

УДК 595.34:591.13:582.26/.27

## РАЗМНОЖЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СОЛОНАТОВОДНЫХ КОПЕПОД ПРИ КОРМЛЕНИИ МИКРОВОДОРОСЛЯМИ РАЗНЫХ ВИДОВ

© 2021 г. Л. О. Аганесова\*

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь 299011, Россия

\*e-mail: la7risa@gmail.com

Поступила в редакцию 30.07.2019 г.

После доработки 28.01.2020 г.

Принята к публикации 27.04.2020 г.

В экспериментальных условиях определены продолжительность развития, выживаемость и репродуктивные характеристики копепод *Calanipeda aquaedulcis* (Krichagin, 1873) и *Arctodiaptomus salinus* (Daday, 1885) в зависимости от диеты из монокультур микроводорослей трех разных систематических групп. Наилучшие показатели выживаемости отмечены у копеподы *C. aquaedulcis*, питавшейся микроводорослью *Prorocentrum cordatum* (Ostenfeld) J.D. Dodge, 1975. У *A. salinus* выживаемость была максимальной при кормлении микроводорослью *Isochrysis galbana* Parke, 1949. Длительность онтогенеза *C. aquaedulcis* при любой из трех диет составила 14 сут. У *A. salinus* наименьшая продолжительность развития (18 сут) выявлена при кормлении *Rhodomonas salina* (Wislouch) Hill & Wetherbee, 1989. У самок *C. aquaedulcis*, питавшихся *P. cordatum* и *I. galbana*, отмечен 100% выклев науплиев, однако при питании *Rh. salina* выклев снижался до 86%. Установлено, что у самок *C. aquaedulcis* среднесуточная плодовитость за жизненный цикл в 2 раза выше, чем у *A. salinus*. Для самок *A. salinus*, получавших разное питание, установлены достоверные различия средней длины просомы и диаметра выметанных яиц; у *C. aquaedulcis* эти показатели не зависели от вида пищи.

**Ключевые слова:** копеподы, *Arctodiaptomus salinus*, *Calanipeda aquaedulcis*, культивирование, выживаемость, развитие, *Prorocentrum cordatum*, *Rhodomonas salina*, *Isochrysis galbana*

**DOI:** 10.31857/S0134347521020029

Копеподы — основные кормовые организмы для личинок и планктоноядных взрослых рыб в естественных условиях (Poulet, Williams, 1991), а также перспективные объекты культивирования в качестве живого корма для личинок ценных морских рыб, выращиваемых в хозяйствах марикультуры (Støttrup et al., 1986; Семик, 1988; Marcus, 2005; Новоселова, Туркулова, 2008).

Распространенная в Европе, Азии и Северной Африке копепода *Arctodiaptomus salinus* (Daday, 1885) — галобионт, обитающий в солоноватоводных и соленых континентальных водоемах, населяющий в основном стоячие воды как малых горных бассейнов, так и больших соленых озер (Tolomejev, 2002). Единственный вид рода *Calanipeda aquaedulcis* (Krichagin, 1873) относится к солоноватоводному комплексу, имеет морское происхождение и является промежуточной формой адаптации к пресным водам (Grindley, 1984). В минерализованных водах, например, Средиземноморского бассейна, он конкурирует с *A. salinus* (см.: Samchyshyna, 2008).

Широкий диапазон соленостной толерантности каляноидных копепод *A. salinus* и *C. aquaedulcis* (Губарева, Светличный, 2011) позволяет использовать их в качестве ценных живых кормов для личинок рыб, обитающих при разных оптимумах солености — от эстуарных до океанических. Еще

одно преимущество этих видов копепод состоит в том, что в отличие от морских Calanoida у них отсутствует каннибализм: взрослые особи не выедают собственные яйца и ранние науплиальные стадии, поэтому науплиальные, копепоидные и взрослые стадии можно выращивать совместно. Для кормления личинок разных видов кефалей и калкана оба вида копепод отлавливали в естественных водоемах (Семик, 1988) или культивировали экстенсивно в неконтролируемых условиях мезокосмов в смешанной с другими видами зоопланктона поликультуре (Khanaichenko et al., 1994; Новоселова, Туркулова, 2008). Однако методики массового интенсивного культивирования копепод в строго контролируемых температурных и трофических условиях еще дорабатываются. Поэтому цель настоящей работы заключалась в определении продукционных и репродуктивных характеристик *A. salinus* и *C. aquaedulcis* при оптимальных температурных условиях в зависимости от питания микроводорослями разных видов для разработки методики искусственного выращивания этих видов копепод.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Эксперименты проводили на лабораторных культурах копепод *Arctodiaptomus salinus* и *Calanipe-*

*da aquaedulcis* при оптимальной для выживаемости и развития обоих видов температуре  $21 \pm 1.5^\circ\text{C}$  (Аганесова, 2013).

В качестве корма использовали широко распространенные в природе и легко культивируемые в искусственных условиях микроводоросли *Isochrysis galbana* Parke, 1949 (Prymnesiophyceae), *Rhodomonas salina* (Wislouch) Hill & Wetherbee, 1989 (Cryptophyceae) и *Prorocentrum cordatum* (Ostenfeld) J.D. Dodge, 1975 (Dinophyceae). По размерам эти микроводоросли подходят для питания копепод на разных стадиях развития. Источником моновидовых накопительных культур микроводорослей служили линии, полученные из музея-коллекции живых культур морских микроводорослей Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН (Стельмах, Галатова, 2003). Микроводоросли выращивали в накопительном режиме на основе стерилизованной черноморской воды, обогащенной средой Уолна (Coutteau, 1996), при температуре  $24 \pm 1.5^\circ\text{C}$  и круглосуточном освещении 5 тыс. лк люминесцентными лампами LD-40. Для кормления копепод использовали микроводоросли из культур, находившихся в стадии экспоненциального роста, которые считаются наиболее качественным кормом и могут избирательно потребляться зоопланктоном (Петипа, Тен, 1971).

При создании культуральной среды для выращивания копепод (суспензия микроводорослей в стерилизованной морской воде) использовали черноморскую воду ( $17.8 \pm 0.2\text{‰}$ ), прошедшую грубую очистку, а затем отстоянную, механически очищенную последовательной фильтрацией через картриджные фильтры (размер пор 10, 5 и 1 мкм) и стерилизованную с помощью ультрафиолета с последующей двукратной пастеризацией. В лабораторных экспериментах использовали цилиндрические стеклянные сосуды объемом 50 мл, которые находились в условиях круглосуточного освещения 2000 лк. Культуральную среду в экспериментальных сосудах меняли каждые 2–3 сут.

Адаптацию копепод к питанию микроводорослями определенного вида проводили в течение 2–3 нед. Концентрация пищи составляла 0.02–0.08 мг сухой массы/мл. Таким образом были получены 6 лабораторных культур копепод *A. salinus* и *C. aquaedulcis*, адаптированных к питанию микроводорослями известного вида, которые использовали в экспериментах.

При изучении репродуктивных характеристик копепод *A. salinus* и *C. aquaedulcis* из лабораторных культур в экспериментальные сосуды отсаживали по одной самке с яйцами (по 25 повторов для каждой культуры). Определяли длину просомы самок и диаметр яиц, подсчитывали количество яиц в кладке (абсолютная плодовитость, яиц/самку) и выклюнувшихся жизнеспособных науплиев (% выклева).

Для определения плодовитости копепод *A. salinus* и *C. aquaedulcis* за жизненный цикл из лабо-

раторных культур копепод в экспериментальные сосуды отсаживали по две половозрелых самки и одному самцу (по 25 повторов для каждой культуры). Определяли интервал вымета яиц самками, длительность эмбрионального развития яиц, продолжительность репродуктивного периода и среднесуточную продукцию яиц (EP) – среднее количество яиц, откладываемых самкой в сутки за репродуктивный период и за жизненный цикл. Все наблюдения за копеподами проводили прижизненно с периодичностью 1–3 сут под микроскопом МБС-12 при увеличении  $2 \times 8$  и  $4 \times 8$ .

С целью определения продолжительности развития и выживаемости копепод *A. salinus* и *C. aquaedulcis* от первой науплиальной (N1) до шестой копеподитной (С6) стадии из лабораторных культур копепод в экспериментальные сосуды отсаживали по 15 науплиусов N1 (плотность 0.3 экз/мл). Эксперименты проводили в шести повторностях для каждого вида культуры.

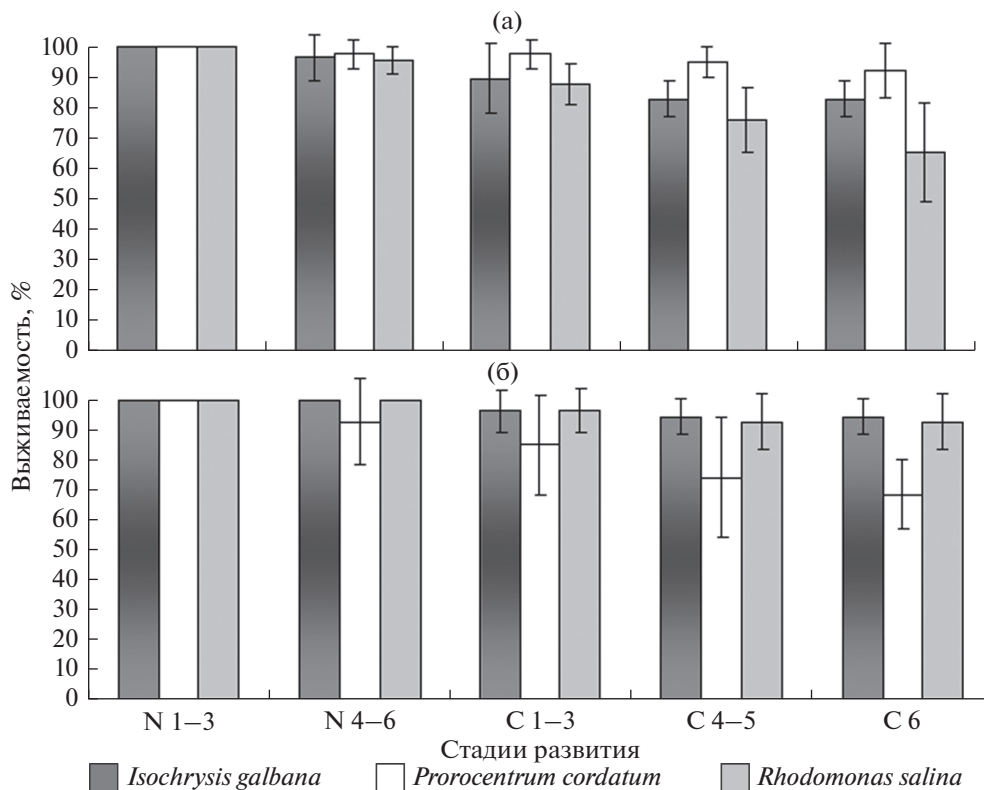
Стадии развития копепод определяли прижизненно в камере Богорова под бинокляром при увеличении  $2 \times 8$  и  $4 \times 8$ . Выживаемость оценивали как процент особей, выживших при прохождении всех стадий от стадии N1 до С6. Продолжительность развития устанавливали как средний временной интервал развития особей от N1 до достижения половозрелости на стадии С6.

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Выживаемость копеподы *Calanipeda aquaedulcis* на протяжении линек от стадии N1 до С6 зависела от вида микроводоросли и при кормлении *Prorocentrum cordatum* составила  $92.5 \pm 8.9\%$ , *Isochrysis galbana* –  $83 \pm 5.9\%$  и *Rhodomonas salina* –  $65 \pm 16.3\%$  (рис. 1). Выживаемость копеподы *Arc-todiaptomus salinus* также варьировала в зависимости от вида микроводоросли, которой она питалась. Минимальная ( $68.6 \pm 11.5\%$ ) выживаемость *A. salinus* на протяжении всех линек от стадии N1 до стадии С6 отмечена при питании *P. cordatum*, максимальная ( $94.5 \pm 6.1\%$ ) – при питании *I. galbana*.

Длительность онтогенеза *C. aquaedulcis* при питании микроводорослями *Rh. salina*, *I. galbana* и *P. cordatum* составила  $14 \pm 0.1$  сут (рис. 2), при этом продолжительность науплиального периода развития была наименьшей ( $6 \pm 0.1$  сут) у особей, питавшихся *I. galbana* и *Rh. salina*, а копеподитного ( $7 \pm 0.2$  сут) – у особей, потреблявших *P. cordatum*. Продолжительность развития от первого науплиуса до взрослой стадии у копеподы *A. salinus* оказалась значительно больше, чем у *C. aquaedulcis*. Наименьшая ( $18 \pm 0.3$  сут) продолжительность развития копеподы *A. salinus* выявлена при кормлении микроводорослью *Rh. salina*; продолжитель-



**Рис. 1.** Выживаемость копепоид *Calanipeda aquaedulcis* (а) и *Arctodiaptomus salinus* (б) в эксперименте в зависимости от питания микроводорослями разных видов (М, С1, 95%;  $n = 15$ ). Различия выживаемости значимы ( $p < 0.05$ ) для стадий С4–5 и С6 (для *C. aquaedulcis* – диеты *Prorocentrum cordatum* и *Rhodomonas salina*) и С6 (для *A. salinus* – диеты *Prorocentrum cordatum* и *Isochrysis galbana*); для остальных стадий  $p > 0.05$ .

ность науплиального периода в этом случае составила  $7 \pm 0.1$  сут, а копепоидного –  $11 \pm 0.3$  сут.

**Соотношение полов** у достигших взрослой стадии копепоид обоих видов также варьировало в зависимости от питания (табл. 1), но различия не были достоверными ( $p > 0.05$ ). У копепоиды *C. aquaedulcis* доля самцов была наименьшей ( $20.8 \pm 8.3\%$ ) в культуре, питавшейся *I. galbana*, и возрастала до  $42.7 \pm 6.3\%$  при использовании в качестве корма *P. cordatum*. У особей *C. aquaedulcis*, питавшихся микроводорослью *Rh. salina*, соотношение полов было практически равным. Для копепоиды *A. salinus* наиболее заметное преобладание самцов ( $56.1 \pm 12.7\%$ ) отмечено при питании *I. galbana*; среди особей, питавшихся *Rh. salina*, доля самцов была наименьшей ( $19.7 \pm 20.1\%$ ).

**Морфологические характеристики** генераций копепоид, питавшихся монокультурами микроводорослей, могут варьировать. Определены достоверные различия размеров яиц и средней длины просомы у самок копепоиды *A. salinus* в зависимости от питания. У копепоид, получавших в качестве корма *Rh. salina*, длина просомы составляла  $0.99 \pm 0.02$  мм, а у копепоид, питавшихся *I. galbana*, –  $1.126 \pm 0.013$  мм. В зависимости от предложенного корма средний диаметр яиц составлял  $92 \pm 4$  (*P. cordatum*),  $103 \pm 5$  (*Rh. salina*) и  $134 \pm 5$  мкм

(*I. galbana*). Достоверных различий по влиянию вида микроводорослей на абсолютную плодовитость *A. salinus*, как и на процент выклева науплиев, не выявлено (табл. 2).

У копепоиды *C. aquaedulcis* средняя длина просомы самок и диаметр яиц не зависели от вида пищи, а абсолютная плодовитость значительно варьировала: от  $9.12 \pm 1.35$  яиц при кормлении *Rh. salina* до  $24.2 \pm 1.8$  яиц при кормлении *I. galbana*. Процент выклева изменялся от 100 (*P. cordatum*, *I. galbana*) до  $86.3 \pm 8\%$  (*Rh. salina*) (табл. 2).

**Длительность репродуктивного периода.** При питании *I. galbana* самки *C. aquaedulcis* продуцировали яйца со времени достижения половозрелости (возраст 15 сут) до возраста 34 сут, самки *A. salinus* – с возраста 21 сут до 78 сут. Пик репродуктивного периода *C. aquaedulcis* приходился на 22–28-е сут, а *A. salinus* – на 28–46-е сут; после этого репродуктивная активность копепоид постепенно снижалась. Интервал вымета яиц самками *C. aquaedulcis* составлял  $3.2 \pm 0.6$  сут, *A. salinus* –  $3.7 \pm 0.5$ . Эмбриональное развитие яиц *C. aquaedulcis* при температуре  $21^\circ\text{C}$  длилось меньше 1 сут, *A. salinus* – около 3 сут.

**Среднесуточная продукция яиц (EP)** за репродуктивный цикл у *C. aquaedulcis* была наибольшей при питании *I. galbana* ( $10.97 \pm 0.18$  яиц) и

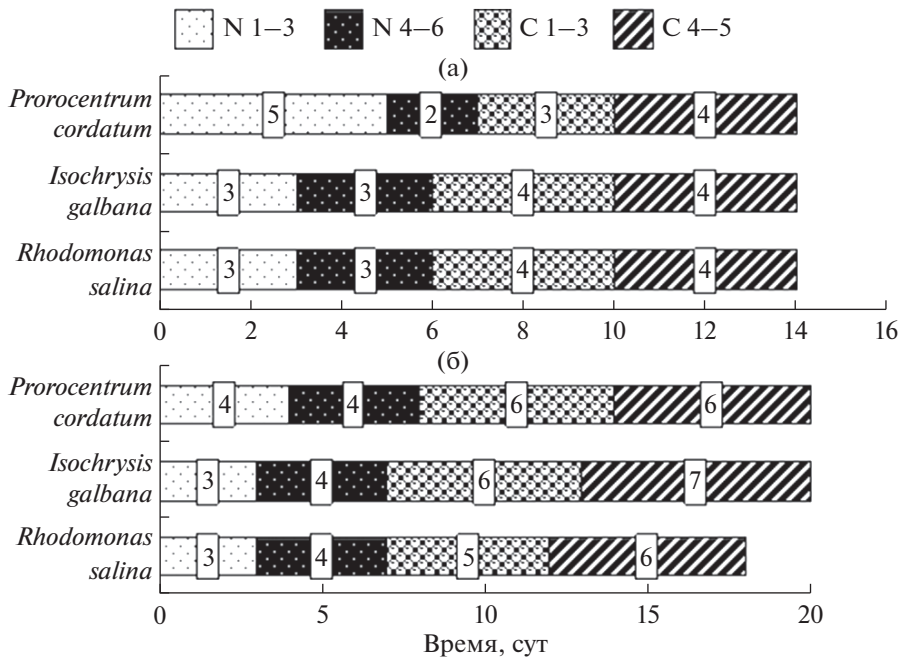


Рис. 2. Длительность развития копепоид *Calanipeda aquaedulcis* (а) и *Arctodiaptomus salinus* (б) в эксперименте в зависимости от питания микроводорослями разных видов (М; n = 15); в прямоугольниках указана суммарная длительность стадий N1–3, N4–6, C1–3 и C4–5 (сут).

*P. cordatum* ( $10.69 \pm 1.19$  яиц). У самок *A. salinus* наиболее высокие показатели ЕР также отмечены при питании *I. galbana* ( $4.4 \pm 0.59$  яиц) и *P. cordatum* ( $3.31 \pm 0.18$  яиц). Таким образом, при индивидуальном культивировании у самки *C. aquaedulcis* ЕР за весь жизненный цикл ( $4.10 \pm 0.64$  яйца) был более чем в 2 раза выше, чем у *A. salinus* ( $1.76 \pm 0.10$  яйца), хотя период размножения *A. salinus* в 2 раза длиннее за счет более продолжительного жизненного цикла.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Отмеченное у копепоид *Arctodiaptomus salinus* и *Calanipeda aquaedulcis* постепенное увеличение продолжительности стадий постэмбрионального развития от младших науплиальных стадий к старшим копепоидитным стадиям закономерно для каляноидных копепоид. На протяжении всего периода развития исследованных видов копепоид наиболее высокие значения выживаемости полу-

чены при кормлении их микроводорослью *Isochrysis galbana*, имеющей небольшие размеры. При этой диете, как и при питании мелкокоразмерной *Rhodomonas salina*, продолжительность науплиального периода развития была минимальной у обоих видов копепоид. Абсолютная выживаемость на ранних науплиальных стадиях и небольшая длительность этих стадий, вероятно, связаны с тем, что до перехода на экзогенное питание запасы желтка служат единственным источником энергии как на стадиях N1 и N2, так и на стадиях N2 и N3 (Jiménez-Melero et al., 2007). Стадии C4 и C5 – самые продолжительные. Показано, что самцы обоих видов копепоид развивались быстрее самок; это можно объяснить половой дифференциацией и ростом гонад на 5-й критической стадии развития (Peterson, 2001). Известно, что соотношение полов у достигших половозрелости копепоид может изменяться как под влиянием температуры, так и при воздействии трофических условий (Lang, 1948; Voordouw et al., 2005).

Таблица 1. Соотношение полов (%) копепоид *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* при питании микроводорослями разных видов (М ± CI, 95%; n = 15)

Диета из микроводорослей	<i>C. aquaedulcis</i>		<i>A. salinus</i>	
	самцы	самки	самцы	самки
<i>Isochrysis galbana</i>	20.8 ± 8.3	79.2 ± 8.3	56.1 ± 12.7	43.9 ± 12.7
<i>Prorocentrum cordatum</i>	42.7 ± 6.3	57.3 ± 6.3	47.7 ± 10.0	52.3 ± 10.0
<i>Rhodomonas salina</i>	53.0 ± 21.1	47.0 ± 21.1	19.7 ± 20.1	80.3 ± 20.1

**Таблица 2.** Репродуктивные характеристики копепод *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* при питании микроводорослями разных видов ( $M \pm CI$ , 95%;  $n = 25$ )

Репродуктивные характеристики копепод	Диета из микроводорослей		
	<i>Isochrysis galbana</i>	<i>Prorocentrum cordatum</i>	<i>Rhodomonas salina</i>
	<i>Calanipeda aquaedulcis</i>		
Средняя длина просомы самок, мм	0.75 ± 0.01	0.76 ± 0.02	0.74 ± 0.01
Средний диаметр яиц, мкм	88 ± 8	84 ± 8	88 ± 10
Абсолютная плодовитость	24.2 ± 1.8	19.8 ± 3.6	9.12 ± 1.35
Выклев, %	100	100	86.3 ± 8
EP за репродуктивный период	10.97 ± 0.18	10.69 ± 1.19	—
EP за жизненный цикл	4.1 ± 0.64	—	—
	<i>Arctodiaptomus salinus</i>		
Средняя длина просомы самок, мм	1.126 ± 0.013	1.026 ± 0.026	0.99 ± 0.02
Средний диаметр яиц, мкм	134 ± 5	92 ± 4	103 ± 5
Абсолютная плодовитость	10.3 ± 1.3	16.4 ± 2.4	9.67 ± 2.14
Выклев, %	84.9 ± 7.3	62.6 ± 10.1	85.7 ± 19.8
EP за репродуктивный период	4.4 ± 0.59	3.31 ± 0.18	—
EP за жизненный цикл	1.76 ± 0.1	—	—

Примечание. EP — среднесуточная продукция яиц (см.: Материал и методика); “—” — нет данных.

Установленная нами длительность науплиального периода *C. aquaedulcis* сопоставима с данными, полученными ранее (Гарбер, 1951). Однако длительность копепоидного периода *C. aquaedulcis* в предложенных нами оптимальных трофических условиях в 2 раза меньше приведенной в работе Б.И. Гарбера. Вероятно, это связано с субоптимальным питанием, которое не отвечало потребностям развития копепоидных стадий вида. Как и в наших экспериментах, максимальная выживаемость *Bestiolina similis* (Sewell, 1914) на копепоидных стадиях наблюдалась при питании *I. galbana*, минимальная — при питании диатомовыми и зелеными микроводорослями (Camus, Zeng, 2010).

Для *A. salinus* высокие показатели выживаемости получены при всех трех видах диеты: от 94.5% при питании *I. galbana* до 68.6% при употреблении *P. cordatum*; наименьшая средняя продолжительность развития этой копепоиды отмечена при питании микроводорослью *Rh. salina*. Согласно литературным данным, выживаемость *A. salinus* (от N1 до C6) в условиях эксперимента (температура воды около 20°C) при питании фитопланктоном из естественной среды обитания с добавлением микроводорослей из культуры *Chlamydomonas reinhardtii* (P.A. Dangeard, 1888) составила 70%; первые половозрелые особи отмечены только на 24-е сут развития (Jiménez-Melero et al., 2007). В отсутствие пищевого лимитирования, но при кормлении суспензией хлореллы (концентрация  $8 \times 10^5$  кл/мл) развитие *A. salinus* от яйца до взрослых особей длилось 26 сут при температуре 20°C (Толмеев, 2002). Полученные нами экспериментальные данные показали, что выживаемость этого вида может быть значительно выше (94%), а продолжительность развития меньше (18 сут). Различия выживаемости и длительности разви-

тия копепод при использовании в качестве корма *Ch. reinhardtii* (см.: Jiménez-Melero et al., 2007) и *Chlorella* sp. (см.: Толмеев, 2002), вероятно, обусловлены неадекватностью этих диет, связанной с дефицитом эссенциальных компонентов, необходимых для нормального развития разных стадий *A. salinus*.

По мнению исследователей (Herzig, 1983; Толмеев, 2002), продолжительность развития копепод от науплиальной до взрослой стадии в большей степени определяется температурными, чем трофическими, условиями. Наши данные показали, что при одинаковой температуре и обеспеченности кормом длительность развития и выживаемость копепод могут варьировать в зависимости от вида и класса микроводорослей, следовательно, от хемотаксономических характеристик микроводорослей, которыми питаются копепоиды. Сведения о средней абсолютной плодовитости копепоиды *C. aquaedulcis* (18–20 яиц) (Гиляров, 1987) в целом соответствуют нашим данным. Однако нами выявлена высокая вариабельность абсолютной плодовитости самок *C. aquaedulcis* в зависимости от вида микроводорослей, которыми они питались.

Значения абсолютной плодовитости *A. salinus*, полученные нами ( $16.4 \pm 2.4$  яйца), заметно выше литературных данных (от  $3.97 \pm 2.05$  до  $7.88 \pm 4.88$  яиц при низком и высоком уровне обеспеченности пищей соответственно) (Jiménez-Melero et al., 2012), что также может быть связано с хемотаксономическими характеристиками микроводорослей, которыми питались самки *A. salinus*.

Репродуктивные характеристики самок копепод при питании монокультурой микроводорослей могут служить показателями биохимического

соответствия кормового объекта пищевым потребностям копепод (Lacoste et al., 2001). У каляноидных копепод синтез незаменимых жирных кислот ограничен, поэтому копеподы получают их из микроводорослей. Известно, что жирнокислотный состав у микроводорослей разных классов значительно варьирует (Zhukova, Aizdaicher, 1995). Микроводоросли *I. galbana* и *P. cordatum* характеризуются высоким содержанием полиненасыщенной жирной 22:6n-3-докозагексаеновой кислоты (ДГК) и низким содержанием 20:5n-3-эйкозапентаеновой кислоты (ЭПК) (Fidalgo et al., 1998; Makri et al., 2011), а для *Rh. salina* отмечено низкое содержание как ЭПК, так и ДГК (Guevara et al., 2011). Содержание и соотношение именно этих двух ненасыщенных жирных кислот в составе микроводорослей, предположительно, является одним из основных факторов, оказывающих влияние на репродукционные характеристики каляноидных копепод (Ханайченко, 1999). Наши данные по среднесуточной плодовитости *A. salinus* сходны с результатами, полученными в условиях оптимального проточного культивирования этого вида при температуре 20°C (в среднем 2.71 яйца) (Tolomeyev, 2002).

Солонатоводные копеподы *C. aquaedulcis* и *A. salinus* вынашивают яйца в яйцевых мешках, в которых эмбрионы (в случае субитанных яиц) остаются до выклева науплиев (N1), в отличие, например, от представителей морских родов *Calanus* и *Acartia*, которые выметывают яйца в воду. Среднесуточная плодовитость у двух исследованных нами видов копепод, соответственно почти в 2 и 5 раз ниже, чем у близких по размерным характеристикам морских копепод, например, у копеподы *Acartia tonsa* (Dana, 1849), которая откладывает в сутки около 20 яиц (Ханайченко, 1999). У исследованных видов солонатоводных копепод благодаря заботе о потомстве низкая плодовитость компенсируется высокой выживаемостью науплиусов, а отсутствие каннибализма увеличивает продолжительность жизненного цикла, в течение которого эти ракообразные могут размножаться.

Результаты наших исследований показали, что при выращивании копеподы *C. aquaedulcis* для улучшения выживаемости особей и быстрого развития в период онтогенеза, а также для достижения максимальной плодовитости самок оптимальными кормовыми объектами служат монокультуры микроводорослей *P. cordatum* и *I. galbana*. Монокультура микроводоросли *Rh. salina* на определенных стадиях развития копеподы *C. aquaedulcis*, по-видимому, не полностью удовлетворяет ее потребности в незаменимых компонентах пищи, необходимых для роста и развития. Следствием этого являются уменьшение процента выклева и низкая выживаемость *C. aquaedulcis* на всех стадиях онтогенеза, а также малая абсолютная плодовитость. Очевидно, микроводоросль *Rh. salina* — это менее подходящий пищевой объект при культивировании данного вида копепод.

Напротив, у копеподы *A. salinus* при питании монокультурой *Rh. salina* отмечены высокий процент выживаемости на всех стадиях развития от N1 до С6 (93%), короткая продолжительность развития (18 сут) и высокий процент выклева (86%). Следовательно, для этого вида копепод *Rh. salina* наряду с микроводорослями *I. galbana* и *P. cordatum* является оптимальным кормовым объектом.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках госзадания ФИЦ ИМБЮМ по теме “Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса”; номер гос. регистрации АААА-А18-118021350003-6.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аганесова Л.О. Длительность развития копепод *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* при разном температурном режиме культивирования // Мор. экол. журн. 2013. Т. 12. № 1. С. 19–25.
- Гарбер Б.И. Наблюдения за развитием и размножением *Calanipeda aquaedulcis* Kritsch (Copepoda: Calanoida) // Тр. Карадаг. биол. ст. 1951. Т. 2. С. 3–55.
- Гиляров А.М. Динамика численности планктонных ракообразных. М.: Наука. 1987. 192 с.
- Губарева Е.С., Светличный Л.С. Солёностная толерантность копепод *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* (Calanoida, Copepoda) // Мор. экол. журн. 2011. Т. 10. № 4. С. 32–39.
- Новоселова Н.В., Туркулова В.Н. К методике массового культивирования живых кормов в условиях низкой температуры для молоди ценных морских видов рыб // Тр. ЮгНИРО. 2008. Т. 46. С. 41–47.
- Петина Т.С., Тен В.С. Исследование культур водорослей для изучения питания животных и выяснения взаимосвязи между процессами элиминации и продуцирования // Экологическая физиология морских планктонных водорослей (в условиях культур). Киев: Наукова думка. 1971. С. 168–177.
- Семик А.М. Веслоногий рачок-диаптомус (*Diaptomus salinus* E. Daday) — возможный объект массового культивирования // Живые корма для объектов марикультуры. М.: Изд-во ВНИРО. 1988. С. 98–102.
- Стельмах Л.В., Галатанова О.А. Коллекция морских планктонных водорослей ФИЦ ИМБЮМ. Севастополь, 2003. 14 с.
- Толомеев А.П. Экспериментальное определение кинетики роста и спектров питания некоторых видов



- зоопланктона: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск. 2002. 20 с.
- Ханайченко А.Н. Влияние микроводорослевой диеты на характеристики воспроизводства копепод // Экол. моря. 1999. Т. 49. С. 56–61.
- Camus T., Zeng C. Roles of microalgae on total egg production over female lifespan and egg incubation time, naupliar and copepodite survival, sex ratio and female life expectancy of the copepod *Bestiolina similis* // Aquacult. Res. 2010. V. 41. № 11. P. 1717–1726.
- Coutteau P. Micro-algae // Manual on the production and use of live food for aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper. No. 361. Rome: FAO. 1996. P. 7–48.
- Fidalgo J.P., Cid A., Torres E. et al. Effects of nitrogen source and growth phase on proximate biochemical composition, lipid classes and fatty acid profile of the marine microalga *Isochrysis galbana* // Aquaculture. 1998. V. 166. P. 105–116.
- Grindley J.R. The zoogeography of the Pseudodiaptomidae // Crustaceana. 1984. Suppl. 7. P. 217–228.
- Guevara M., Bastardo L., Cortez R. et al. Pastas de *Rhodomonas salina* (Cryptophyta) como alimento para *Brachionus plicatilis* (Rotifera) // Rev. Biol. Trop. 2011. V. 59. № 4. P. 1503–1515.
- Herzig A. The ecological significance of the relationship between temperature and duration of embryonic development in planktonic freshwater copepods // Hydrobiologia. 1983. V. 100. P. 65–91.
- Jiménez-Melero R., Parra G., Guerrero F. Effect of temperature, food 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.
- 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.
- Khanaichenko A.N., Bitukova Y.E., Tkachenko N.K. Experiences in rearing endemic Black Sea turbot larvae // P. Lavens, and R.A.M. Remmerswaal (Eds). Turbot Culture: Problems and Prospects. European Aquaculture Society, Special Pub. № 22, Gent, Belgium. 1994. P. 349–358.
- 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.
- Lang K. Monographie der Harpacticiden I, II. Lund, Sweden: Hakan Ohlssons Boktryckeri. 1948. 1683 p.
- Makri A., Bellou S., Birkou M. et al. Lipid synthesized by micro-algae grown in laboratory- and industrial-scale bioreactors // Eng. Life Sci. 2011. V. 11. № 1. P. 52–58.
- Marcus N.H. Calanoid copepods, resting eggs, and aquaculture // Copepods in aquaculture. Oxford: Blackwell. 2005. Ch. 1. P. 3–10.
- Peterson W.T. Patterns in stage duration and development among marine and freshwater calanoid and cyclopoid copepods: a review of rules, physiological constraints, and evolutionary significance // Hydrobiologia. 2001. V. 453. P. 91–105.
- Poulet S.A., Williams R. Characteristics and properties of copepods affecting the recruitment of fish larvae // Bull. Plankton Soc. Jpn. 1991. Special vol. P. 271–290.
- Samchyshyna L.V. Ecological characteristic of Calanoids (Copepoda, Calanoida) of the Inland Waters of Ukraine // Vestn. Zool. 2008. V. 42. N. 2. P. 32–37.
- Stottrup J.G., Richardson K., Kirkegaard E., Pihl N.J. The cultivation of *Acartia tonsa* Dana for use as a live food source for marine fish larvae // Aquaculture. 1986. V. 52. № 2. P. 87–96.
- Tolomeyev A.P. Phytoplankton diet of *Arctodiaptomus salinus* (Copepoda, Calanoida) in Lake Shira (Khakasia) // Aquat. Ecol. 2002. V. 36. № 2. P. 229–234.
- Voordouw M.J., Robinson H.E., Anholt B.R. Paternal inheritance of the primary sex ratio in a copepod // J. Evol. Biol. 2005. V. 18. № 5. P. 1304–1314.
- Zhukova N.V., Aizdaicher N.A. Fatty acid composition of 15 species of marine microalgae // Phytochemistry. 1995. V. 39. № 2. P. 351–356.

## Reproduction and Development of Brackish-Water Copepods Fed Microalgae of Different Species

L. O. Aganesova

A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research, Russian Academy of Sciences, Sevastopol 299011, Russia

The duration of development, survival rate, and reproductive characteristics of *Calanipeda aquaedulcis* (Krichagin, 1873) and *Arctodiaptomus salinus* (Daday, 1885) depending on the diet consisting of monospecific cultures of microalgae from three different taxonomic groups were studied in experimental conditions. The highest survival rates were recorded for the copepod *C. aquaedulcis* fed the microalga *Prorocentrum cordatum* (Ostenfeld) J.D. Dodge, 1975. *A. salinus* showed the maximum survival rate when fed the microalga *Isochrysis galbana* Parke, 1949. The duration of ontogenesis in *C. aquaedulcis* was 14 days with each of the three diets. The shortest duration of development in *A. salinus* (18 days) was recorded in the case of feeding on *Rhodomonas salina* (Wislouch) Hill & Wetherbee, 1989. The percentage of hatching nauplii in female *C. aquaedulcis* fed *P. cordatum* and *I. galbana* amounted to 100%; however, when females were fed *Rh. salina*, it decreased to 86%. The average daily fecundity per life cycle in female *C. aquaedulcis* was found to be twice as high as that in *A. salinus*. The female *A. salinus* that received different diets showed significant differences in the average prosoma length and the diameter of spawn eggs; in *C. aquaedulcis*, these parameters did not depend on the species of food.

**Keywords:** copepods, *Arctodiaptomus salinus*, *Calanipeda aquaedulcis*, cultivation, survival rate, development, *Prorocentrum cordatum*, *Rhodomonas salina*, *Isochrysis galbana*