этого вида.

В задачу настоящей работы входило изучение интенсивности дыхания анадары в зависимости от массы тела и температуры воды.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследования служили разноразмерные особи анадары, собранные в 2014-2015 гг. в Керченском проливе. Длина моллюсков варьировала в пределах 15-49 мм, живая масса (со створкой) составляла от 1,26 до 39,6 г. Температура воды во время опытов изменялась в пределах 7-25 °С, соленость колебалась в незначительных пределах – 13,0-13,2 ‰.

Изучение скорости потребления кислорода моллюсками проводили методом замкнутых сосудов [1]. Перед опытом животных в течение 2 суток выдерживали в лотке с проточной водой, затем переносили в респирометры с профильтрованной морской водой. После того, как моллюски открывали створки и начинали фильтровать воду, зондом брали пробу для определения начального содержания кислорода в воде. Затем респирометры закрывали и экспонировали в течение 3-4 часов. Во время опыта вода в респирометрах перемешивалась с помощью магнитной мешалки. Содержание начального и потребленного моллюсками кислорода определяли йодометрическим методом Винклера.

Количество потребленного кислорода (R , мг $O_2 \cdot \text{час}^{-1} \cdot \text{экз.}^{-1}$) определяли по уравнению:

$$R = \frac{(R_1 - R_2)}{n \cdot t} \cdot V,$$

где R_1 и R_2 – соответственно, исходное и конечное содержание кислорода в опытном респирометре, n – число животных в опыте, t – продолжительность опыта (ч), V – объем сосуда (л). Параллельно проводили контрольные опыты, в которых определяли изменение скорости выделения кислорода без моллюсков. После завершения опыта моллюсков подвергали биологическому анализу (определяли длину животного, общую массу, массу мягких тканей, пол, стадию зрелости).

Определение сухой массы проводили на высушенных в течение трех суток мягких тканях моллюсков (W , г) при температуре 65 °С по эмпирическому уравнению:

$$W = 0,052 \cdot W_j - 0,047, r^2 = 0,918, \quad (1)$$

где W_j – общая (живая) масса моллюсков.

Величину температурного коэффициента Вант-Гоффа (Q_{10}) между двумя различными температурами определяли по формуле [1]:

$$Q_{10} = \left(R_2 / R_1 \right)^{10 / (t_2 - t_1)},$$

где R_1 и R_2 – скорости потребления кислорода моллюсками при температуре t_1 до t_2 .

Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли по общепринятым методам, с помощью компьютерной статистической программы «Statistica-10» и электронных таблиц «Excel».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение скорости потребления кислорода (R) моллюсками в зависимости от сухой массы тела в разные сезоны года показало, что, как и у других видов двустворчатых моллюсков, эти показатели тесно связаны между собой хорошо аппроксимируются степенной функцией:

$$R = a \cdot W^k,$$

где R – скорость дыхания ($\text{мг O}_2 \text{ час}^{-1} \text{экз.}^{-1}$); W – сухая масса мягких тканей тела моллюсков, (г); a – коэффициент пропорциональности, численно равный скорости потребления кислорода при W равном 1 г; k – коэффициент регрессии, характеризующий удельную скорость дыхания устриц при изменении массы тела [1, 3, 9, 16].

В двойной логарифмической системе координат эта зависимость выражается прямой линией с определенным углом наклона (рис. 1).

$$R = 0,320 \cdot W^{0,72 \pm 0,082}, r^2 = 0,793 \quad (2)$$

При повышении температуры до 25°C скорость потребления кислорода возросла и описывалась уравнением:

$$R = 0,864 \cdot W^{0,65 \pm 0,073}, r^2 = 0,813. \quad (3)$$

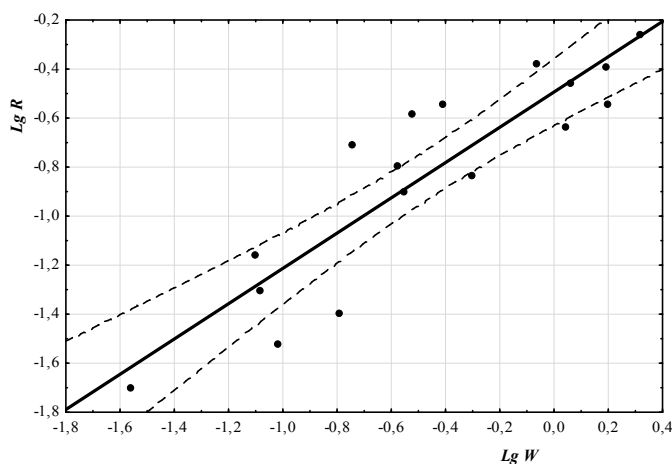


Рис. 1 Скорость дыхания анадары (R , $\text{мг O}_2 \text{ час}^{-1} \text{экз.}^{-1}$) в зависимости от сухой массы тела (W , г) в Керченском проливе ($T = 12^\circ\text{C}$, $S = 13,1\%$); штриховые линии – 95% доверительный интервал)

температуре 25°C и солёности 32% скорость дыхания этого вида выражалась следующим уравнением:

$$R = 0,583 \cdot W^{1,02}, \quad (5)$$

где R выражалась в $\text{мл O}_2 \text{ час}^{-1} \text{экз.}^{-1}$ (т. е. значение коэффициента пропорциональности составляло $0,83 \text{ мг O}_2 \text{ час}^{-1} \text{г}^{-1}$). Следует также отметить работу [21], где авторы на двух группах – мелкой (длиной $20,60 \pm 0,85$ мм и массой $4,41 \pm 2,30$ г) и крупной (длиной $34,58 \pm 2,23$ мм и массой $12,43 \pm 0,44$ г) – этого моллюска обнаружили, что с возрастанием температуры от 10 до 25°C и солёности с 20 до 40% обнаружен устойчивый положительный тренд каждой из указанных переменных. Причем скорость дыхания при начальных значениях температуры 10°C и солёности 20% в конце опыта возрастала (соответственно, при 25°C и 40%) на $0,40$ - $0,55 \text{ мг O}_2 \text{ час}^{-1} \text{г}^{-1}$. Наиболее высокая интенсивность дыхания получена японскими учеными [19], где коэффициент (a) составлял $2,33 \text{ мл O}_2 \text{ час}^{-1} \text{г}^{-1}$. Таким образом, полученные нами данные, за исключением последней работы, довольно близки с имеющимися литературными материалами.

Следует, однако, иметь в виду, что в опытах с анадарой, проведенных в других географических зонах Юго-Восточной Азии, солёность воды была значительно выше (20 - 40%), чем в наших опытах (13%), причем в работе Канг с соавт. [20] отмечалось, что с возрастанием только солёности воды с 25 до 35% скорость потребления кислорода увеличивалась на $0,4$ - $0,5 \text{ мг O}_2 \text{ час}^{-1} \text{г}^{-1}$ (в зависимости от средней массы группы).

Представляло интерес сравнить полученные нами данные с материалами других авторов. Как нами отмечалось ранее, литературные данные по дыханию этого вида отсутствуют, хотя на других видах рода *Anadara* такие данные существуют. Так, тайландские исследователи [22] нашли, что скорость потребления кислорода особями *Anadara granosa* Linn при температуре 28°C и солёности 30% описывалась уравнением:

$$R = 0,540 \cdot W^{0,604}, \quad (4)$$

где размерность R и W были такими же, как и в наших опытах.

Другие авторы [18] на близкородственном виде *Anadara similis* получили несколько иные данные. В частности, при температуре

Поскольку опыты проводились при разных значениях температуры и солености, коэффициенты пропорциональности и регрессии в полученных уравнениях существенно различались, что не допускает их строгого сравнения, но возможно лишь при равенстве константы регрессии или по величине R/W у животных одинаковой массы [1, 15]. В настоящее время для сравнения интенсивности дыхания разных экспериментальных групп широко используется формула, предложенная Бейном и Ньюеллом [16]:

$$R_{st} = \left[\frac{W_{st}}{W_e} \right]^k \cdot R_e,$$

где R_e и W_e – экспериментальное значение скорости дыхания и массы тела, R_{st} и W_{st} – стандартизованное значение скорости дыхания и массы тела, k – коэффициент регрессии, связывающий скорость потребления кислорода с массой тела при данной температуре воды.

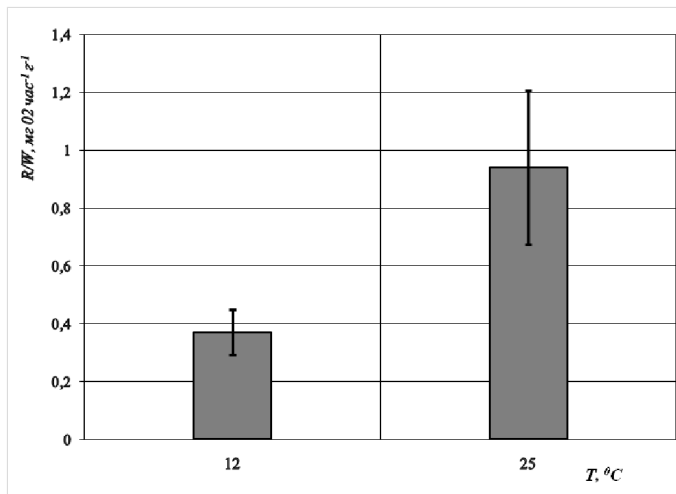


Рис. 2 Стандартизированные значения интенсивности дыхания анадары (R/W , мг O_2 час⁻¹г⁻¹) при температуре (T , °C) 12 и 25 °C; вертикальные линии – 95 % доверительный интервал

На основе этой формулы на рис. 2 приведены стандартизированные данные по интенсивности дыхания анадары с сухой массой мягких тканей, равной 1 г.

Как видно из приведенных на рис. 2 данных, у анадары между 12 и 25 °C наблюдаются весьма значительные различия в интенсивности дыхания. Анализ показал, что значение Q_{10} , указывающее, во сколько раз возрастает скорость реакции при повышении температуры воды на 10 °C, составило 2,05. Это значение хорошо соответствует материалам Г.Г. Винберга [4], который показал, что для оценки влияния температуры на скорость протекания метаболических процессов у различных гидробионтов наиболее приемлемым для использования следует считать Q_{10} , значение которого близко к величине 2,25.

ВЫВОДЫ

1. Исследованы процессы дыхания анадары (*Anadara inaequalvis*) в Керченском проливе в различные сезоны года. Показано, что скорость потребления кислорода тесно связана с массой тела и описывается степенным уравнением: $R = a \cdot W^k$.
2. Обнаружено, что с возрастанием температуры воды с 12 до 25 °C происходит значительное увеличение уровня потребления кислорода моллюсками: коэффициент пропорциональности a увеличился с 0,320 до 0,864 мг O_2 час⁻¹г⁻¹, хотя коэффициент регрессии несколько уменьшился – до 0,65.
3. Определены изменения температурного коэффициента Q_{10} анадары при температуре 12-25 °C; показано, что значение Q_{10} в указанном интервале интенсивности дыхания составляет 2,05.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. – Л.: Наука, 1981. – 248 с.
2. Анистратенко В.В., Халиман И.А. Двустворчатый моллюск *Anadara inaequalvis* (Bivalvia, Arcidae) в северной части Азовского моря: завершение колонизации Азово-Черноморского бассейна // Вест. зоологии. – 2006. – Т. 40, № 6. – С. 505-511.

3. Брайко В.Д., Дерешкевич С.С. Сезонные изменения в дыхании мидий // Экология моря. – 2003. – Вып. 64. – С. 72-77.
4. Винберг Г.Г. Температурный коэффициент Вант-Гоффа и уравнение Аррениуса в биологии // Журн. общ. биол. – 1983. – Т. 1. – С. 31-42.
5. Гербильский Н.А. Теория биологического прогресса вида и ее использование в рыбном хозяйстве // Теоретические основы рыбоводства. – М.: Пищевая промышленность. – 1972. – С. 101-111.
6. Заика В.Е. Балансовая теория роста животных. – К.: Наукова думка, 1985. – 192 с.
7. Золотарев В.Н., Золотарев П.Н. Двустворчатый моллюск *Cunearca cornea* – новый элемент фауны Черного моря // Докл. АН СССР. – 1987. – Т. 297, № 2. – С. 501-503.
8. Иванов Д.А. Аутоклиматизация промыслового моллюска *Cunearca cornea* в Керченском проливе // Биология моря. – 1991. – № 5. – С. 95-98.
9. Излева И.В. Температура среды и скорость энергетического обмена у водных животных. – К.: Наукова думка, 1981. – 232 с.
10. Седова Л.Г., Викторовская Г.И. Зависимость интенсивности обмена от репродуктивной активности морского гребешка *Mizuhopectenys soensis* (Joy) // Известия ТИНРО. – 2000. – Т. 127. – С. 469-474.
11. Фроленко Л.Н. Зообентос Азовского моря в условиях антропогенных воздействий : автореф. дис. канд. биол. наук. – Ростов-н/Д., 1996. – 22 с.
12. Фроленко Л.Н., Двинянинова О.В. Формирование биоценоза вселенца кунearки *Cunearca cornea* в Азовском море // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азовского бассейна. – Ростов-н/Д., 1998. – С. 115-118.
13. Черноморские моллюски: элементы сравнительной и экологической биохимии / под ред. Г.Е. Шульмана, А.А. Солдатов; ИНБИОМ НАН Украины. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. – 323 с.
14. Чикина М.В., Колючкина Г.А., Кучерук Н.В. Аспекты биологии размножения *Scapharca inaequalis* (Bruguière) (Bivalvia, Arcidae) в Черном море // Экология моря. – 2003. – Вып. 64. – С. 72-77.
15. Щербань С.А., Ревков П.К. Современное состояние эколого-биологических исследований двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* (Токунага, 1906) как перспективного объекта культивирования в Черном море // Промысловые беспозвоночные : матер. докл. VIII Всерос. науч. конф. по промысл. беспозвоночным (г. Калининград, 2-5 сентября 2015 г.). – Калининград: КГТУ, 2015. – С. 259-261.
16. Bayne, B.L., Newell, R.C. Physiological energetic of marine mollusks. The Mollusca // Wilburg, K.M., Saleuddin, A.S.M. (Eds.). – Acad. Press-London. – 1983. – Vol. 4. – P. 407-515.
17. Culland, C.A. The fish resources of the oceans // FAO Fish. Techn. Paper. – 1998. – No 97. – 425 p.
18. Djangmah, J.S., Davenport, J. and S.E. Shumway. Oxygen consumption of the West African blood clam *Anadara similis* // Marine Biology. – 1980. – Vol. 56. – P. 213-217.
19. Food availability for particle-feeding bivalves, *Anadara* spp. in Fiji // A.E.S. Yousef, M. Buhadi, T. Kobari, K. Kawai, T. Yamamoto, H. Suzuki, S. Nishimura, T. Tori and J. Veitayaki. – Pacific Science. – 2013. – Vol. 67, No 4. – P. 1-27.
20. Hemmingsen, A.H. Energy metabolisms related to body size and respiratory surfaces and its evolution // Rep. sten. Mem. Hosp. Nord. Insulin lab. – Copengagen. – 1960. – Vol. 9, No 2. – P. 7-100.
21. Kang, K.H., Kim, J.-M. and Y.H. Kim. Influence of water temperature and salinity on oxygen consumption and filtration rate of ark shell, *Anadara granosa bisenensis* // Korean Journal of Malacology. – 2004. – Vol. 20, No 2. – P. 107-110.
22. Nabhitabhata, J., Soodmee, Y. and S.K. Rayong. Oxygen consumption of blood cockle, *Anadara granosa* Linn // AGRIS Since. – 2012. – URL: <http://thaiagris.lib.ku.ac.th/eng> (дата обращения 15.12.2016).
23. Sahin, C., Düzgün, E. and İ. Okumu. Seasonal variations in condition index and gonadal development of the introduced blood cockle *Anadara inaequalis* (Bruguière, 1789) in the Southeastern Black Sea coast // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 2006. – Vol. 6. – P. 155-163.
24. The Potential of blood ark (*Anadara ovalis*) and Ponderous Ark (*Noetia ponderosa*) aquaculture in Florida. results of spawning, larval rearing, nursery, and grow out trials / L.N. Sturmer, J.M. Nuñez, R. L-R. Creswell, S.M. Baker // Sea grant. – 2009. – 76 p.
25. Yurimoto, T., Kassim, F.M., Man, A. and R. Fuseya. Spawning season and larval occurrence of blood cockle (*Anadara granosa*) off the Selangor coast, Peninsular Malaysia // International J. Aquatic Biol. – 2014. – Vol. 2(6). – P. 299-304.

Поступила 12.10.2016 г.

Respiration intensity of bivalve blood cockle – *Anadara inaequalvis* (Bruguière, 1789) acclimatized in the Black Sea. A. M. Zhavoronkova, A. P. Zolotnitsky. *The respiration of the bivalve blood cockle (*Anadara inaequalvis*) acclimatized in the Azov and Black Seas was investigated. It was shown that the rate of oxygen consumption (R) is closely related to body mass (W) and is described by the equation of the exponential function in the form: $R = a \cdot W^k$. Changes of the respiration rate at the water temperature from 12 to 25 °C were studied. It was discovered that with the temperature increase the respiration rate (a) of the blood cockle increases as well.*

Keywords: *Anadara inaequalvis*, oxygen consumption, respiration rate, temperature coefficient