

УДК 595.34-13:582.276

ВЛИЯНИЕ ВИДА И КОНЦЕНТРАЦИИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ НА РАЦИОН И ПРОДУКЦИЮ ЯИЦ У КОПЕПОД *CALANIPEDA AQUAEDULCIS* KRICHAGIN, 1873 И *ARCTODIAPTOMUS SALINUS* (DADAY, 1885)

© 2024 г. Л. О. Аганесова¹, * (ORCID: 0000-0003-4052-7985),
А. Н. Ханайченко¹ (ORCID: 0000-0002-4334-9996)

¹Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского (ИнБЮМ) РАН, Севастополь 299011, Россия
*e-mail: la7risa@gmail.com

Поступила в редакцию 17.04.2023 г.

После доработки 20.09.2023 г.

Принята к публикации 24.01.2024 г.

В экспериментальных условиях исследовано влияние концентрации гаптофитовой *Isochrysis galbana* и динофитовой *Prorocentrum cordatum* микроводорослей на величину суточного рациона питания и скорость продукции яиц солоноватоводных копепод *Arctodiaptomus salinus* и *Calanipeda aquaedulcis*. Суточные рационы питания изученных копепод логарифмически возрастали с увеличением концентрации микроводорослей. Максимальные значения суточного рациона у обоих видов копепод были отмечены при питании *I. galbana* с концентрацией 170–196 мкг С/мл. Максимальные значения среднесуточной продукции яиц (*EPR*) у самок *C. aquaedulcis* (129% массы тела в углеродном эквиваленте) получены при питании микроводорослями *I. galbana* с концентрацией 15.4 мкг С/мл и *P. cordatum* с концентрацией 4 мкг С/мл. Максимальные значения *EPR* у самок *A. salinus* составляли 34% углеродного эквивалента массы самки при питании *P. cordatum* с концентрацией 26 мкг С/мл, и 45% углеродного эквивалента массы самки при питании *I. galbana* с концентрацией 8.9 мкг С/мл. Дальнейшее увеличение концентрации микроводорослей приводило к снижению значений *EPR*. Эффективность использования потребленной пищи на генеративную продукцию копепод в углеродном эквиваленте (*GGE*, %) была значительно выше у *C. aquaedulcis*, чем у *A. salinus*, и не зависела от вида и концентрации микроводорослей.

Ключевые слова: копеподы, *Arctodiaptomus salinus*, *Calanipeda aquaedulcis*, суточный рацион питания, среднесуточная продукция яиц

DOI: 10.31857/S0134347524030044

Копеподы семейств Pseudodiaptomidae (*Calanipeda aquaedulcis* Krichagin, 1873) и Diaptomidae (*Arctodiaptomus salinus* (Daday, 1885)) являются типичными представителями голопланктонных каланоидных копепод. Оба вида относятся к эвригалинным осмоконформерам (Svetlichny et al., 2012a). Широкий диапазон толерантности к солености (от 0.1 до 35‰ для *C. aquaedulcis* и до 50‰ для *A. salinus*) (Svetlichny et al., 2012a) и к температуре — *C. aquaedulcis* встречается в водоемах от -1 до 30°C (Lazareva, 2018), а *A. salinus* — от 3 до 29°C (Rokneddine,

Chentoufi, 2004; Jiménez-Melero et al., 2012), позволяет этим копеподам выживать, развиваться и размножаться в разнообразных водоемах, как в морских, так и в пресноводных, от северных до южных широт.

Копеподы обоих видов вынашивают яйца в яйцевом мешке, прикрепленном к самке. Самки *A. salinus* могут производить как субитанные, так и диапаузирующие (покоящиеся) яйца, выживающие в экстремальных условиях (высушивание и широкий диапазон температур), а самки *C. aquaedulcis* производят только

субитанные яйца. Именно отсутствие покоящихся яиц позволяет *C. aquaedulcis* населять только постоянные водоемы: прибрежные лагуны, солончаковые болота, соленые заболоченные переходные зоны и эстуарии, расположенные вдоль Атлантического побережья Марокко (Ramdani et al., 2001), Испании (Frisch et al., 2006), Средиземноморского побережья Европы (Brucet et al., 2008), Северной Африки (Ramdani et al., 2001), Северо-Западной Азии (Ustaoglu, 2004). Этот вид обитает на небольших глубинах в Азовском (Гунько, Алдакимова, 1963), Каспийском (Куделина, 1950; Гарбер, 1951) и Аральском морях (Кортунова и др., 1972; Andreev et al., 1992), в прибрежных озерах и лиманах Черного моря, в частности, Керченского полуострова. В Севастопольской бухте популяция *C. aquaedulcis* существовала до вселения хищного гребневика *Mnemiopsis leyidyi* A. Agassiz, 1865 (см.: Gubanov et al., 2001). Из приустьевых опресненных участков морей *C. aquaedulcis* проникает во внутренние пресные водоемы и населяет водохранилища и реки средней полосы России (Вьюшкова, Гурова, 1968; Lazareva, 2018).

Напротив, *A. salinus*, широко распространенный в Европе, Азии и Северной Африке (Rokneddine, Chentoufi, 2004), обитает как в постоянных, так и во временных водоемах, в сильно минерализованных пресных, солоноватоводных и соленых континентальных водоемах; населяет стоячие воды, от малых горных бассейнов до больших соленых озер (Tolomeev, 2002). Наличие в биологическом цикле диапаузирующих яиц и высокая толерантность вида к широкому диапазону солености и температуры (Jiménez-Melero et al., 2007) позволяют *A. salinus* обитать в пересыхающих и небольших минерализованных карстовых водоемах (Marrone et al., 2006), а также в крупных меромиктических озерах, например, в сибирских, от слабо- до гиперсоленых (Andreev et al., 1992; Tolomeev et al., 2010). *A. salinus* периодически достигает высокой численности в некоторых постоянных и временных пересыхающих соленых прибрежных озерах Восточного Крыма, на Керченском полуострове (Шадрин и др., 2008). Этот вид копепод характерен для водоемов, характеризующихся низким видовым разнообразием планктона и короткими трофическими цепями (Lapesa et al., 2004; Barkhatov et al., 2023).

Несмотря на то, что метаболическая пластичность позволяет копеподам обоих видов выживать и размножаться в сходных условиях, места обитания этих двух видов в основном не пересекаются, по-видимому, из-за конкуренции. Например, после вселения в Аральское море *C. aquaedulcis* стал доминировать в зоопланктоне и вытеснил полностью аборигенного *A. salinus* (Plotnikov et al., 2021).

Эти виды копепод представляют ценную кормовую базу для рыб-планктонофагов и, благодаря высокой толерантности, могут использоваться в аквакультуре для кормления личинок как морских, так и пресноводных, как умеренных, так и тропических ценных видов рыб (Gurkan et al., 2023). Отсутствие каннибализма (половозрелые особи не выедают собственные ранние науплиальные стадии) позволяет выращивать совместно все стадии развития (науплиальные, копеподитные и взрослые), что можно считать технологическим преимуществом при массовом культивировании обоих видов копепод. В отличие от них взрослые стадии морских Calanoida выедают собственные яйца и младшие науплиальные стадии.

Известно, что копеподы обоих видов питаются разнообразными взвешенными частицами, детритом, бактерио-, фито- и микропланктоном (Гарбер, 1951; Tolomeev, 2002; Lapesa et al., 2004; Marrone et al., 2006; Brucet et al., 2008; Tolomeev et al., 2010), и их рацион может изменяться в зависимости от состава и концентрации пищи. Однако до настоящего времени отсутствуют данные о влиянии концентрации определенных видов нанопланктонных (2–20 мкм) микроводорослей на рационы, продукцию яиц и эффективность использования потребленной пищи на генеративную продукцию копепод *C. aquaedulcis* и *A. salinus*.

Для оценки способности данных видов копепод конвертировать углерод потребленной пищи в углерод их генеративной продукции и для использования этих данных в разработке оптимальной технологии массового культивирования необходимо было определить, как вид и концентрация микроводорослей влияет на рацион питания и продукцию яиц копепод в искусственных условиях. Цель данной работы заключалась в определении суточных рационов и продукции яиц *C. aquaedulcis* и *A. salinus*,

а также расчете эффективности использования пищи на генеративную продукцию копепоид в широком диапазоне концентраций двух видов микроводорослей при оптимальной температуре.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Эксперименты проводили с использованием лабораторных культур копепоид *A. salinus* (AS) (длина просомы 0.9–1.04 мм) и *C. aquaedulcis* (CA) (длина просомы 0.6–0.7 мм) при оптимальной для выживаемости, развития и размножения обоих видов температуре $21 \pm 1.5^\circ\text{C}$ (Аганесова, 2013). В качестве культуральной среды для копепоид применяли суспензию микроводорослей в морской воде. Исходная черноморская вода ($17.8 \pm 0.2\%$) до приготовления среды для культивирования микроводорослей проходила следующие этапы последовательной очистки: грубый песочный фильтр, отстаивание, последовательная фильтрация через картриджные фильтры (с размером пор 10, 5 и 1 мкм), стерилизация ультрафиолетом и двукратная пастеризация. Морскую воду обогащали средой Уолна (Coutteau, 1996). Монокультуры микроводорослей выращивали в накопительном режиме при круглосуточном освещении интенсивностью 5 тыс. лк. Использовали широко распространенные, постоянно находящиеся в суспензии в толще воды, легко культивируемые морскую гаптофитовую микроводоросль класса Prymnesiophyceae – *Isochrysis galbana* (размер клеток 3–6 мкм) (ISO) и динофитовую микроводоросль класса Dinophyceae – *Prorocentrum cordatum* (размер клеток 12–14 мкм) (PRO) (Khanaychenko et al., 2019), которые, согласно нашим данным, были оптимальны для питания, воспроизводства и развития обоих видов копепоид (Аганесова, 2021). Для кормления копепоид использовали культуры в экспоненциальной фазе роста.

Для определения суточного рациона питания и среднесуточной продукции яиц копепоид брали микроводоросли обоих видов в четырех разных концентрациях (табл. 1, 2). Адаптацию лабораторных одновозрастных когорт копепоид CA и AS к питанию микроводорослями PRO и ISO при определенных концентрациях проводили минимум в течение двух недель, т.е. 8 лабораторных одновозрастных когорт были

адаптированы к условиям, при которых проводили все дальнейшие эксперименты.

Эксперименты проводили в стеклянных сосудах цилиндрической формы объемом 50 мл при круглосуточном освещении 2 тыс. лк. В опытные сосуды отсаживали половозрелых особей, находящихся на пике репродуктивного периода: по 17 самок и 8 самцов CA (в возрасте 15–20 сут) и по 8 самок и 4 самца AS (в возрасте 25–30 сут), так что плотность посадки составляла 0.5 экз./мл и 0.25 экз./мл, соответственно. Согласно нашим предварительным данным соотношение самцов и самок копепоид приблизительно 1 : 2 необходимо для регулярного пополнения сперматеки самок спермой для оптимального оплодотворения.

Эксперименты по питанию каждого вида копепоид проводили в течение суток при четырех разных концентрациях каждой микроводоросли в двукратной повторности. Концентрацию микроводорослей в экспериментальных сосудах с копеподами и в контрольных сосудах без копепоид определяли методом проточной цитометрии (Cytomics TM FC 500, Beckman Coulter, США) в начале эксперимента и по истечении 24 часов.

Суточный рацион (G , кл./экз./сут) определяли по разнице между начальными и конечными концентрациями клеток микроводорослей в экспериментальных (с копеподами) и контрольных (без копепоид) сосудах, рассчитывая на количество копепоид, согласно методике собственной модификации, позволяющей учитывать темп размножения и отмирания микроводорослей без выедания их копеподами (Frost, 1972) по модифицированным формулам:

$$G = F \times \frac{C_t^3 - C_o}{\ln C_t^3 - \ln C_o}, \quad (1)$$

$$F = \frac{V}{n} \times \frac{\ln C_t^K - \ln C_t^3}{\Delta t}, \quad (2)$$

где F – скорость фильтрации микроводорослей или скорость осветления среды, (мкл/экз./сут), V – объем среды в сосуде (мл), n – число копепоид в сосуде (экз.), C_o – начальные численности микроводорослей в контроле и эксперименте (кл./мл), C_t^K и C_t^3 – конечные численности микроводорослей в контроле и эксперименте, Δt – продолжительность эксперимента (сут). В связи с тем, что для производства яиц необходимо

присутствие самцов копепод, было допущено усреднение скорости потребления микроводорослей самками и самцами, что характерно для функционирования популяции, в которой присутствуют и самцы, и самки, а яйца производят только самки.

Эксперименты по определению среднесуточной продукции яиц (EPR , яиц/самка/сут) проводили на тех же выборках копепод СА и АS и в тех же экспериментальных сосудах при аналогичных четырех концентрациях двух видов микроводорослей. В течение 10 сут эксперимента ежедневно в одно и то же время просматривали копепод под микроскопом МБС-12 при увеличении 8×4 , подсчитывали и изымали произведенное самками потомство, одновременно проводя замену культуральной среды. Значения EPR получали, разделив общее количество яиц, произведенное всеми самками в течение эксперимента, на количество самок и длительность эксперимента (в сутках).

После окончания эксперимента копепод измеряли, их размеры в дальнейшем использовали для расчета углеродного эквивалента биомассы. Сухую биомассу копепод (W , мкг) рассчитывали, учитывая линейные размеры взрослых особей (по: Svetlichny et al., 2012b):

$$W = 0,13 \left(L_{pr} d_{pr}^2 \right)^{1,013}, \quad (3)$$

где L_{pr} — длина и d_{pr} — ширина просомы (мм).

Сухую биомассу яиц (W_{egg} , мкг) рассчитывали по формуле Светличного с соавторами (Svetlichny et al., 2012b):

$$W_{egg} = 0,167 k \pi d_{egg}^3, \quad (4)$$

где $k = 0.000476$ для субитанных яиц, d_{egg} — средний диаметр яиц (мкм).

Для сравнения эффективности использования пищи на производство яиц копепод проводили пересчет рационов, веса копепод и продукции яиц в углеродные единицы. При расчете углеродного эквивалента концентрации микроводорослей использовали данные из литературы: *I. galbana* (Berggreen et al., 1988), *P. cordatum* (Dam, Colin, 2005). Пересчет массы копепод в углеродные единицы (W_C , мкг С;

W_{Cegg} , мкг С) (Kjørboe, Sabatini, 1994). Углеродная масса копепод составляла 40% от их сухой массы.

Суточный рацион рассчитывали как скорость потребления микроводорослей в сутки в пересчете на углеродный эквивалент клеток (G , мкг С/экз./сут). Соотношение суточного рациона в углеродном эквиваленте (G , мкг С/экз./сут) и массы копепод в углеродных единицах (W_C , мкг С) выражали в процентах и получали относительные (удельные) значения рациона копепод в углеродных единицах (G , %).

Эффективность использования пищи на производство яиц (GGE , %) вычисляли по формуле:

$$GGE = (EPR/G)100\%, \quad (5)$$

где EPR и G выражены в углеродных единицах.

Для всех полученных данных были рассчитаны средние арифметические (M), доверительный интервал (95% CI), стандартные отклонения (SD), достоверность ($p < 0.05$) различий выборочных средних с помощью t -критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Динамика значений суточного рациона (G) копепод *Arctodiaptomus salinus* и *Calanipeda aquaedulcis* при питании микроводорослями *Isochrysis galbana* и *Prorocentrum cordatum* представлена на рис. 1 и в табл. 1 и 2. Рационы копепод возрастали логарифмически с увеличением содержания пищи в среде и почти выходили на плато при максимальной концентрации микроводорослей. При одинаковых исходных концентрациях микроводорослей значения суточного рациона были значимо выше у АS, чем у СА, что обусловлено большей массой первого вида (масса АS = 7.12 мкг С/экз., масса СА = 2.4 мкг С/экз.). Более высокие рационы копепод обоих видов как в количестве клеток, так и в углеродном эквиваленте получены при питании мелкоразмерными ISO по сравнению с PRO.

Так, с возрастанием концентрации ISO с меньшей массой (25.9 пг С/кл.) от 2×10^5 до 6.6×10^6 кл./мл (от 4.2 до 170.4 мкг С/мл) рацион СА увеличивался с 331 до 1387×10^3 кл./экз./сут (от 8.6 до 35.9 мкг С/экз./сут), а рацион АS —

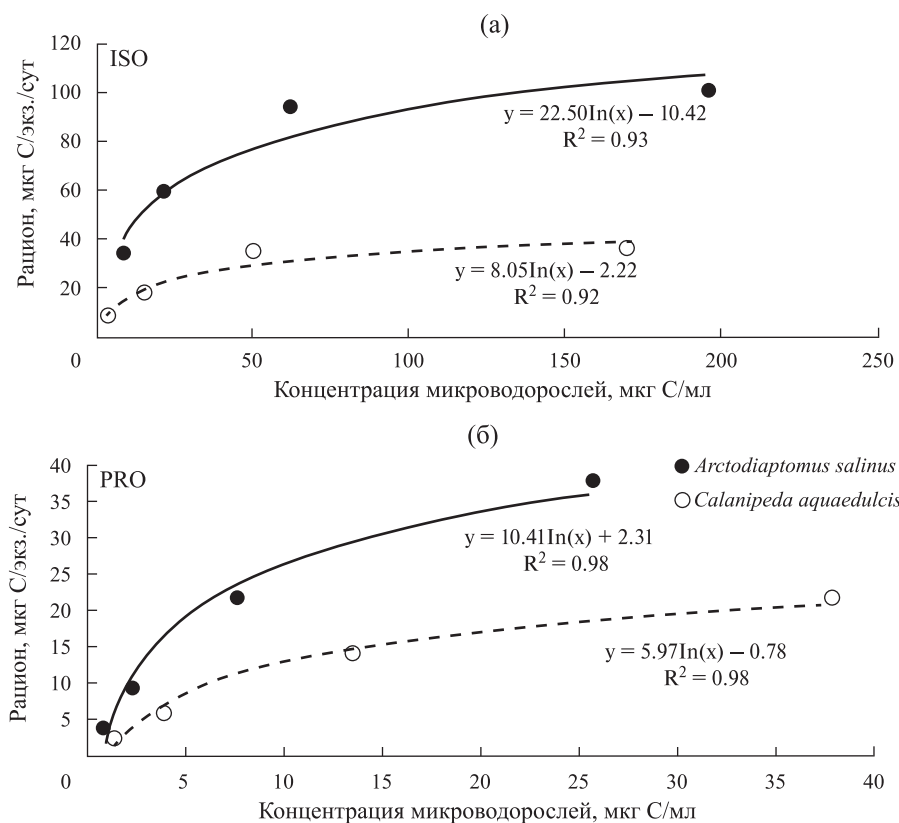


Рис. 1. Углеродный эквивалент рационов *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* (G, мкг С/экз./сут) в зависимости от концентрации микроводорослей (мкг С/мл). а – *Isochrysis galbana* (ISO), б – *Prorocentrum cordatum* (PRO) (M, 95% CI, $p < 0.05$).

с 1306 до 3894×10^3 кл./экз./сут (от 33.8 до 100.9 мкг С/экз./сут) (рис. 1а, табл. 1, 2). Однако значения G при питании ISO, выраженные в углеродных единицах в процентах относительно массы копепоид, оказались сопоставимы для обоих видов и возрастали от 400 до 1400 – 1500% (табл. 1, 2).

Рационы при питании PRO (293 пг С/кл.) в диапазоне концентрации микроводорослей от 1 до 40 мкг С/мл (от 3×10^3 до 1.3×10^3 кл./мл) возрастали до максимальных значений – 21.8 мкг С/экз./сут (CA) и 37.8 мкг С/экз./сут (AS), не выходя на плато (рис. 1б, табл. 1, 2). Суточные рационы копепоид, выраженные в углеродных единицах в процентах относительно массы копепоид, при питании PRO возрастали по мере возрастания концентрации клеток от ~ 100 до $\sim 900\%$ у CA, и от ~ 50 до $\sim 530\%$ у AS (табл. 1, 2).

EPR более мелкого вида копепоид CA возрастала до максимального значения 11 яиц/самка/сут (129% массы тела самки в углеродном эквиваленте) уже при концентрациях ISO 15.4 мкг С/мл (0.6×10^6 кл./мл) и PRO 4 мкг С/мл (13×10^3 кл./мл). Несмотря на дальнейшее повышение рационов,

при возрастании концентрации микроводорослей выше этих критических концентраций, производство яиц самками CA снижалось.

EPR более крупных копепоид AS возрастала с 1.7 ± 0.1 до 3.3 ± 0.2 яиц/самка/сут с увеличением концентрации PRO от 3×10^3 до 87×10^3 кл./мл (с 0.9 до 25.6 мкг С/мл), и варьировала от 3.2 ± 0.5 до 4.4 ± 0.6 яиц/самка/сут в диапазоне концентрации ISO (0.3 – 7.6) $\times 10^6$ кл./мл (от 8.9 до 195.9 мкг С/мл) (табл. 2). Максимальные значения EPR для AS (3.3 и 4.4 яиц/самка/сут при питании PRO и ISO составляли 34 и 45% углеродного эквивалента массы тела самок, соответственно).

Эффективность использования потребленной пищи на производство яиц (GGE , %) для CA варьировала в пределах 1.2 – 16.9% при питании ISO и от 11.9 – 51.8% при питании PRO; для AS – 2.5 – 9.5% (ISO), и 6.4 – 34.5% (PRO). Максимальные значения GGE для CA составляли 16.9% (ISO) и 51.8% (PRO), что совпадало с максимальными значениями среднесуточной продукции яиц, соответствующими рационам

Таблица 1. Среднесуточная продукция яиц самками *Calanipeda aquaedulcis* (2.4 мкг С/экз.) при разной концентрации микроводорослей (M ± SD, 95% CI)

Концентрация микроводорослей		Суточные рационы (<i>G</i>)			Среднесуточная продукция яиц (<i>EPR</i>)		Эффективность использования потребленной пищи на производство яиц (<i>GGE</i> , %)
Кл./мл	мкг С/мл	10 ³ × кл./экз./сут	мкг С/экз./сут	мкг С/ мкг С/ сут, %*	Яйца/самка/сут	мкг С/самка/сут	
<i>Isochrysis galbana</i>							
6.6 × 10 ⁶	170.4	1387	35.9	1494	1.5 ± 0.1	0.4	1.2
2.0 × 10 ⁶	50.8	1352	35.0	1456	10 ± 0.2	2.8	8.0
0.6 × 10 ⁶	15.4	706	18.3	760	11 ± 0.2	3.1	16.9
0.2 × 10 ⁶	4.2	331	8.6	356	4.5 ± 0.4	1.3	14.6
<i>Prorocentrum cordatum</i>							
129 × 10 ³	37.9	74	21.8	905	9.3 ± 0.5	2.6	11.9
46 × 10 ³	13.5	48	14.2	590	10.5 ± 0.9	3.0	20.8
13 × 10 ³	3.9	20	5.8	241	10.7 ± 1.2	3.0	51.8
5 × 10 ³	1.4	8	2.4	98	4.0 ± 0.5	1.1	47.2

*Суточные рационы копепод, выраженные в углеродных единицах в процентах относительно массы копепод.

Таблица 2. Среднесуточная продукция яиц самками *Arctodiaptomus salinus* (7.12 мкг С/экз.) при разной концентрации микроводорослей (M ± SD, 95% CI)

Концентрация микроводорослей		Суточные рационы (G)			Среднесуточная продукция яиц (EPR)		Эффективность использования потребленной пищи на производство яиц (GGE, %)
Кл./мл	мкг С/мл	$10^3 \times$ кл./экз./сут	мкг С/экз./сут	мкг С/мкг С/сут, %*	Яйца/самка/сут	мкг С/самка/сут	
<i>Isochrysis galbana</i>							
7.6×10^6	195.9	3894	100.9	1415	4.2 ± 0.6	3.1	3.1
2.4×10^6	61.9	3623	93.8	1317	3.2 ± 0.5	2.3	2.5
0.8×10^6	21.7	2309	60	839	4.3 ± 0.6	3.1	5.2
0.3×10^6	8.9	1306	33.8	475	4.4 ± 0.6	3.2	9.5
<i>Prorocentrum cordatum</i>							
87×10^3	25.6	129	37.8	530	3.3 ± 0.2	2.4	6.4
26×10^3	7.6	74	21.8	306	2.1 ± 0.2	1.5	6.9
8×10^3	2.4	31	9.1	128	2.7 ± 0.2	1.9	21.2
3×10^3	0.9	12	3.5	49	1.7 ± 0.1	1.2	34.5

*Суточные рационы копепод, выраженные в углеродных единицах в процентах относительно массы копепод.

углерода микроводорослей 760 и 240%, полученными при концентрациях 0.6 × 10⁶ кл./мл (15.4 мкг С/мл) ISO и 13 × 10³ кл./мл (3.9 мкг С/мл) PRO. Максимальные значения GGE для AS (9.5 и 34.5%) соответствовали рационам (в процентах от углеродного эквивалента тела копепод) 49 и 475%, зарегистрированным при концентрациях микроводорослей 0.3 × 10⁶ кл./мл (8.9 мкг С/мл) ISO и 3 × 10³ кл./мл (0.9 мкг С/мл) PRO.

Трофические условия, в которых находятся копеподы, влияют как на их рацион, так и на воспроизводство. На скорость потребления корма копеподами и на связанную с питанием

ОБСУЖДЕНИЕ

скорость продукции яиц оказывают влияние как качество (размеры, морфология, связанный с таксономией биохимический состав), так и количество потребленных микроводорослей. Как показали наши исследования, таксономический статус и, соответственно, размеры и состав микроводорослей, безусловно, влияют на характер питания и репродуктивные характеристики самок каланоидных копепод *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus*.

Считается, что продуцирование качественных жизнеспособных яиц каланоидными копеподами связано с наличием и усвоением некоторых полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), в частности, высоконенасыщенных эйкозапентаеновой (ЭПК, 20:5n3) и докозагексаеновой (ДГК, 22:6n3) (Lacoste et al., 2001). Используемые нами в экспериментах *Isochrysis galbana* и *Prorocentrum cordatum* относятся к оптимальным для воспроизводства не только обоих видов солоноватоводных (Аганесова, 2021), но и морских копепод рода *Acartia* (Ханайченко, 1999; Støttrup, Jensen, 1990) и рода *Calanus* (Lacoste et al., 2001). Оба вида микроводорослей содержат достаточное количество ЭПК и ДГК: 14% ЭПК и 28% ДГК от общего количества жирных кислот в составе *P. cordatum* и 10.3% ЭПК и 34% ДГК в составе *I. galbana* (Suh et al., 2015).

Общие тенденции в питании копепод СА и AS микроводорослями во многом сходны с таковыми морских каланоидных копепод с близкими размерными характеристиками. Суточные рационы СА и AS оказались сопоставимы с рационами близких им по размеру копепод рода *Acartia* при питании микроводорослями при такой же температуре. При сходных концентрациях динофлагеллят *P. cordatum* ($8-13 \times 10^3$ кл./мл) суточный рацион копеподы *Acartia clausi* составлял 5×10^4 кл./экз./сут (Ковалева, 1977), а *A. tonsa* — 4×10^4 кл./экз./сут (Besiktepe, Dam, 2020), что сопоставимо с полученными в наших экспериментах рационами СА (2×10^4 кл./экз./сут) и AS (3×10^4 кл./экз./сут).

Удельные суточные рационы, выраженные в процентном отношении к углеродному эквиваленту тела копепод рода *Acartia*, при высоких концентрациях микроводорослей часто превышают 100% углерода тела копепод (Durbin, Durbin, 1992) и достигают 360% (Paffenhöffer, 1988) и 570% (Besiktepe, Dam, 2020) у *A. tonsa*, а

также 660% у *A. hudsonica* (Deason, 1980). В наших экспериментах удельные суточные рационы при питании *P. cordatum* достигали ~ 530% углеродного эквивалента массы AS и ~ 900% СА.

При высоких концентрациях микроводорослей не наблюдалось значимой корреляции между рационом и скоростью продукции яиц копеподами. Несмотря на высокие рационы, они демонстрировали невысокую скорость продукции яиц, свойственную этим видам. Максимум *EPR* СА составлял приблизительно 11 яиц/самка/сут (129% углерода от массы тела самки) при концентрациях ISO 15.4 мкг С/мл (0.6×10^6 кл./мл) и PRO 3.9 мкг С/мл (13.3×10^3 кл./мл). Превышение этих концентраций приводило к снижению *EPR*. Максимальные значения *EPR* AS — 3.3 и 4.4 яиц/самка/сут (45 и 34% углеродного эквивалента массы самки), получены при концентрациях ISO от 8.9 мкг С/мл (0.3×10^6 кл./мл) и PRO от 25.6 мкг С/мл (87×10^3 кл./мл), соответственно. Максимумы *EPR*, полученные в нашем исследовании, согласуются с максимальными значениями для СА (~10 яиц/самка/сут) и ~ 3.5 яйца/самка/сут для AS) (Аганесова, 2021). Близкие *EPR* AS были получены в оптимальных условиях проточного культивирования (~ 2.7 яйца/самка/сут) (Tolomeev, 2002). Низкие максимальные скорости продукции яиц изученных нами солоноватоводных копепод по сравнению с морскими планктонными каланоидными копеподами, откладывающими яйца в воду, по-видимому, компенсируются более высокой выживаемостью науплиусов в связи с вынашиванием яиц самкой в яйцевых мешках, и более высокой выживаемостью СА и AS на протяжении более длительного жизненного цикла (Аганесова, 2021).

Эффективность использования потребленной пищи на производство яиц (*GGE*) AS и СА оказалась сходной с *GGE* морских каланоидных копепод, откладывающих яйца непосредственно в воду, например, таких как *A. tonsa*. При суточном рационе 11.5 мкг С/экз./сут PRO (340% углеродной массы тела самок), *GGE* *A. tonsa* составляла ~ 30% (Besiktepe, Dam, 2020). При суточном рационе ISO > 320% углеродной массы тела самок, *GGE* *A. tonsa* составляла 24% (Støttrup, Jensen, 1990).

У самок СА максимальные значения *GGE* составляли 16.9% при питании ISO и 51.8% при

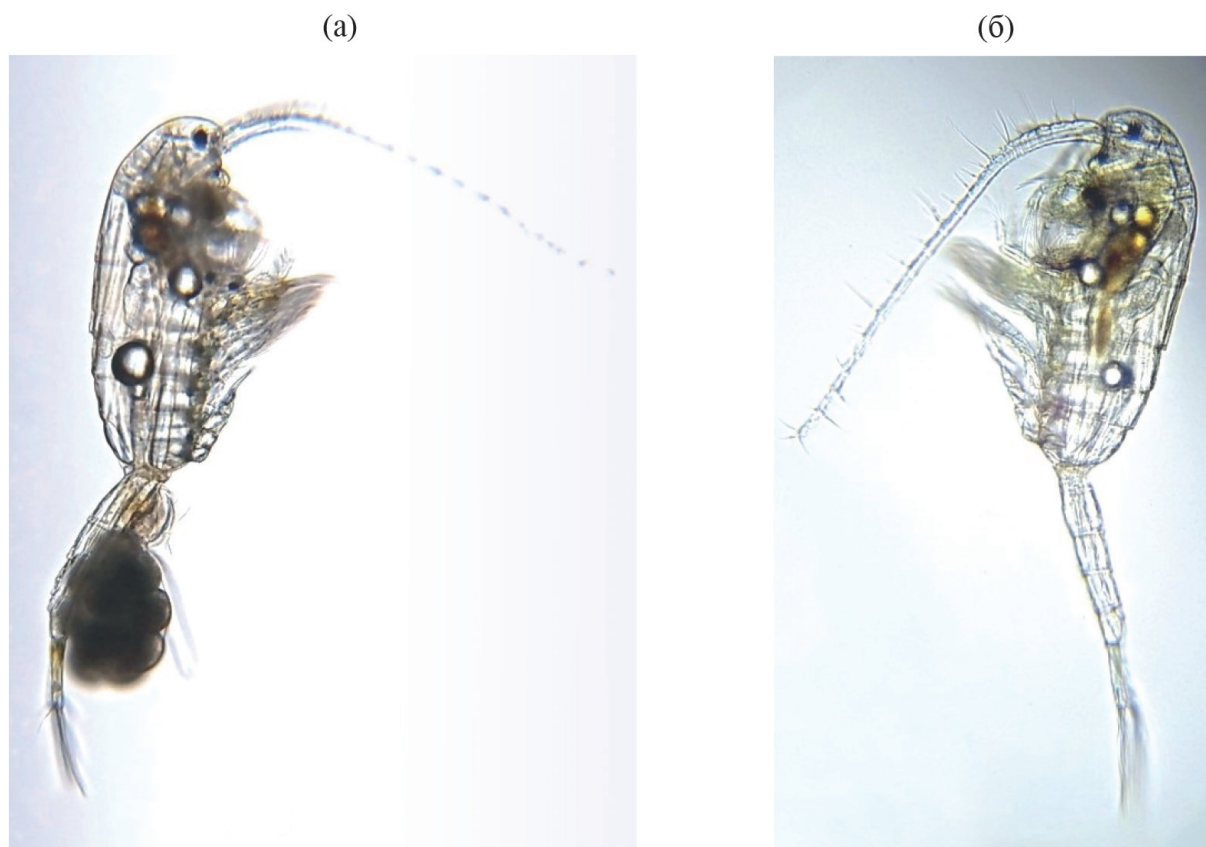


Рис. 2. Самка (а) и самец (б) *Calanipeda aquaedulcis* с жировыми каплями после избыточного кормления микроводорослями (Фото Л.С. Светличного).

питании PRO при рационах 760 и 241% углеродной массы их тела, и совпадали с условиями, при которых были получены максимальные *EPR*. Максимальные значения *GGE* копепоиды AS оказались значимо ниже, чем у СА (9.5% при суточном рационе 475% на ISO и 34.5% при рационе 49% на PRO), в то время как максимумы *EPR* были получены при более высоких концентрациях и рационах.

Эффективность использования пищи на производство яиц определяет эффективность переноса энергии по трофическим уровням. В условиях низкой концентрации энергия потребленных микроводорослей расходуется исключительно на обмен и двигательную активность копепоид. Возрастание концентрации пищи до критической, обеспечивающей все потребности копепоид, включая метаболизм и максимально возможную для вида скорость генеративной продукции, приводит к избыточному питанию, при котором скорость производства яиц сначала выходит на плато, а затем, даже при возрастании рационов, снижается.

Избыточное питание копепоид снижает эффективность использования пищи на генеративную продукцию и приводит к аккумуляции жира в виде липидных капель в теле копепоид (рис. 2), которые в дальнейшем при недостатке пищи могут использоваться для поддержания метаболизма.

Удельные рационы, скорость продукции яиц и эффективность использования пищи на генеративную продукцию у СА оказались значительно выше, чем у AS, независимо от вида микроводоросли. Очевидно, это является подтверждением более высокого уровня метаболизма мелкоразмерного вида копепоид, так как ранее показано, что удельная скорость потребления кислорода у СА вдвое выше по сравнению с AS (Svetlichny et al., 2012b).

Известно, что основными запасными веществами у AS являются триацилглицериды, в которых доминируют высоконенасыщенные жирные кислоты при варьирующем процентном соотношении от 3.0/0.3 до 12.4/17.8 докозагексаеновой (ДГК, 22:6n3) и эйкозапентаеновой

(ЭПК, 20:5n3) кислот (Tolomeev et al., 2010). В составе самок AS из морских эстуариев обнаруживали до 20-22% ЭПК и 10-12% ДГК (Guerrero et al., 2007), в то время как в составе СА присутствовали преимущественно мононенасыщенные жирные кислоты и только следы ПНЖК (Gonçalves et al., 2012). Редко находили до 7% ЭПК и до 9% ДГК (Vincent, Cessaldi, 1988).

Каланоидные копеподы имеют ограниченную способность к синтезу высоконенасыщенных жирных кислот, таких как ДГК и ЭПК, и вариабельность их жирнокислотного состава в значительной степени определяется различиями жирнокислотного состава микроводорослей, которыми они питаются. Анализ эффективности использования разных высоконенасыщенных жирных кислот при питании разными видами микроводорослей на производство яиц копеподами показал, что *GGE* по ДГК остается всегда выше *GGE* по ЭПК (Helenius et al., 2020). Поэтому очевидно, содержание и соотношение этих двух ненасыщенных жирных кислот в составе микроводорослей является одним из основных факторов, оказывающих влияние на репродуктивные характеристики каланоидных копепод. Возможно, различия в содержании высоконенасыщенных жирных кислот могут объяснить более высокие значения *GGE PRO* по сравнению с *ISO* при более низких концентрациях пищи.

Копеподы имеют видоспецифичные соотношения разных классов каротиноидов, которые оказывают различную степень антиоксидантной защиты по отношению к разным ненасыщенным жирным кислотам (Vincent, Cessaldi, 1988). Ранее нами было обнаружено, что в одинаковых трофических условиях при более высоком суммарном содержании каротиноидов у AS в составе его каротиноидов доминировал этерифицированный астаксантин (62.5%), а в составе СА — его свободная форма (47.5%) (Ханайченко и др., 2014).

Различия в эффективности использования потребленной пищи на производство яиц, в жирнокислотном и каротиноидном составе копепод СА и AS связаны с особенностями биологии, метаболизма и стратегии размножения видов. Для выживания СА важна скорость производства яиц без включения диапаузирующих стадий, а для AS необходимо накопление

определенных незаменимых компонентов, обеспечивающих выживаемость потомства в экстремальных условиях.

Пищевые сети планктонных копепод играют важную роль в глобальном цикле переноса органического углерода на более высокие трофические уровни. Понимание роли конкретных видов копепод в конвертировании углерода из потребленной пищи в их генеративную продукцию имеет большое значение для прогнозирования изменений в функционировании водных экосистем.

ВЫВОДЫ

Рационы обоих видов копепод увеличивались логарифмически с возрастанием концентрации микроводорослей. Максимальные суточные рационы копепод при питании *Isochrysis galbana* с концентрацией 170-196 мкг С/мл составили 1.4×10^6 кл./экз./сут или 1500% углерода тела *Calanipeda aquaedulcis* и 3.9×10^6 кл./экз./сут или 1400% углерода тела *Arctodiaptomus salinus*. Максимальные суточные рационы копепод при питании *Prorocentrum cordatum* с концентрацией 26-38 мкг С/мл составили 7.4×10^4 кл./экз./сут или 900% углерода тела *C. aquaedulcis* и 12.9×10^4 кл./экз./сут или 530% углерода тела *A. salinus*.

EPR у самок *C. aquaedulcis* была максимальной (11 яиц/самка/сут, 129% массы тела самки в углеродном эквиваленте) при концентрациях *I. galbana* 15.4 мкг С/мл (0.6×10^6 кл./мл) и *P. cordatum* 4 мкг С/мл (13×10^3 кл./мл). Выше этих критических концентраций производство яиц снижалось, несмотря на возрастание рациона.

EPR у самок *A. salinus* возрастала до 3.3 яиц/самка/сут (34% углеродного эквивалента массы самки) при концентрации *P. cordatum* 87×10^3 кл./мл (26 мкг С/мл), и до 4.4 яиц/самка/сут (45% углеродного эквивалента массы самки) при концентрации *I. galbana* 8.9 мкг С/мл (0.3×10^6 кл./мл). Рацион питания копеподы *A. salinus* (при питании *I. galbana*) выше 475% углеродного эквивалента массы тела не приводил к увеличению скорости продукции яиц.

GGE были значимо ниже у *A. salinus* по сравнению с *C. aquaedulcis* — максимум 9.5% по сравнению с 16.9% при питании *I. galbana*, и максимум 34.5% и 51.8% при питании *P. cordatum*.

Максимальные значения *GGE* у *C. aquaedulcis* совпадали с максимальными значениями *EPR* и с относительными углеродными рационами 760 и 240% при питании *I. galbana* и *P. cordatum*, соответственно. Максимальные значения *GGE* у самок *A. salinus* были получены при питании *I. galbana* и *P. cordatum* (475 и 49% соответственно).

Максимальные значения суточного рациона (в углеродном эквиваленте), плодовитости и эффективности использования пищи на генеративную продукцию у *C. aquaedulcis* оказались значимо выше, чем у *A. salinus*, и не зависели от вида и концентрации микроводорослей, указывая на более высокий уровень метаболизма мелкоразмерной копеподы *C. aquaedulcis*.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность в.н.с., к.б.н. В.С. Муханову за предоставление данных по концентрации клеток микроводорослей методом проточной цитометрии и всестороннюю помощь и поддержку при написании рукописи, а также двум рецензентам за ценные замечания и предложения, которые способствовали улучшению рукописи.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Комплексное исследование механизмов функционирования морских биотехнологических комплексов с целью получения биологически активных веществ из гидробионтов» (№ гос. регистрации 124022400152-1).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека и животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аганесова Л.О. Длительность развития копепоид *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* при разном температурном режиме культивирования // Мор. экол. журн. 2013. Т. 12. № 1. С. 19–25.

Аганесова Л.О. Размножение и развитие солоноватоводных копепоид при кормлении микроводорослями разных видов // Биол. моря. 2021. Т. 47. № 2. С. 108–114. doi: 10.31857/S0134347521020029

Вьюшкова В.П., Гурова Т.В. Находка солоноватоводного рачка *Calanipeda aquaedulcis* Krich (Copepoda, Calanoidae) в Волгоградском водохранилище // Зоол. журн. 1968. Т. 47. № 11. С. 1726–1727.

Гарбер Б.И. Наблюдения за развитием и размножением *Calanipeda aquae dulcis* Krich (Copepoda: Calanoida) // Тр. Карадаг. биол. ст. 1951. Т. 2. С. 3–55.

Гулько А.Ф., Алдакимова А.Я. Материалы о питании *Calanipeda aquaedulcis* (Crustacea, Calanoida) в Азовском море // Тр. АЗНИИРХ. 1963. Вып. 6. С. 3–5.

Ковалева Т.М. Влияние размеров и морфологических особенностей водорослей на потребление их копеподами // Биол. моря. 1977. Т. 42. С. 28–33.

Кортунова Т.А., Буляева Л.Ф., Ярыгина О.К. Рачок калянипеда в Аральском море // Рыб. хоз-во. 1972. № 7. С. 32–34.

Куделина Е.Н. Влияние температуры на размножение, развитие и плодовитость *Calanipeda aquaedulcis* Krich // Тр. Касп. бассейна. фил. ВНИРО. 1950. Т. 11. С. 265–286.

Ханайченко А.Н. Влияние микроводорослевой диеты на характеристики воспроизводства копепоид // Экол. моря. 1999. Т. 49. С. 56–61.

Ханайченко А.Н., Поспелова Н.А., Аганесова Л.О., Рауэн Т.В. Каротиноидный состав каляноидных копепоид *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* при питании *Dunaliella salina* // Мор. экол. журн. 2014. Т. 13. № 1. С. 82–87.

Шадрин Н.В., Батогова Е.А., Конейка А.В. *Arctodiaptomus salinus* (Daday, 1885) (Copepoda, Diaptomidae), редкий в северо-западной части Черного моря вид, обычен в прибрежных водах Крыма // Мор. экол. журн. 2008. Т. 7. № 2. С. 86.

Andreev N.I., Plotnikov I.S., Aladin N.V. The fauna of the Aral Sea in 1989. 2. The zooplankton // Int. J. Salt Lake Res. 1992. V. 1. № 1. P. 111–116. doi: 10.1007/bf02904955

Barkhatov Y.V., Tolomeev A.P., Drobotov A.V. The response of zooplankton abundance in saline meromictic Lake Shira to a change in circulation regime // J. Ocean. Limnol. 2023. V. 41. P. 1321–1330. doi: 10.1007/s00343-022-2132-z

Berggreen U., Hansen B., Kiørboe T. Food size spectra, ingestion and growth of the copepod *Acartia tonsa* during development: implications for determination of copepod production // Mar. Biol. 1988. V. 99. № 3. P. 341–352. doi: 10.1007/bf02112126

- Besiktepe S., Dam H.G. Effect of diet on the coupling of ingestion and egg production in the ubiquitous copepod // *Acartia tonsa*, Prog. Oceanogr. 2020. V 186. Art. ID 102346. doi: 10.1016/j.pocean.2020.102346
- Brucet S., Compte J., Boix D. et al. Feeding of nauplii, copepodites and adults of *Calanipeda aquaedulcis* (Calanoida) in Mediterranean salt marshes // Mar. Ecol.: Prog. Ser. 2008. V. 355, P. 183–191. doi 10.3354/meps07225
- Coutteau P. Micro-Algae / Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture, FAO Fisheries Technical Paper, № 361, P. Lavens, P. Sorgeloos, Eds., Rome: FAO. 1996. P. 7–48.
- Dam H.G., Colin S.P. *Prorocentrum minimum* (clone Exuv) is nutritionally insufficient, but not toxic to the copepod *Acartia tonsa* // Harmful Algae. 2005. V. 4. P. 575–584. doi: 10.1016/j.hal.2004.08.007
- Deason E.E. Grazing of *Acartia hudsonica* (*A. clausi*) on *Skeletonema costatum* in Narragansett Bay (USA): Influence of food concentration and temperature // Mar. Biol. 1980. V. 60. P. 101–113. doi: 10.1007/BF00389153
- Durbin E.G., Durbin A.G. Effects of temperature and food abundance on grazing and short term weight change in the marine copepod *Acartia hudsonica* // Limnol. Oceanogr. 1992. V. 37. № 2. P. 361–378. doi: 10.4319/lo.1992.37.2.0361
- Frisch D., Rodríguez-Pérez H., Green A.J. Invasion of artificial ponds in Donana Natural Park, southwest Spain, by an exotic estuarine copepod // Aquat. Conserv. 2006. V. 16. № 5. P. 483–492. doi 10.1002/aqc.718
- Frost B.W. Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus* // Limnol. Oceanogr. 1972. V. 18. № 6. P. 805–815. doi 10.4319/lo.1972.17.6.0805
- Gonçalves A.M.M., Azeiteiro U.M., Pardal M.A., De Troch M. Fatty acid profiling reveals seasonal and spatial shifts in zooplankton diet in a temperate estuary // Estuarine, Coastal Shelf Sci. 2012. V. 109. P. 70–80. doi: 10.1016/j.ecss.2012.05.020
- Gubanova A.D., Prusova I.Yu., Niermann U. et al. Dramatic change in the copepod community in Sevastopol Bay (Black Sea) during two decades (1976–1996) // Senckenbergiana Maritima. 2001. V. 31. № 1. P. 17–27. doi: 10.1007/bf03042833
- Guerrero F., Jiménez-Melero R., Parra G. et al. Lipid composition of *Arctodiaptomus salinus* (Copepoda: Calanoida) // J. Freshwater Ecol. 2007. V. 22. № 1. P. 147–150. doi: 10.1080/02705060.2007.9664155
- Gurkan S., Aragoneses P., Innal D. et al. Trophic niches of two congeneric pipefishes in the Aegean Sea (Bargilya Wetland, Turkey), based on stable isotope analyses // Preprint. 2023. № 2023072072. doi: 10.20944/preprints202307.2072.v1
- Helenius L., Budge S.M., Johnson C.L. Stable isotope labeling reveals patterns in essential fatty acid growth efficiency in a lipid-poor coastal calanoid copepod // Mar. Biol. 2020. V. 167. Art. ID 178. doi: 10.1007/s00227-020-03794-8
- Jiménez-Melero R., Parra G., Guerrero F. Effect of temperature, and individual variability on the embryonic development time and fecundity of *Arctodiaptomus salinus* (Copepoda: Calanoida) from a shallow saline pond // Hydrobiologia. 2012. V. 686. P. 241–256. doi: 10.1007/s10750-012-1014-3
- Jiménez-Melero R., Parra G., Souissi S., Guerrero F. Post-embryonic developmental plasticity of *Arctodiaptomus salinus* (Copepoda: Calanoida) at different temperatures // J. Plankton Res. 2007. V. 29. № 6. P. 553–567. doi: 10.1093/plankt/fbm038
- Khanaychenko A.N., Telesh I.V., Skarlato S.O. Bloom-forming potentially toxic dinoflagellates *Prorocentrum cordatum* in marine plankton food webs // Protistology. 2019. V. 13. № 3. P. 95–125. doi: 10.21685/1680-0826-2019-13-3-1
- Kjørboe T., Sabatini M. Reproductive and life cycle strategies in egg-carrying cyclopoid and free-spawning calanoid copepods // J. Plankton Res. 1994. V. 16. № 10. P. 1353–1366. doi 10.1093/plankt/16.10.1353
- Lacoste A., Poulet S.A., Cueff A. et al. New evidence of the copepod maternal food effects on reproduction // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2001. V. 259. № 1. P. 85–107. doi: 10.1016/S0022-0981(01)00224-6
- Lapesa S., Snell T.W., Fields D.M., Serra M. Selective feeding of *Arctodiaptomus salinus* (Copepoda, Calanoida) on co-occurring sibling rotifer species // Freshwater Biol. 2004. V. 49. № 8. P. 1053–1061. doi: 10.1111/j.1365-2427.2004.01249.x
- Lazareva V.I. The Mediterranean copepod *Calanipeda aquaedulcis* Krichagin, 1873 (Crustacea, Calanoida) in the Volga River Reservoirs // Inland Water Biol. 2018. V. 11. P. 303–309. doi 10.1134/S1995082918030112
- Marrone F., Castelli G., Barone R., Naselli-Flores L. Ecology and distribution of calanoid copepods in Sicilian inland waters (Italy) // Verh. – Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. 2006. V. 29. P. 2150–2156. doi: 10.1080/03680770.2006.11903072
- Paffenhöffer G.-A. Feeding rates and behavior of zooplankton // Bull. Mar. Sci. 1988. V. 43. № 3. P. 430–445.

- Plotnikov I.S., Aladin N.V., Mossin J., Hoeg J.T. Crustacean fauna of the Aral Sea and its relation to ichthyofauna during the modern regression crisis and efforts at restoration // Zool. Stud. 2021. V. 60. № 25. doi: 10.6620/ZS.2021.60-25
- Ramdani M., Elkhiafi N., Flower R.J. et al. Open water zooplankton communities in North African wetland lakes: the CASSARINA Project // Aquatic Ecol. 2001. V. 35. № 3–4. P. 319–333. doi: 10.1023/A:1011926310469
- Rokneddine A., Chentoufi M. Study of salinity and temperature tolerance limits regarding four crustacean species in a temporary salt water swamp (Lake Zima, Morocco) // Anim. Biol. 2004. V. 54. № 3. P. 237–253. doi: 10.1163/1570756042484719
- Støttrup J.G., Jensen J. Influence of algal diet on feeding and egg-production of the calanoid copepod *Acartia tonsa* Dana // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1990. V. 141. № 2–3. P. 87–105. doi: 10.1016/0022-0981(90)90216-Y
- Svetlichny L., Hubareva E., Khanaychenko A. *Calanipeda aquaedulcis* and *Arctodiaptomus salinus* are exceptionally euryhaline osmoconformers: Evidence from mortality, oxygen consumption, and mass density patterns // Mar. Ecol.: Prog. Ser. 2012a, V. 470. P. 15–29. doi: 10.3354/meps09907
- Svetlichny L., Khanaychenko A., Hubareva E., Aganesova L. Partitioning of respiratory energy and environmental tolerance in the copepods *Calanipeda aquaedulcis* and *Arctodiaptomus salinus* // Estuarine, Coastal Shelf Sci. 2012b. V. 114. P. 199–207. doi: 10.1016/j.ecss.2012.07.023
- Suh S.S., Kim S.J., Hwang J. et al. Fatty acid methyl ester profiles and nutritive values of 20 marine microalgae in Korea // Asian Pac. J. Trop. Med. 2015. V. 8. № 3. P. 191–196. doi: 10.1016/S1995-7645(14)60313-8
- Tolomeev A.P. Phytoplankton diet of *Arctodiaptomus salinus* (Copepoda, Calanoida) in Lake Shira (Khakasia) // Aquat. Ecol. 2002. V. 36. № 2. P. 229–234.
- Tolomeev A.P., Sushchik N.N., Gulati R.D. et al. Feeding spectra of *Arctodiaptomus salinus* (Calanoida, Copepoda) using fatty acid trophic markers in seston food in two salt lakes in South Siberia (Khakasia, Russia) // Aquat. Ecol. 2010. V. 44. № 3. P. 513–530. doi: 10.1007/s10452-010-9331-y
- Ustaoglu M.R. A check-list for zooplankton of Turkish inland waters // Eur. Union J. Fish. Aquat. Sci. 2004. V. 21. № 3–4. P. 191–199.
- Vincent M., Ceccaldi H.J. Relations entre acides gras et pigments caroténoïdes chez un crustacé copépode, *Calanipeda aquae-dulcis* // Biochem. Syst. Ecol. 1988. V. 16. № 3. P. 317–324. doi: 10.1016/0305-1978(88)90017-8

Effect of Microalgae Species and Concentration on Grazing Rate and Egg Production of Copepods *Calanipeda aquaedulcis* Kritschagin, 1873 and *Arctodiaptomus salinus* (Daday, 1885)

L. O. Aganesova^a, A. N. Khanaychenko^a

^aKovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol 299011, Russia

The effect of concentration of the microalgae, haptophyte *Isochrysis galbana* and dinophyte *Prorocentrum cordatum*, on the daily grazing rate (*G*) and daily egg production rate (*EPR*) of the brackish-water copepods *Arctodiaptomus salinus* and *Calanipeda aquaedulcis* was studied under experimental conditions. Daily grazing rates of copepods increased logarithmically with increasing microalgae concentration. The maximum grazing rates in both species were observed when feeding on *I. galbana* at a concentration of 170–196 µg C/mL. The maximum daily *EPR* in females of *C. aquaedulcis* (129% of body weight in carbon equivalent) were obtained when they fed on *I. galbana* at a concentration of 15.4 µg C/mL, or on *P. cordatum* at 4 µg C/mL. The maximum *EPR* values in *A. salinus* females were 34% of their weight in carbon equivalent when feeding on *P. cordatum* at a concentration of 26 µg C/mL, and 45% in their carbon equivalent at 8.9 µg C/mL of *I. galbana*. The further increase in the microalgae concentration led to the decrease in *EPR* values. The efficiency of ingested food utilization for egg production in carbon equivalent (gross growth efficiency, *GGE*, %) of *C. aquaedulcis* was significantly higher than that of *A. salinus*, regardless of the species and concentration of microalgae.

Keywords: copepods, *Arctodiaptomus salinus*, *Calanipeda aquaedulcis*, grazing rate, egg production rate