

УДК 594.121:591.134 262

О ВЗАИМОСВЯЗИ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ И ДЫХАНИЯ ТИХООКЕАНСКОЙ УСТРИЦЫ (*CRASSOSTREA GIGAS*, THUNBERG), ИНТРОДУЦИРОВАННОЙ В АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ БАССЕЙН

Сытник Н. А., Золотницкий А. П.

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», Керчь,
Республика Крым, Россия
E-mail: zap6@mail.ru

Исследована скорость фильтрации и дыхания тихоокеанской устрицы (*Crassostrea gigas*, Thunberg) при различной температуре воды в Керченском проливе. Определены количественные параметры степенных уравнения, связывающие зависимость исследованных функций от массы тела в интервале температуры воды 5 - 19 °С. Показано, что при нижнем термическом режиме (5 – 12 °С) значение температурного коэффициента Вант-Гоффа (Q_{10}) варьирует в пределах 2,18 - 2,56, тогда как с повышением температуры (12 – 19 °С) снижается – 1,58 – 1,76. В указанном интервале температур интенсивность фильтрации и потребления кислорода возрастают, тогда как отношение F/R (индекс фильтрационной активности) варьирует в сравнительно незначительных пределах – от 5,31 до 6,06. Устойчивое соотношение интенсивности фильтрации и дыхания в ходе естественного сезонного ритма свидетельствует о компенсаторном изменении интенсивности фильтрации и метаболизма в условиях изменяющейся температуры воды.

Ключевые слова: тихоокеанская устрица, фильтрация, дыхание, интенсивность, индекс фильтрации.

ВВЕДЕНИЕ

Тихоокеанская (японская, гигантская) устрица (*Crassostrea gigas*, Thunberg) является одним из наиболее важных объектов мировой марикультуры моллюсков (конхиокультуры). Из общего объема выращивания моллюсков в 2013 г., равного 15,2 млн. тонн, наибольший удельный вес представлял этот вид [1].

Тихоокеанская устрица характеризуется широкой экологической пластичностью (эвригалинностью и эвритермностью), высоким продукционным потенциалом, определённой устойчивостью к паразитарным и инфекционным заболеваниям, а также хорошими вкусовыми качествами. В связи с перспективой акклиматизации тихоокеанской устрицы в Черном море [2, 3], которая почти в 2 раза ниже по своей солёности естественного биотопа (Японское море), представляло интерес исследовать различные аспекты жизнедеятельности этого вида в новом водоеме-реципиенте.

Несмотря на весьма значительное число работ, посвященных изучению различным аспектам жизнедеятельности тихоокеанской устрицы в Чёрном море [2 - 5], многие вопросы остались мало исследованными. Одним из таких вопросов является исследование количественной взаимосвязи процессов питания и дыхания

моллюсков, которые тесно интегрированы между собой. Известно, что получение как пищи, так и кислорода из воды осуществляется с помощью вододвижущего аппарата, основой которого является мерцательный эпителий, выстилающий жабры и околотростовые лопасти моллюска [6, 7].

Обе функции чрезвычайно важны для жизнедеятельности моллюсков, поскольку скорость фильтрации является одним из важнейших параметров, характеризующих величину скорости потребления пищи (рациона) за определенный период жизни, тогда как уровень потребления кислорода определяет метаболические траты организма, и является своеобразным отражением уровня организации животного [9, 10]. В связи с этим, изучение соотношения этих показателей позволяет получить важную информацию о величине рациона и трат энергии на этот процесс в различных экологических условиях, которые представляют, как теоретический, так и практический интерес для тихоокеанской устрицы и других видов моллюсков.

В задачу настоящей работы входило количественное исследование взаимосвязи процессов фильтрации и дыхания тихоокеанской устрицы и их изменение при различной температуре воды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования служили 200 особей, высотой 10-160 мм и живой массой (со створкой) 0,35 до 230 г., собранные лимане Донузлав Чёрного моря и доставленные в Керченский пролив. Опыты проводили при температуре 5 –19 °С и солености 13,4 – 14,6 ‰. Изучению скорости фильтрации устриц проводили в сосудах с профильтрованной морской водой после освобождения их желудочно-кишечного тракта от содержимого. В качестве корма использовали диатомовую микроводоросль *Nitzshia sp.*, со средним объемом клетки 1200 мкм³. Опыты проводили в аквариумах, объемом 2-30 дм³ (в отдельных случаях до 15 дм³), в зависимости от размера и числа особей в опыте. Фильтрационную активность моллюсков определяли непрямым методом по разнице концентрации корма в начале и конце опыта. Скорость фильтрации устриц определяли по формуле Голда [6, 9]:

$$F = \frac{\ln K_0 - \ln K_t}{n \cdot t} \cdot V$$

где F – скорость фильтрации (л/экз. час), K_0 и K_t – начальная и конечная концентрация водорослей (мг/л), V – объем сосуда (л), n – число моллюсков в опыте, t – продолжительность опыта (час.). Проведенными опытами было установлено, что оптимум фильтрационной активности при температуре 12 °С близок к концентрации 1,0 - 1,5 мг/л, которая и использовалась в наших опытах.

При статистическом анализе полученных данных использовали результаты опытов, где концентрация водорослей уменьшилась не более чем на 25 % от исходной плотности взвеси. Продолжительность опытов составляла $3 \pm 0,2$ часа, в зависимости от объема сосудов и размера моллюсков.

Изучение скорости потребления кислорода (СПК) моллюсками проводили методом замкнутых сосудов. Продолжительность опыта также составляла $3 \pm 0,2$

часа, исходная концентрация кислорода варьировала в пределах 6,4 - 8,1 мл·О₂/л. Содержание исходного и потребленного моллюсками кислорода (СПК) определяли йодометрическим методом Винклера [7]. Скорость потребленного кислорода (R , мл О₂ /час экз.) определяли по формуле:

$$R = \frac{(O_1 - O_2) \cdot V}{n \cdot t}$$

где O_1 и O_2 – соответственно, исходное и конечное содержание кислорода в опытном респирометре, n - число животных в опыте, t – продолжительность опыта (час.). При анализе материалов учитывали лишь результаты экспериментов, в которых содержание кислорода в респирометрах за время опыта снижалось не более чем на 20 % от исходной величины. Скорости фильтрации (дыхания) описывались степенной функцией:

$$F(R) = F_1(R_1) \cdot W^{n(m)},$$

где $F(R)$ – соответственно, сухая масса тела и искомая функция (фильтрация или дыхание), $F_1(R_1)$ и $n(m)$ - коэффициенты пропорциональности и регрессии. После завершения опыта моллюсков подвергали биологическому анализу (определяли длину животного, общую массу, массу мягких тканей, пол, стадию зрелости). Сухую массу тканей определяли путём высушивания её в течение 3-х суток мягких тканей моллюсков (W , г) при температуре 65 °С. Значение температурного коэффициента Вант-Гоффа (Q_{10}), указывающего во сколько раз возрастает скорости фильтрации и дыхания и определяли по формуле:

$$Q_{10} = (V_2/V_1)^{10/(t_2-t_1)},$$

где V_1 и V_2 – скорости физиологических реакций за интервал температур от t_1 до t_2 .

Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли по общепринятым методам, с помощью компьютерной статистической программы «Statistica-10» и электронных таблиц «Excel-2007».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фильтрационная активность тихоокеанской устрицы. Изучение скорости фильтрации устриц в зависимости от массы тела в исследованном районе показало, что, как и у других видов двустворчатых моллюсков [6, 9, 11, 12] этот показатель тесно связан с массой тела и хорошо аппроксимируются степенной функцией:

$$F = F_1 \cdot W^n \quad (1)$$

где F – скорость фильтрации (л/ час экз.), W – масса тела, выраженная в сухом веществе (г), F_1 – интенсивность фильтрации (л/час·г) n – коэффициент регрессии, характеризующий изменение фильтрационной активности в зависимости от массы тела. На рис. 1 приведена связь скорости фильтрации тихоокеанской устрицы в зависимости от сухой массы тела при температуре 5 °С и солёности ($S = 14,6 ‰$) в Керченском проливе, которая выражается уравнением:

$$F = (1.43 \pm 0.095) \cdot W^{0.48 \pm 0.068}, n = 24, R^2 = 0,763 \quad (2)$$

При возрастании температуры воды фильтрационная активность существенно возрастает, о чём свидетельствует заметное увеличение коэффициента пропорциональности F_1 (л/час·г). Параметры уравнения, связывающих скорость

фильтрации (F) и сухой массой тела (W) тихоокеанской устрицы при различной температуре воды приведены в таблице 1.

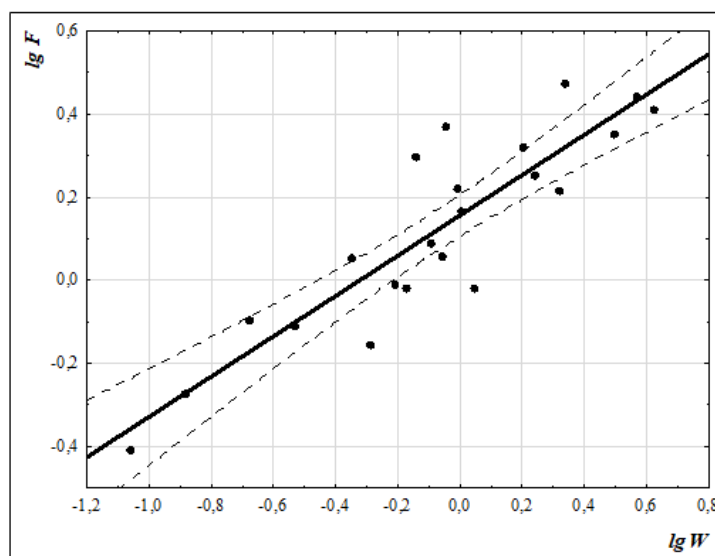


Рис. 1. Зависимость скорости фильтрации (F, л/час·экз) от сухой массы тела (W, г) устриц, T = 5 °C, S = 14,6 ‰ (масштаб логарифмический, штриховые линии – 95% доверительный интервал).

Таблица 1.

Параметры уравнения связи между скоростью фильтрации (F, л/ч·экз.) и сухой массой тела (W, г) у тихоокеанской устрицы при различной температуре воды*

Период работ (T, °C)	N	W	F _l	S _F	n	S _n	R ²
ноябрь (5)	24	0,09-4,21	1,43	0,095	0,48	0,068	0,763
март (12)	24	0,16-2,81	2,73	0,141	0,52	0,075	0,748
июнь (19)	23	0,16-2,98	3,81	0,222	0,60	0,078	0,809

*N – число особей в опыте, W – предельные значения сухой массы моллюсков в опыте, S_F – стандартная ошибка F_l, S_n – стандартная ошибка n; R² – коэффициент детерминации.

Полученные данные по фильтрации устриц достаточно близки с материалами, приведенными в статьях других авторов на этом и других видах двустворчатых

моллюсков [13 – 15]. Так, в работе Гердеса [13], исследовавшей влияние разной плотности альгофлоры (от 100 до $50 \cdot 10^6$ кл/л) было показано, что при 20 °С у тихоокеанской устрицы зависимость скорости фильтрации (при концентрации $100 \cdot 10^6$ кл/л) от сухой массы тела описывается уравнением:

$$F = 2,7 \cdot W^{0,73} \quad (3)$$

В то же время, при снижении плотности фитопланктона фильтрационная активность возрастала и при $50 \cdot 10^6$ кл/л она достигала до 5,5 л/час экз. Близкие к этим данным были получены А.В. Кучерявенко (1985) при исследовании питания тихоокеанской устрицы. Им было обнаружено, что этого вида интенсивность фильтрации близка к 5 л/час на 1 г сухой массы. Аналогичные данные были обнаружены французскими исследователями [14] - авторами показано, что в интервале температур 5 – 25 °С интенсивность фильтрации (F_1) варьировала в пределах 2,17 – 4,92 л/час.экз.

Интенсивность дыхания тихоокеанской устрицы. Параллельно с изучением фильтрационной активности нами были проведены опыты по изучению скорости потребления кислорода (дыхания) тихоокеанской устрицы. Было обнаружено, что зависимость скорости дыхания (R) от сухой массы тела (W) в разные сезоны года также хорошо аппроксимируется аналогичным степенным уравнением (1). Параметры уравнения связи между этими показателями в исследуемом районе в разные сезоны года приведены в таблице 2.

Таблица 2.
Параметры уравнения связи между скоростью потребления кислорода (R) и сухой массы тела (W) тихоокеанской устрицы при различной температуре воды *

Период работ, (Т, °С)	N	W	R_1	S_R	m	S_m	R^2
ноябрь (5)	19	0,11-4,69	0,255	0,037	0,658	0,024	0,78 5
март (12)	21	0,18-3,82	0,452	0,075	0,791	0,027	0,83 4
июнь (19)	20	0,12-3,12	0,667	0,11	0,704	0,048	0,79 1

*N – число особей в опыте, W – пределы индивидуальной сухой массы моллюсков в опыте, S_R - стандартная ошибка R_1 , S_m - стандартная ошибка m ; R^2 - коэффициент детерминации.

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что с изменением температуры воды скорость потребления кислорода устрицами заметно изменяется и характеризуется аналогичным трендом, что и скорость фильтрации. Наиболее низкая интенсивность дыхания у моллюсков зарегистрирована при 5 °С:

$$R = (0,255 \pm 0,037) \cdot W^{0,658 \pm 0,24}, n=21, R^2 = 0,785 \quad (4)$$

С повышением температуры воды наблюдалось устойчивое возрастание его значений (табл. 2). Полученные данные хорошо соответствуют материалам, полученных другими авторами. Например, в работе Гердеса [16], показано, что при температуре воды 20 °С скорость потребления кислорода в зависимости от сухой массы тела описывалась уравнением:

$$R = 0,645 \cdot W^{0,77} \quad (5)$$

Близкие результаты получены в работах других авторов на этом виде [14, 17, 18], которые показали, что скорость дыхания в зависимости от массы тела у тихоокеанской устрицы в интервале температур 5 - 25 °С варьирует от 0,281 до 4,14 мг O₂/час·г. Аналогичные данные были получены и другими авторами [11, 17, 18].

В то же время из таблиц 1 и 2 видно, что в зависимости от сезона года значения параметров F_I (R_I) и n (m) также существенно изменялись: с повышением температуры воды происходило заметное возрастание не только коэффициента пропорциональности F_I (R_I), но и существенное варьирование коэффициента регрессии n (m). Это обусловлено тем, что опыты по влиянию температуры на фильтрационную активность и скорость потребления кислорода проводились на особях разного размера и массы, а также различных значениях температуры, что и обусловило разные значения коэффициентов пропорциональности и регрессии полученных уравнений. Сравнение интенсивности физиологических функций возможно лишь при равенстве констант m (n) или по величине удельного значения (F/W и R/W) животных одинаковой массы [6, 10].

Для оценки взаимосвязи интенсивности питания и дыхания при разных температурных условиях было необходимо привести корректировку значений F и R . Для этого в настоящее время широко используется следующее уравнение [10, 19]:

$$Y_{st} = Y_e \cdot \left[\frac{X_{st}}{X_e} \right]^n$$

где Y_{st} и Y_e – стандартизированное и экспериментальное значение исследуемой функции (в данном случае F или R); X_{st} и X_e – стандартизированное и экспериментальное значение аргумента (стандартизированное значение масса тела обычно принимается равной 1 г); n (m) – коэффициент регрессии, связывающий скорость физиологического процесса с определённой массой тела при данной температуре воды. После нормировки и преобразования исходных данных были рассчитаны значения интенсивности фильтрации (I_F) и дыхания (I_R) для каждой опытной группы. Обнаружено, что после нормировки интенсивность фильтрационной активности (I_F) в интервале температур 5, 12 и 19 °С составляло 1,46, 2,84 и 3,91 л/час·г, тогда как интенсивность потребления кислорода (I_R) при указанных выше температурах была, соответственно, 0,275, 0,469 и 0,698 мл O₂/час·г.

Значение коэффициента Вант-Гоффа (Q_{10}) при исследованных температурных режимах показало, что интенсивность фильтрации в интервале 5 – 12 °С составляла 2,56, а при 12 до 19 °С величина его уменьшилась до 1,58. Соответственно, при анализе интенсивности дыхания величина Q_{10} при температуре от 5 до 12 °С составила 2,18, а при ее возрастании с 12 до 19 °С снизилась до 1,76.

Обсуждение результатов. На основе полученных данных мы попытались исследовать связь между интенсивностью дыхания и фильтрации при различной температуре воды. Из представленного рис. 2 видно, что с возрастанием температуры воды в интервале 5 - 19 °С отношение I_F к I_R устойчиво возрастало и связь между ними можно описать линейным уравнением.

$$I_F = 5,76 \cdot I_R - 0,03, R^2 = 0,98 \quad (6)$$

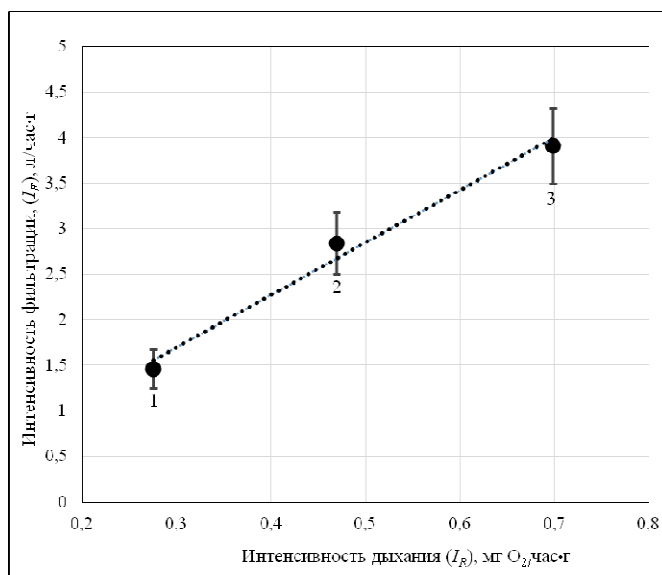


Рис. 2. Связь между интенсивностью фильтрации (I_F , л/час) и дыханием (I_R , мл· O_2 /час) у тихоокеанской устрицы при различной температуре воды – 5 °С (1), 12 °С (2), 19 °С (3) (вертикальные линии – 95 % доверительный интервал)

Таким образом, в пределах биокинетической зоны при увеличении температуры воды параллельно с повышением интенсивность дыхания достаточно синхронно возрастает и интенсивность фильтрации. Отрицательное значение свободного члена этого уравнения указывает на небольшое снижение I_F по мере возрастания I_R . Следовательно, при увеличении скорости дыхания на 1 мл O_2 интенсивность фильтрации тихоокеанской устрицы в среднем возрастала до 5,76 л/час. В то же время, при сравнительном количественном анализе индекса фильтрации ($I = F/R$) тихоокеанской устрицы можно видеть, что его значение хотя и варьирует, но в сравнительно небольших пределах: 5,31 – 6,06 л/мл O_2 , в среднем несколько меньше, чем в формуле (6), составляя 5,66 л/ мл O_2 (рис. 3).

Представляло интерес сравнить полученные нами материалы с результатами других исследователей на этом виде моллюска. Данные Гердеса [13, 16], полученные на тихоокеанской устрице свидетельствуют, что при температуре 20 °С значения F/R близки к 3,85. Близкие к этим получены материалы Бугрие с соавт. [14] – 4,4 и Барилла с соавт. [17], где F/R варьировал в пределах 4,3 – 6,2. Лишь в

работе Солечника с соавт. [19] значения индекса фильтрации были заметно ниже – 1,0 – 1,2. Таким образом, в большинстве исследований по тихоокеанской устрице, кроме последней работы, достаточно близки к нашим данным.

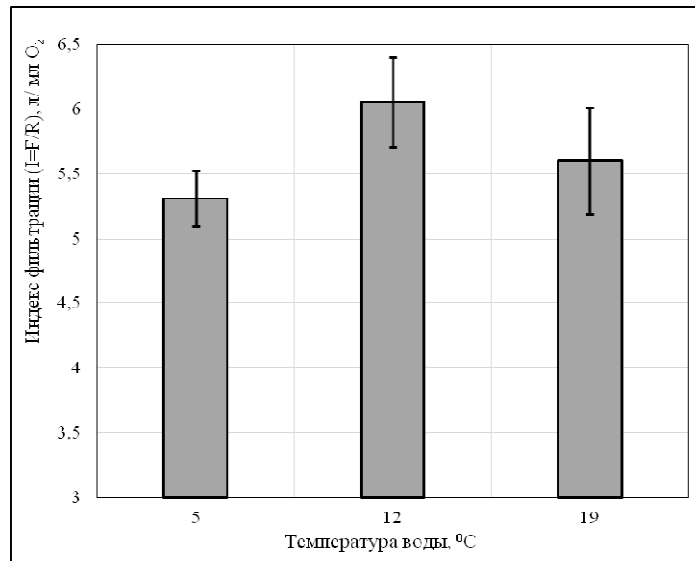


Рис. 3. Сравнительная характеристика индекса фильтрации (F/R) тихоокеанской устрицы при различной температуре воды

Необходимо отметить, что данную работу проводили в Керченском проливе, где солёность воды в среднем на 4 ‰ ниже, чем в открытой части Чёрного моря (17 – 18 ‰). Возможно, что некоторое повышение индекса фильтрации в этом районе связано с осмотической и ионной регуляцией водного обмена тихоокеанской устрицы. Хотя этот вид устриц и является эвригалинным организмом, т.е. осуществляет гиперосмотическую регуляцию и поддерживает концентрацию солей в теле на более высоком уровне, чем в новой среде обитания, снижение солёности обуславливает необходимость определённых трат энергии на поддержание водно-солевого баланса организма. Следовательно, чем больше разница осмотического давления в среде и теле устриц, тем энергичнее приходится выводить им поступающую внутрь тела воду. Поэтому часть энергии потреблённой пищи, которая должна расходоваться на рост и синтез генеративной ткани организма, идет на стабилизацию тоничности внутренней среды организма [21].

Теоретическим аспектам взаимосвязи интенсивности фильтрации и дыхания других видов моллюсков также посвящено и ряд других работ Так, Иоргенсен [9], показал, что индекс фильтрации (конвекции) у устриц, морского гребешка и асцидий варьирует от 2 до 20 и зависит от различных экологических – парциального давления кислорода (pO_2), степени накормленности животных, концентрации пищи и генетических факторов - размера тела, уровня энергетического обмена и ряда других факторов, часто неучтёнными условиями среды. Например, в результате

работ, проведенной на жемчужнице (*Pinctada fucata*) было обнаружено, что F/R изменялся от 4,0 до 4,8 [22], у мидий – *Mytilus californianus* и *Perna perna* индекс фильтрации (конвекции) колебался вблизи 4-х [12, 23], а у плоской устрицы в пределах 4,41 - 4,82 л/мл O_2 [24].

В то же время другие авторы приводили более высокие значения этого коэффициента. Например, Валь [24] показал, что у кардиума (*Cardium edule*) соотношение F/R колеблется между 5 и 10, а Юкихира с соавт. [26] определили, что у жемчужницы (*Pinctada maxima*) значение индекса фильтрации может достигать 10 – 12 л/мл O_2 . Следовательно, в большинстве работ значение индекса фильтрации - F/R , как правило, не превышает 10 л/мл O_2 .

Таким образом, с возрастанием температуры интенсивность фильтрации (I_F) и потребления кислорода (I_R) возрастают, тогда как отношение F/R (индекс фильтрации или конвекции) для каждой из исследованных температур варьирует в незначительных пределах – от 5,31 до 6,06. Сравнительно устойчивое соотношение интенсивности фильтрации и дыхания в ходе естественного сезонного ритма свидетельствует о компенсаторном изменении интенсивности фильтрации и метаболизма в условиях изменяющейся температуры воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследовано влияние массы тела и температуры воды на скорость фильтрации и дыхания тихоокеанской устрицы. Показано, что в пределах биокинетической зоны с возрастанием температуры воды происходит увеличение скорости этих физиологических процессов.
2. Показано, что при повышении температуры с 5 до 12 °С температурный коэффициент (Q_{10}) для фильтрации и дыхания, соответственно, составляет 2,56 и 2,12, тогда как в интервале 12 - 19 °С он снижается до 1,58 и 1,76.
3. Обнаружено, что соотношение между интенсивностью фильтрации и дыхания у тихоокеанской устрицы (F/R) при изменении температуры воды от 5 до 19 °С колеблется в незначительных пределах и составляет 5,31 – 6,06.
4. Сравнительно устойчивое значение индекса фильтрационной активности (F/R) в ходе естественного сезонного ритма изменений температуры воды свидетельствует о достаточно близкой синхронности изменений скорости фильтрации и метаболизма у тихоокеанской устрицы.

Список литературы

1. ФАО. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры в 2012 г. – Рим, 2013. – 237 с.
2. Золотницкий А.П. Биологические основы культивирования промысловых двустворчатых моллюсков (*Bivalvia*, *Mytiliformes*) в Черном море: автореф. дисс....докт. биол. наук. – К.: Институт гидробиологии. - 2004. – 39 с.
3. Холодов В. И. Выращивание мидий и устриц в Черном море / В. И. Холодов, А. В. Пиркова, Ладыгина Л. В. // Институт биологии южных морей НАНУ (ред. акад. В.Н. Еремеев). – Севастополь, 2010. – 424 с.
4. Раков, В. А. Биологические основы культивирования тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* в заливе Петра Великого / Автореф. дисс...канд. биол. наук. – Владивосток, 1984. – 24 с.

5. Кучерявенко, А.В. Расчет потенциальных возможностей устричного хозяйства в бухте Новгородской Японского моря / А.В. Кучерявенко // Биол. моря. – 1985. – №1. – С. 52-62.
6. Алимов, А. Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков / А. Ф. Алимов. - Л.: Наука, 1981. – 248 с.
7. Ивлева И. В. Температура среды и скорость энергетического обмена у водных животных / И. В. Ивлева. – К.: Наук. думка, 1981. - 232 с.
8. Алимов, А. Ф. Продукционная гидробиология/ А. Ф. Алимов, В.В. Богатов, С.М. Голубков// М.: Наука, 2013. – 340 с.
9. Jorgensen C. В. Biology of suspension feeding/ С. В. Jorgensen. - Pergamon Press, Oxford, 1966. - 357 p.
10. Bayne, В. L., Comparisons of measurements of clearance rates in bivalve mollusks/ В. L. Bayne// Mar. Ecol. Prog. Ser., 1983. – V. 276. - P. 305–306.
11. Haure J. Etude comparative des caractéristiques écophysiologicalues et des performances de croissance de l'huître creuse *Crassostrea gigas* diploïde et triploïde en milieu contrôlé/ J. Haure, A. Fortin, B. Dupuy, M. Nourry, H. Palvadeau, M. Papin, C. Pénisson et J.L. Martin // Ifremer. Laboratoire Conchylicole des Pays de Loire Polder des Champs 85230 Bouin. - 2001. – 39 p.
12. Gosling, E. Bivalve Molluscs: Biology, Ecology and Culture/ E. Gosling. - Fish. News Books, Oxford, 2003. - 443 p.
13. Gerdes, D. The pacific oyster *Crassostrea gigas*. Part.1. Feeding behaviour of larve and adults. Aquaculture. – 1983a. - 31. - P. 63 -70.
14. Bougrier, S. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg) / S. Bougrier, P. Geairon, J.M. Deslous-Paoli, C. Bacher, G. Jonquieres // Aquaculture. – 1995. - V. 134. - № 1-2. - P. 143-154
15. Enríquez-Díaz, M. R. Variabilité et bioénergétique de la reproduction chez l'huître creuse *Crassostrea gigas*/ Enríquez-Díaz M. R. // Thèse de doctorat l'Université de Bretagne Occidentale. - 2004. – 194 p.
16. Gerdes, D. The pacific oyster *Crassostrea gigas*. Part. 2. Oxygen consumption of larvae and adults / D. Gerdes // Aquaculture. – 1983b. –V 31. P.195-219.
17. Barille, L. Finding new diatoms for intensive rearing of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*): energy budget as a selective tool / L. Barille, J. Haure, E. Pales-Espinosa, M. Moranchais // Aquaculture. - 2003. – V. 217. – P. 501-514.
18. Bougrier, S. Respiratory time activity of the Japanese oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg)/ S. Bougrier, B. Collet, P. Geairon, O. Geffard, M. Heral, J.M. Deslous-Paoli // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. – 1998. - V. 219. - № 1-2. - P. 205-216.
19. Soletchnik, P. Ecophysiology de la maturation sexuelle et de la ponte de l'huître creuse *Crassostrea gigas*: reponses metaboliques (respiration) et alimentaires (filtration, absorption) en fonction des differents stades de maturation / P. Soletchnik, D. Razet, P. Geairon, N. Faury, P. Gouletquer // Aquat. Living Resour. Ressour. Vivantes Aquat. – 1997. – V.10. – № 3. – P.177-185.
20. Константинов А.С. Общая гидробиология / А.С. Константинов. - М.: Высш. школа, 1972. – 472 с.
21. Mondal, S. K., 2006. Effect temperature and body size of food utilization in the marine pearl oyster *Pinctada fucata* (Bivalve: Pteridae)/ S. K., Mondal// Ind. J. Mar. Sci. - 2006. V. 35. № 1. – P. 43-49.
22. Enríquez-Ocaña, L. F. Evaluation of the combined effect of temperature and salinity on the filtration, clearance rate and assimilation efficiency of the mangrove oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) / L. F. Enríquez-Ocaña, M. Nieves-Soto, P. Piña-Valdez, L. R. Martinez-Cordova and M.A. Medina-Jasso// Arch. Biol. Sci. - 2012. – V. 64 (2). – P. 479-488.
23. Resgalla, J. R. Brasil C. L, S. L. Salomão., 2006. Physiological rates in different classes of sizes of *Perna perna* (Linnaeus, 1758) submitted to experimental laboratory conditions/ Resgalla, J. R. Brasil C. L, S. L. Salomão// Braz. J. Biol. - 2006. – V.66 (1 B). P. 325-336.
24. Сытник, Н.А. О соотношении процессов фильтрации и дыхания у плоской устрицы (*Ostrea edulis* L.) при различной температуре воды / Н.А. Сытник, А.П. Золотницкий // Гидробиол. журн. – 2014. – Т. 50, № 2. – С. 98-105.
25. Vahl, O. Porosity of the gill, oxygen consumption and pumping rate in *Cardium edule* (L.) (Bivalvia)/ O. Vahl // Ophelia, 1973. – V. 10. – P. 109-118.

26. Yukihiro, H. Comparative effects of temperature on suspension feeding and energy budgets of the pearl oysters *Pinctada margaritifera* and *P. maxima*/ H. Yukihiro, J.S. Lucas, D.V. Klumpp// Mar. Ecol. Prog. Ser., 2000. - V. 195. - P. 179-188.

**ON THE RELATIONSHIP BETWEEN FILTRATION AND RESPIRATION
PROCESSES OF THE PACIFIC OYSTER (*CRASSOSTREA GIGAS*,
TUHUNBERG), INTRODUCED INTO THE AZOV-BLACK SEA BASIN**

Sytnik N. A., Zolotnitsky A. P.

*FGBOU HE «Kerch State Marine Technological University», Kerch, Crimea, Russia
E-mail: zap6@mail.ru*

The processes of filter feeding (F) and respiration (R) of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*, Thunberg) in the context of its acclimatization to the conditions in the Kerch Strait of the Azov and Black Sea Basin have been studied. It is shown that rates of these processes, depending on dry body weight, are described by exponential function: $F(R) = F_1 (R_1) \cdot W^{n(m)}$. It was found out that, with water temperature increase from 5 to 19 °C, the factor of proportionality (F_1) was increasing from 1.43 to 3.81 l/hour·g, while regression coefficient (n) varied in the range of 0.48–0.60. When respiration was studied, the value of R_1 under the specified temperatures changed in similar fashion: its value was increasing from 0.255 to 0.667 ml O₂/hour·g, when regression coefficients were 0.658–0.791. Based on the obtained data, normalization of the primary data was performed, and values of filter feeding intensity (I_F) and respiration intensity (I_R) were calculated as per 1 g of dry body weight. It is shown that, in case of temperature increase from 5 to 12 °C, the temperature coefficient (Q_{10}) of filter feeding intensity was 2.56, while in the range of 12–19 °C, the value of Q_{10} decreased to 1.58. Accordingly, when respiration intensity in the temperature range from 5 to 12 °C was analyzed, the Q_{10} value was 2.18, and, when the temperature range was 12–19 °C, the Q_{10} value decreased further down to 1.76. Comparative analysis of changes in I_F and I_R has shown that, with water temperature increase, dependence between these two variables is described by a linear function. Simultaneously, analysis of individual values of filter feeding index ($I_n = F/R$) showed only minor variations throughout the studied temperature range; it varied from 5.31 to 6.06 l/ml O₂. Relatively stable correlation of filter feeding intensity and respiration intensity in the course of natural seasonal rhythm is indicative of compensatory change in filter feeding intensity and metabolic rate under the condition of changing water temperature.

Keywords: Pacific oyster, filter feeding, respiration, intensity, filter-feeding index.

References

1. FAO. The state of world fisheries and aquaculture in 2012, 237 (Rome, 2013).
2. Zolotnitsky A.P. Biological bases of cultivation of commercial bivalve mollusks (Bivalvia, Mytiliformes) in the Black Sea, D thesis Institute of Hydrobiology, 39 (Kiev, 2004).

3. Kholodov V.I., Pirkova A.V., Ladygina L.V. *Cultivation of mussels and oysters in the Black Sea*, of Red. V. N. Eremeev, NAS of Ukraine, Institute of biology of south seas, of NAS of Ukraine, 424 (Sevastopol, 2010).
4. Rakov V.A. Biological bases of cultivation of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in the Peter the Great Bay, PhD thesis Institute of Marine Biology, 24 (Vladivostok, 1984).
5. Kucheryavenko A.V. Calculation of potential opportunities for oyster farming in the bay of the Novgorod Sea of Japan Sea, *Biol. Sea*, **1**, 52 (1985).
6. Alimov A.F. *Functional ecology of freshwater bivalve molluscs*, 248 (Nauka, Leningrad, 1981).
7. Ivleva I.V. *The temperature of the medium and the rate of energy metabolism in aquatic animals*, 232 (Naukova dumka, Kiev, 1981).
8. Alimov A.F., Bogatov V.V., Golubkov S.M. *Productive hydrobiology*, 340 (Nauka, Moscow, 2013).
9. Jorgensen S. B. Biology of suspension feeding, 357 (Pergamon Press, Oxford, 1966).
10. Bayne B. L., Comparisons of measurements of clearance rates in bivalve mollusks, *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **276**, 305 (1983)
11. Haure, J., Fortin, B. Dupuy, M. Nourry, H. Palvadeau, M. Papin, C. Pénisson et J.L. Martin Etude comparative des caractéristiques écophysiologiques et des performances de croissance de l'huître creuse *Crassostrea gigas* diploïde et triploïde en milieu contrôlé, *Ifremer. Laboratoire Conchylicole des Pays de Loire Polder des Champs*, Bouin, (2001).
12. Gosling E. *Bivalve Molluscs: Biology, Ecology and Culture* (Fish. News Books, Oxford, 2003).
13. Gerdes D. The pacific oyster *Crassostrea gigas*. Part.1. Feeding behaviour of larve and adults, *Aquaculture*, **31**, 63 (1983a).
14. Bougrier S., Geairon P., Deslous-Paoli J.M., C. Bacher, Jonquieres G. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg), *Aquaculture*, **134**, 1-2., 143 (1995).
15. Enríquez-Díaz M. R. Variabilité et bioénergétique de la reproduction chez l'huître creuse *Crassostrea gigas*, Thèse de doctorat l'Université de Bretagne Occidentale, 194 (2004).
16. Gerdes D. The pacific oyster *Crassostrea gigas*. Part. 2. Oxygen consumption of larvae and adults, *Aquaculture*, **31**, P. 195 (1983b).
17. Barille, L. Haure, E. Pales-Espinosa, Moranchais M. Finding new diatoms for intensive rearing of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*): energy budget as a selective tool, *Aquaculture*, **217**, 501 (2003).
18. Bougrier S. Collet B., Geairon P., Geffard O., Heral M., Deslous-Paoli J.M. Respiratory time activity of the Japanese oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg), *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **219**, 1-2, 205 (1998).
19. Soletchnik P., Razet D., Geairon P., Faury N., Gouletquer P. Ecophysiologie de la maturation sexuelle et de la ponte de l'huître creuse *Crassostrea gigas*: reponses metaboliques (respiration) et alimentaires (filtration, absorption) en fonction des differents stades de maturation, *Aquat. Living Resour. Ressour. Vivantes Aquat.*, **10**, 3, 177 (1997).
20. Konstantinov A.S. *General Hydrobiology*, 472 (Higher school, Moscow, 1972).
21. Mondal S. K. Effect temperature and body size of food utilization in the marine pearl oyster *Pinctada fucata* (Bivalve: Pteridae Ind), *J. Mar. Sci.*, **35**, 1, 43 (2006)
22. Enríquez-Ocaña L. F., Piña-Valdez P., Martínez-Cordova L. R. and M.A. Medina-Jasso. Evaluation of the combined effect of temperature and salinity on the filtration, clearance rate and assimilation efficiency of the mangrove oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951), *Arch. Biol. Sci.*, **64** (2), 479 (2012).
23. Resgalla J. R., Brasil C. L., Salomão S. L. Physiological rates in different classes of sizes of *Perna perna* (Linnaeus, 1758) submitted to experimental laboratory conditions, *Braz. J. Biol.*, **66** (1), 325 (2006).
24. Sytnik N.A., Zolotnitsky A.P. On the ratio of filtration and respiration processes in a flat oyster (*Ostrea edulis* L.) at different water temperatures, *Hydrobiol. Jour*, **50**, 2, 98 (2014).
25. Vahl O. Porosity of the gill, oxygen consumption and pumping rate in *Cardium edule* (L.) (Bivalvia), *Ophelia*, **10**, 109 (1973).
26. Yukihiro H., Lucas J.S., Klumpp D.V. Comparative effects of temperature on suspension feeding and energy budgets of the pearl oysters *Pinctada margaritifera* and *P. maxima*, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **195**, 179 (2000).