

БИОЛОГИЯ, МОРФОЛОГИЯ  
И СИСТЕМАТИКА ГИДРОБИОНТОВ

УДК 594.124:639.4(262.5)

УСТОЙЧИВЫЕ РАЗЛИЧИЯ В ТЕМПАХ РОСТА МОЛОДИ  
ТРИПЛОИДНОЙ УСТРИЦЫ *Crassostrea gigas* Thunberg (Osteidae)

© 2023 г. О. Ю. Вялова\*

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Российской академии наук, Севастополь, Россия

\*e-mail: vyalova07@gmail.com

Поступила в редакцию 05.11.2022 г.

После доработки 27.03.2023 г.

Принята к публикации 18.05.2023 г.

Исследованы три группы моллюсков триплоидной тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* из лимана Донузлав (Черное море), различающиеся морфометрическими характеристиками: быстрорастущие (FG) с высотой раковины >40 мм, среднерастущие (MG) с размерами 15–40 мм и медленно растущие (SG) – <15 мм. Выявлены устойчивые различия в темпах роста молоди одного возраста. Моллюски группы FG лидировали по приросту массы и линейных размеров на протяжении всего исследования. Среднесуточный прирост высоты раковины у исследованных моллюсков варьировал от 0.1 до 0.35 мм/сут, с максимальными значениями в июне и сентябре. Увеличение массы происходило с разной интенсивностью, в среднем у SG – 0.051 г/сут, у MG – 0.168 г/сут, у FG – 0.287 г/сут. Максимумы этого показателя приходились на август и сентябрь, достигая 0.12, 0.26 и 0.43 г/сут соответственно. Получена отрицательная аллометрия раковины по высоте у медленно растущих полиплоидных устриц ( $b = 2.17$ ), у остальных двух других групп – четкая положительная (для MG  $b = 3.23$ , для FG  $b = 3.80$ ), т.е. увеличение массы происходило быстрее линейного роста у молоди вида. Высказано предположение о полиплоидии (триплоидности) как причине возникновения различий темпов роста одновозрастных моллюсков. Показатель аллометрии  $b$  может применяться для выявления ростовых особенностей на ранних этапах развития устриц.

**Ключевые слова:** устрицы *Crassostrea gigas*, триплоиды, рост, Черное море

**DOI:** 10.31857/S0320965223060347, **EDN:** LXGDHF

## ВВЕДЕНИЕ

Двустворчатые моллюски характеризуются высокой индивидуальной вариабельностью темпов роста. На интенсивность ростовых процессов оказывает влияние ряд абиотических факторов (температура, соленость, пища и т.д.), который достаточно хорошо изучен. Особый интерес представляют различия в росте среди особей одного вида и одного возраста, находящихся в одних и тех же условиях обитания. Такое явление наблюдается и в природных популяциях двустворчатых моллюсков, и при их искусственном разведении (Batista et al., 2007; Tamayo et al., 2011, 2013, 2014; Teixeira de Sousa et al., 2011; Вялова, 2019). Наследуемость потенциала быстрого роста – основа селекции культивируемых двустворчатых моллюсков (Nell, 2002; Pace et al., 2006; Francis Pan et al., 2015; Reynaga-Franco et al., 2019). Исследования устриц *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) показали, что скорость метаболизма и индекс насыщенности мембранных липидов отражаются

на темпах роста (Pernet et al., 2008). Австралийские специалисты считают, что различия в росте между особями скальной устрицы *Saccostrea commercialis* (Iredale & Roughley, 1933) также могут быть обусловлены разными уровнями потребления и распределения энергии на физиологические процессы (Wayne, 2000).

Несколько лет назад специалистами в области марикультуры были выведены триплоидные устрицы, которые в отличие от диплоидных стерильны и не размножаются. В настоящее время 99% выращиваемых на морских фермах устриц – триплоидные. Триплоидные организмы обладают рядом преимуществ, они характеризуются высокой скоростью линейного роста, скоростью накопления массы, степенью выживаемости, устойчивостью к различным заболеваниям и негативным внешним факторам (Nell, 2002; Mallia et al., 2006; Vialova, 2020). Для триплоидных моллюсков свойственно накапливать дополнительные запасы гликогена, что заметно улучшает их пищевую ценность и вкусовые качества (Mallia et al., 2006), и делает полиплоидные организмы привлекательными объектами для коммерческого выращивания. Среди двуствор-

**Сокращения.** FG – быстрорастущие моллюски; MG – среднерастущие; SG – медленно растущие.

чатых моллюсков в промышленных масштабах выращивают триплоидов следующих устриц: тихоокеанская *Crassostrea gigas*, восточная *C. virginica*, сиднейская скальная *Saccostrea glomerata* (или *S. commercialis*), европейская плоская *Ostrea edulis* (L., 1758), а также – морское ушко *Haliotis laevis* (Donovan, 1808) и *H. rubra* (Leach, 1814) клэмс *Tapes dorsatus* (Lamarck, 1818) (Nell, 2002; Liu et al., 2008), гребешок *Argopecten irradians* (Lamarck, 1819) (Cogswell et al., 2006). Выявление моллюсков с высоким потенциалом роста на ранних этапах развития имеет большое значение для целей маркировки.

Цель работы – определить внешние морфометрические признаки быстро и медленно растущих триплоидных молодых устриц, выращиваемых в лимане Донузлав.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Лиман Донузлав – полузакрытый залив Черного моря, расположенный на западном побережье Крымского п-ова. Данная акватория отличается стабильными гидрологическими и гидрохимическими характеристиками. Соленость сохраняется на уровне 17.2–18.2‰, среднегодовое содержание растворенного в воде кислорода изменяется в пределах 8.77–9.40 мг/л, насыщение кислородом не опускается ниже 90%, сезонная динамика содержания биогенных элементов и их соотношение определяются природными факторами. Это характерно для природных вод, не подверженных значительной антропогенной нагрузке (Жугайло и др., 2018).

Объектом исследования послужила молодь триплоидной устрицы *Crassostrea gigas* возрастом 3 мес, полученная искусственным путем в условиях европейского питомника. В конце апреля 2017 г. моллюски были высажены в море на морской ферме, расположенной в лимане Донузлав (45°24'13.07" с.ш., 33°08'18.03" в.д.). Устриц содержали в пластиковых садках 0.5 × 1.00 × 0.2 м с плотностью 350 экз./м<sup>2</sup>. Глубина размещения садков – 1.5–2 м от поверхности моря.

Моллюсков ежемесячно обследовали: оценивали смертность, определяли общую со створкой массу ( $W$ , г) и линейные размеры ( $H$ , мм – высоту,  $L$ , мм – длину) каждой особи. За высоту принимали расстояние между самыми крайними точками раковины, от замка до края глубокой створки; за длину – максимальный линейный размер, перпендикулярный высоте раковины. В период наблюдений температура морской воды была минимальной в апреле и ноябре (13.2°C), в летние месяцы (июль–август) достигала 25–26°C. Соленость воды находилась в пределах 17.5–18.2‰.

На основе полученных результатов рассчитывали аллометрическое соотношение массы и высоты раковины:

$$W = aH^b,$$

где  $a$  – коэффициент детерминации,  $b$  – степенной коэффициент.

Для статистической обработки данных использовали программу Statistica v.13.3, для построения графиков – Excel.

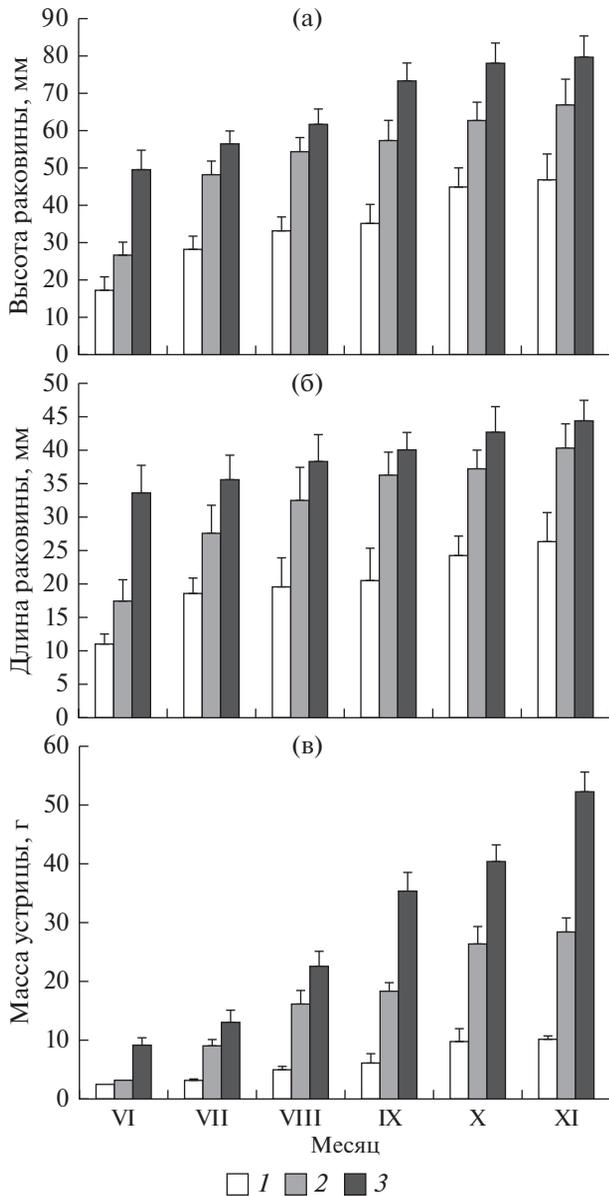
## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эксперименты по росту молоди тихоокеанской устрицы проводили в течение 6 мес. Начальные размеры моллюсков были следующие: высота раковины ( $H$ )  $10 \pm 0.95$  мм, длина ( $L$ )  $8.01 \pm 0.15$  мм, общая масса моллюска ( $W$ )  $0.25 \pm 0.09$  г. Через 2 мес в выборке из 1000 экз. наблюдали четкие различия в размерах моллюсков: крупные ( $45.30 \pm 3.50$  мм), средние ( $21.80 \pm 2.8$  мм) и мелкие особи ( $10.5 \pm 0.9$  мм), которые не показали заметного роста, но оставались живыми. Были сформированы три размерные группы, условно обозначенные как быстрорастущие (FG – fast growth) –  $H > 40$  мм, среднерастущие (MG – medium growth) – с  $H 15–40$  мм и медленно растущие (SG – slow growth) – с  $H < 15$  мм. Количественное соотношение моллюсков разных групп было FG : MG : SG = 8 : 23 : 69. За 6 мес наблюдений наибольшая смертность зарегистрирована у группы FG – до 13–15%, у группы MG она не превышала 5%, минимальный отход наблюдали у особей SG – до 3%.

Все группы были высажены в маркированные садки и помещены в море. Дальнейшие наблюдения показали заметные устойчивые различия в темпах роста исследуемых групп (рис. 1). Линейные размеры FG и MG устриц в 2–3 раза превышали эти показатели у SG, масса – в 5–6 раз ( $p < 0.05$ ). В начале эксперимента различия по отдельным показателям достигали 9.6 раз.

Среднесуточный прирост высоты раковины у исследованных моллюсков варьировал от 0.1 до 0.35 мм/сут, с максимальными значениями в июне и сентябре. Увеличение массы происходило с разной интенсивностью – в среднем у SG 0.051 г/сут, MG 0.168 г/сут, FG 0.287 г/сут. Максимумы этого показателя были в августе и сентябре, достигая 0.12, 0.26 и 0.43 г/сут соответственно.

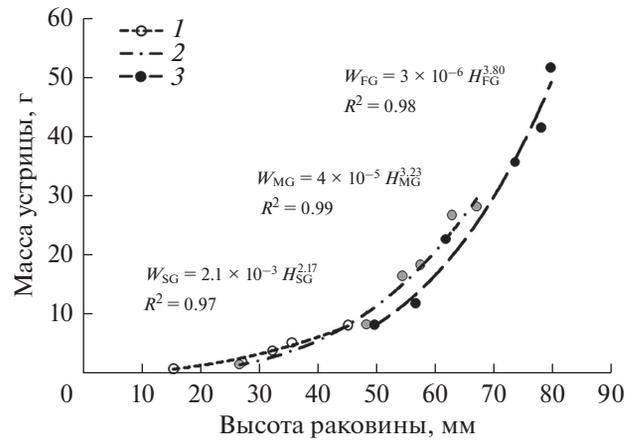
Аллометрическое соотношение массы моллюсков и высоты раковины у трех исследованных групп также различалось (рис. 2). Величиной сравнения полученных уравнений является степенной коэффициент  $b$ , который показывает направленность аллометрии роста. Значения  $b < 3$  означают преобладание линейного роста моллюска над ростом его массы. Такой рост называется отрицательным аллометрическим. При  $b > 3$



**Рис. 1.** Изменение линейных и массовых характеристик молоди триплоидной устрицы ( $M \pm SD$ ). 1 – медленнорастущие (SG), 2 – среднерастущие (MG), 3 – быстрорастущие моллюски (FG).

наблюдается положительная аллометрия, соответственно, увеличение массы животного значительно опережает его размерный рост. Сбалансированное увеличение раковины и массы двустворчатых моллюсков означает изометрический рост ( $b = 3$ ). Показатель  $b < 2.5$  редко отмечают для двустворчатых моллюсков, в среднем он находится в пределах 2.5–3.2 (Powell et al., 2015; Ramadhaniaty et al., 2018).

Наши результаты показали отрицательную аллометрию раковины по высоте у SG устриц ( $b = 2.17$ ), у двух других групп проявлялась четкая



**Рис. 2.** Соотношение массы устрицы и высоты раковины. 1 – медленнорастущие (SG), 2 – среднерастущие (MG), 3 – быстрорастущие моллюски (FG).

положительная аллометрия (для MG  $b = 3.23$ ; FG  $b = 3.80$ ) (рис. 2). Степенные коэффициенты, полученные ранее для молоди устриц *C. gigas* в Голубом заливе, были  $\sim 2.39$  (Вялова, 2009), а для крупных моллюсков в лимане Донузлав значения  $b$  достигали в среднем 3.1 (Вялова, 2019). В данном исследовании устрицы группы MG и FG обладали четко выраженной положительной аллометрией.

Увеличение высоты и длины раковины устриц происходит непропорционально и неравномерно. Как правило, темпы роста высоты ( $H$ ) раковины выше, чем ее длины ( $L$ ) (Nair N.U. and Nair N.B., 1986). Соотношение  $H$  и  $L$  у исследованных устриц *C. gigas* описано следующими линейными уравнениями:  $H_{SG} = 2.078L_{SG} - 8.48$ ,  $R^2 = 0.99$ ;  $H_{MG} = 1.708L_{MG} - 1.57$ ,  $R^2 = 0.98$ ;  $H_{FG} = 3.856L_{FG} - 88.14$ ,  $R^2 = 0.94$ . Известно, что на форму и размер раковины могут оказывать влияние различные внешние факторы, например, качество субстрата, глубина, плотность популяции, обеспеченность пищей, интенсивность гидрологических процессов и т.д. (Dame, 1972; Powell et al., 2015).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Интенсивность роста двустворчатых моллюсков зависит от ряда биотических и абиотических факторов. Так, на их рост влияет температура, соленость, обеспеченность пищей, гидродинамические и гидрохимические процессы в толще морской воды, и другие факторы (Grangeré et al., 2009; Barilléa et al., 2011; Baillie et al., 2019; Brundu et al., 2021; Bertolini et al., 2021). Наши данные показали, что в одних и тех же условиях среди разновозрастных устриц существуют различия в темпах линейного и массового роста, которые могут варьировать от 2 до 9.6 раз. В период наблюдений эти различия не только сохранялись, но и про-

должали увеличиваться. В большей мере это касалось массы моллюсков (рис. 1). Результаты, полученные другими авторами, еще более впечатляющи. Так, *S. gigas* возрастом 6 мес различались между собой в размерах до 4 раз, по массе до 36.2 раза (Tamayo et al., 2014). Исследования двустворчатых моллюсков *Ruditapes decussatus* (L., 1758) и *R. philippinarum* (Adams & Reeve, 1850), имеющих разные скорости роста, показали, что разница в линейных размерах между группами FG и SG достигает 2.7–4.5 раза, по массе – 13–40.7 раз (Tamayo et al., 2011; Teixeira de Sousa et al., 2011). По данным этих авторов, биохимический анализ мягких тканей не выявил достоверных различий между разнорастущими группами. Единственным исключением стало содержание общих липидов, их количество было значительно ниже у SG и MG особей, чем у FG. Сделаны выводы, что моллюски с низкими скоростями роста не накапливают этот компонент так же, как быстрорастущие, и, учитывая важность липидов в энергетическом балансе, направляют большую их часть на поддержание метаболизма.

Исследования быстрорастущих генетических линий устриц *Crassostrea gigas* и *Saccostrea glomerata* (Gould, 1850) показали их широкую физиологическую пластичность (Bayne, 2000, 2004). Установлено, что FG – устрицы депонировали больше белка при минимальных метаболических затратах, по сравнению с SG – моллюсками (Pace et al., 2006). Некоторые гены по-разному экспрессируются у быстрорастущих и медленно растущих устриц *Crassostrea gigas*. Различия касаются генов, определяющих белковый метаболизм и процесс пищеварения (Hedgcock et al., 2007; Meyer, Manahan, 2010), что отражается на темпах роста. Медленно растущие особи имеют менее равномерную экспрессию белковых генов, чем их быстрорастущие аналоги.

Также одной из причин экстремальных различий в скоростях роста может быть анеуплоидия моллюсков – цитогенетическое явление, известное как аномальное число хромосом. Анеуплоидия выражается потерей (гипоплоидия) или приобретением (гиперплоидия) одной или нескольких хромосом. Это явление происходит из-за нерасщепления хромосом во время митоза или мейоза (Martin, Rademaker, 1990) или из-за их преждевременного деления (Major et al., 1998). Случаи анеуплоидии обнаружены у триплоидных и тетраплоидных устриц *S. gigas* (Guo, Allen, 1994; Wang et al., 1999). Установлено, что быстрорастущие особи имеют более низкий процент анеуплоидии, чем медленно растущие. У *S. gigas* анеуплоидия моллюсков может достигать 5–22% (Thiriou-Quévieux et al., 1988; Zouros et al., 1996; Leitão et al., 2001), у португальской устрицы *S. angulata* – ~20% (Batista et al., 2007).

Сравнение физиологических особенностей быстро и медленно растущих моллюсков сем. Ostreidae показало, что более высокий потенциал роста, проявляемый у FG – устриц, также может быть обусловлен их более высокой фильтрационной способностью, сниженным уровнем метаболизма и низкими энергетическими тратами на рост (Tamayo et al., 2014). Известно, что фильтрация у двустворчатых моллюсков осуществляется через жабры, и интенсивность этого процесса зависит от площади жаберной поверхности. Исследования морфофизиологических особенностей групп FG и SG двустворчатого моллюска *Ruditapes philippinarum* показали, что жаберная поверхность у быстрорастущих особей на 16.8–32.5% больше, чем у медленно растущих (Tamayo et al., 2011, 2013). Выявленная изменчивость площади поверхности жабр обуславливает различия в скорости роста среди одновозрастных моллюсков. Следовательно, генетические структуры, определяющие развитие жабр, – один из важных компонентов, влияющих на различия в росте особей одного вида.

Основная задача селекционной работы устричных питомников – получить быстрорастущее потомство путем подбора родительских линий с требуемыми характеристиками. Работы специалистов показали, что удачно подобранные генетические комбинации проявляются уже на стадии личинки: преимущества быстрорастущих экземпляров могут достигать 154% в росте и 89% скорости потребления пищи (Ramadhaniaty et al., 2018). Также установлено, что на ранних этапах развития *Crassostrea gigas* имеется прямая связь между ускоренным ростом и транспортом питательных веществ через клеточные мембраны (Pace et al., 2006; Francis Pan et al., 2015). Максимальная транспортная емкость у 4-дневных личинок – хороший предиктор последующего быстрого роста с достоверностью 83%.

Некоторые авторы не исключают сочетанное влияние генетических и абиотических факторов, приводящих к экстремальным ростовыми различиям у моллюсков. Так, недостаток пищи еще больше замедлял линейный рост SG *Ruditapes philippinarum* и различия с FG увеличивались до трех раз, однако при высоких концентрациях пищи разница была двукратной (Tamayo et al., 2011). Повышение температуры увеличивало абсолютные различия в уровнях энергетического обмена между быстро и медленно растущими моллюсками (Tamayo et al., 2013). Температурный фактор существенно сдерживал процессы роста и питания SG особей.

При выращивании устриц в мариккультуре к рассмотренным ранее факторам добавляется влияние технологических условий, создаваемых человеком. Для достижения максимального роста

особое внимание уделяется плотности посадки в специальных выростных садках, типу устричных садков, месту их размещения и плоидности моллюсков (Nell, 2002; Cogswell et al., 2006; Mallet et al., 2009; Vialova, 2020; Bodenstein et al., 2021; Osei et al., 2022). Например, высокую вариабельность (до 60%) линейных и массовых характеристик наблюдали у устриц, выращиваемых в плавучих пластиковых мешках, по сравнению с приклеенными на веревку экземплярами (2.5%) (Mallet et al., 2009).

В результате нашего исследования были установлены различия в темпах роста у молоди триплоидной тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas*. Высказано предположение, что основная причина выявленных устойчивых различий — полиплоидия моллюсков. В качестве критерия отбора быстро и медленно растущих экземпляров предложен показатель аллометрического соотношения массы моллюсков и их линейных размеров. Степенной коэффициент  $b > 3$  характерен для средне- и быстрорастущих моллюсков, что указывает на их высокий потенциал роста. Полученные результаты могут быть использованы при искусственном воспроизводстве устриц на морских фермах Черного моря.

**Выводы.** Среди полиплоидных (триплоидных) тихоокеанских устриц *C. gigas* выявлены устойчивые различия темпов линейного роста и накопления массы. Различия морфологических показателей быстрорастущих и медленно растущих моллюсков могут достигать 2–3 раз по высоте раковины и 5–6 раз по массе. У медленно растущих особей отмечена отрицательная аллометрия массы тела и высоты раковины ( $b < 3$ ), быстрорастущие устрицы показали приоритетное увеличение массы по сравнению с линейным приростом ( $b > 3$ ).

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках госзадания Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского № 121041400077-1 по теме “Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом”.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вялова О.Ю. 2009. Первые результаты выращивания триплоидной тихоокеанской устрицы *Crassostrea gigas* в Черном море (Южный берег Крыма) // Экология моря. Вып. 79. С. 37.
- Вялова О.Ю. 2019. Рост и сроки получения товарной триплоидной устрицы в озере Донузлав (Черное море, Крым) // Морской биол. журн. Т. 4. № 1. С. 24. <https://doi.org/10.21072/mbj.2019.04.1.03>
- Жугайло С.С., Авдеева Т.М., Пугач М.Н., Аджисумеров Э.Н. 2018. Состояние качества водной среды донных отложений озера Донузлав в современный период // Водные биоресурсы и среда обитания. Т. 1. № 1. С. 32. <http://hdl.handle.net/1834/14185>
- Baillie Ch.J., Grabowski J.H. 2019. Factors affecting recruitment, growth and survival of the eastern oyster *Crassostrea virginica* across an intertidal elevation gradient in southern New England // Mar. Ecol. Progr. Ser. V. 609. P. 119. <https://doi.org/10.3354/meps12830>
- Barilléa L., Lerouxela A., Dutertrea M. et al. 2011. Growth of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in a high-turbidity environment: Comparison of model simulations based on scope for growth and dynamic energy budgets // J. Sea Res. V. 66. Iss. 4. P. 392. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2011.07.004>
- Batista F., Leitão A., Fonseca V. et al. 2007. Individual relationship between aneuploidy of gill cells and growth rate in cupped oysters *Crassostrea angulata*, *C. gigas* and their reciprocal hybrids // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. V. 352. Iss. 1. P. 226. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.07.009>
- Bayne B.L. 2000. Relations between variable rates of growth, metabolic costs and growth efficiencies in individual Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*) // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. V. 251. Iss. 2. P. 185. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(00\)00211-2](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00211-2)
- Bayne B.L. 2004. Phenotypic flexibility and physiological tradeoffs in the feeding and growth of marine bivalve molluscs // Int. Comp. Biol. V. 44. Iss. 6. P. 425. <https://doi.org/10.1093/icb/44.6.425>
- Bertolini C., Brigolin D., Porporato E.M.D. et al. 2021. Testing a model of pacific oysters (*Crassostrea gigas*) growth in the Adriatic Sea: implications for aquaculture spatial planning // Sustainability. V. 13. P. 2. <https://doi.org/10.3390/su13063309>
- Bodenstein S., Walton W.C., Steury T.D. 2021. Effect of farming practices on growth and mortality rates in triploid and diploid eastern oysters *Crassostrea virginica* // Aquaculture Environ. Int. V. 13. P. 33. <https://doi.org/10.3354/aei00387>
- Brundu G., Pagani S., Graham Ph. 2021. The shell growth of *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* in windy condition: a preliminary evaluation // Aquaculture Res. V. 52. P. 6802. <https://doi.org/10.1111/are.15511>
- Cogswell A.T., Kenchington E.L., Roach S.E. et al. 2006. Triploid bay scallops (*Argopecten irradians*): induction methodology, early gonadic development and growth // Can. Tech. Report Fish. Aquat. Sci. V. 2635.
- Dame R.F. 1972. Comparison of various allometric relationships in intertidal and subtidal American oysters // Fishery bulletin. V. 70. Iss. 4. P. 1121.
- Francis Pan T.C., Applebaum S.L., Manahan D.T. 2015. Genetically determined variation in developmental physiology of bivalve larvae (*Crassostrea gigas*) // Physiol. Biochem. Zool. V. 88. № 2. P. 128. <https://doi.org/10.1086/679656>
- Grangeré K., Ménesguen A., Lefebvre S. et al. 2009. Modeling the influence of environmental factors on the physiological status of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in an

- estuarine embayment; The Baie des Veys (France) // *J. Sea Res.* V. 62. P. 147.
- Guo X.M., Allen S.K. 1994. Viable tetraploids in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by inhibiting polar body I in eggs from triploids // *Mol. Mar. Biol. Biotechnol.* V. 3. Iss. 1. P. 42.
- Hedgecock D., Lin J.Z., De Cola S. et al. 2007. Transcriptomic analysis of growth heterosis in larval Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* V. 104. № 7. P. 2313.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.0610880104>
- Leitão A., Boudry P., Thiriôt-Quévieux C. 2001. Negative correlation between aneuploidy and growth in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*: ten years of evidence // *Aquaculture.* V. 193. Iss. 1–2. P. 39.  
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00488-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00488-9)
- Liu W., Heasman M., Simpson R. 2008. Growth and reproductive performance of triploid and diploid blacklip abalone, *Haliotis rubra* (Leach, 1814) // *Aquaculture Res.* V. 40. Iss. 2. P. 188.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02082.x>
- Major J., Jakab M., Tompa A. 1998. The frequency of induced premature centromere division in human populations occupationally exposed to genotoxic chemicals // *Mutation Res.* V. 445. Iss. 2. P. 241.  
[https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(99\)00129-1](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(99)00129-1)
- Mallet A., Doiron S. 2009. Growth comparison for oysters grown on rope and floating bags // Report to Project AFA9004, New Brunswick Department of Agriculture and Aquaculture, January. 28 p.
- Mallia J.V., Muthiah P., Thomas P.C. 2006. Growth of triploid oyster, *Crassostrea madrasensis* (Preston) // *Aquaculture Res.* V. 37. P. 718.
- Martin R., Rademaker A. 1990. The frequency of aneuploidy among individual chromosomes in 6.821 human sperm chromosome complements // *Cytogenetics and Cell Genetics.* V. 53. Iss. 2–3. P. 103.
- Meyer E., Manahan D.T. 2010. Gene expression profiling of genetically determined growth variation in bivalve larvae (*Crassostrea gigas*) // *J. Experimental Biol.* V. 213. Iss. 5. P. 749.  
<https://doi.org/10.1242/jeb.037242>
- Nair N.U., Nair N.B. 1986. Relation between weight and linear measurements of shell in *C. madrasensis* (Preston) // *Fishery Technol.* V. 23. P. 120.
- Nell J.A. 2002. Farming triploid oysters // *Aquaculture.* V. 210. P. 69.
- Osei I.K., Kobina Y., Obodai E.A. 2022. Comparative analysis of growth performance and survival of the West African mangrove oyster, *Crassostrea tulipa* (Lamarck, 1819) cultivated by suspension and bottom culture methods in the Densu Estuary, Ghana // *Aquaculture, Fish and Fisheries.* V. 2. P. 233.  
<https://doi.org/10.1002/aff2.43>
- Pace D.A., Marsh A.G., Leong P.K. et al. 2006. Physiological bases of genetically determined variation in growth of marine invertebrate larvae: a study of growth heterosis in the bivalve *Crassostrea gigas* // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* V. 335. Iss. 2. P. 188.  
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.03.005>
- Pernet F., Tremblay R., Redjah I., et al. 2008. Physiological and biochemical traits correlate with differences in growth rate and temperature adaptation among groups of the eastern oyster *Crassostrea virginica* // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* V. 211. Iss. 6. P. 969.  
<https://doi.org/10.1242/jeb.014639>
- Powell E.N., Mann R., Ashton-Alcox K.A. et al. 2015. The allometry of oysters: spatial and temporal variation in the length–biomass relationships for *Crassostrea virginica* // *J. Mar. Biol. Ass. UK.* V. 96. Iss. 5. P. 1.  
<https://doi.org/10.1017/S0025315415000703>
- Ramadhaniaty M., Setyobudiandi I., Madduppa H.H. 2018. Morphogenetic and population structure of two species marine bivalve (Ostreidae: *Saccostrea cucullata* and *Crassostrea iredalei*) in Aceh, Indonesia // *Biodiversity.* V. 19. Iss. 3. P. 978.  
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d190329>
- Reynaga-Franco F.J., Aragón-Noriega E.A., Grijalva-Chon J.M. et al. 2019. Multi-model inference as criterion to determine differences in growth patterns of distinct *Crassostrea gigas* stocks // *Aquaculture Int.* V. 27. Iss. 5. P. 1435.  
<https://doi.org/10.1007/s10499-019-00396-0>
- Tamayo D., Ibarrola I., Urrutia M.B., Navarro E. 2011. The physiological basis for inter-individual growth variability in the spat of clams (*Ruditapes philippinarum*) // *Aquaculture.* V. 321. Iss. 1–2. P. 113.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.08.024>
- Tamayo D., Ibarrola I., Navarro E. 2013. Thermal dependence of clearance and metabolic rates in slow- and fast-growing spats of manila clam *Ruditapes philippinarum* // *J. Comp. Physiol. B.* V. 183. Iss. 7. P. 893.  
<https://doi.org/10.1007/s00360-013-0764-1>
- Tamayo D., Ibarrola I., Urrutxurtu I., Navarro E. 2014. Physiological basis of extreme growth rate differences in the spat of oyster (*Crassostrea gigas*) // *Mar. Biol.* V. 61. Iss. 7. P. 1627.  
<https://doi.org/10.1007/s00227-014-2447-1>
- Teixeira de Sousa J., Matias D., Joaquim S. et al. 2011. Growth variation in bivalves: New insights into growth, physiology and somatic aneuploidy in the carpet shell *Ruditapes decussatus* // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* V. 406. Iss. 1–2. P. 46.  
<https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.06.001>
- Thiriôt-Quévieux C., Noel T., Bougrier S., Dallot S. 1988. Relationships between aneuploidy and growth rate in pair matings of the oyster *Crassostrea gigas* // *Aquaculture.* V. 75. Iss. 1–2. P. 89.  
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90023-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90023-3)
- Vialova O.Yu. 2020. Comparative morphological analysis of diploid and triploid oysters, *Crassostrea gigas*, farmed in the Black Sea // *Turkish J. Vet. Animal Sci.* V. 44. Iss. 3. P. 740.  
<https://doi.org/10.3906/vet-1907-50>
- Wang Z., Guo X., Allen S.K., Wang R. 1999. Aneuploid Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) as incidentals from triploid production // *Aquaculture.* V. 173. Iss. 1. P. 347.  
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00457-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00457-8)
- Zouros E., Thiriôt-Quévieux C., Kotoulas G. 1996. The negative correlation between somatic aneuploidy and growth in the oyster *Crassostrea gigas* and implications for the effects of induced polyploidization // *Genetics Res.* V. 68. Iss. 2. P. 109.  
<https://doi.org/10.1017/S0016672300033991>

## Stable Differences in Growth Rates of Juvenile Triploid Oysters *Crassostrea gigas*

O. Yu. Vialova\*

*Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia*

*\*e-mail: vyalova07@gmail.com*

The three groups of mollusks of the triploid Pacific oyster *Crassostrea gigas* from the Liman Donuzlav (Black Sea), differing in morphometric characteristics: fast growing (FG) – shell height ( $H$ ) > 40 mm, medium growing (MG) –  $15 \text{ mm} < H < 40 \text{ mm}$  and slow growing (SG) –  $H < 15 \text{ mm}$ , were studied. The stable differences in the growth rates of juveniles of the same age were revealed. Mollusks of the FG group were the leaders in terms of weight gain and linear size throughout the study. The average daily increase in shell height in the studied mollusks ranged from 0.1 to 0.35 mm/day, with maximum values in June and September. Weight gain occurred with different intensity, on average in SG – 0.051 g/day, in MG – 0.168 g/day, in FG – 0.287 g/day. The peaks of this indicator were in August and September, reaching 0.12, 0.26 and 0.43 g/day, respectively. A negative allometry of the shell in height was obtained in slow-growing polyploid oysters ( $b = 2.17$ ), in the other two other groups – a clear positive (for MG  $b = 3.23$ , for FG  $b = 3.80$ ), i.e., the increase in mass was faster than linear growth in juveniles of the species. Polyploidy (triploidy) is suggested as the reason for the differences in the growth rates of the same-aged mollusks. The allometry indicator  $b$  can be used to identify growth features in the early stages of oyster development.

*Keywords: Crassostrea gigas, triploidy, growth, the Black Sea*