

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 595.34:591.13:582.26/.27

**ПРОДУКЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОПЕПОД
ARCTODIAPTOMUS SALINUS И *CALANIPEDA AQUAEDULCIS*
ПРИ ПИТАНИИ СМЕСЬЮ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ
DINOPHYCEAE И *PRYMNESIOPHYCEAE***

© 2020 г. Л. О. Аганесова

Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Российская Федерация
E-mail: la7risa@gmail.com

Поступила в редакцию 03.09.2019; после доработки 14.02.2020;
принята к публикации 26.06.2020; опубликована онлайн 30.06.2020.

Убиквитные виды копепод *Arctodiaptomus salinus* (Daday, 1885) и *Calanipeda aquaedulcis* (Krichagin, 1873) — важные компоненты пищевых цепей многочисленных пресных и солёных водоёмов. Данные копеподы пригодны для кормления личинок как морских, так и пресноводных видов рыб, однако влияние питания на продукционные характеристики этих видов копепод изучено недостаточно. Ранее нами было определено, что монокультуры микроводорослей *Dinophyceae* и *Prymnesiophyceae* являются оптимальными кормовыми объектами для продуцирования яиц самками *A. salinus* и *C. aquaedulcis*, выживаемости и скорости развития этих копепод на всём протяжении их онтогенеза. Цель данной работы заключалась в определении продукционных характеристик копепод *A. salinus* и *C. aquaedulcis* в оптимальных температурных условиях в зависимости от варианта питания смесью микроводорослей *Dinophyceae* и *Prymnesiophyceae*. Наиболее высокие значения выживаемости *A. salinus* от науплиальной до взрослой стадии развития (93–95 %) отмечены при питании копепод монокультурой микроводоросли *Isochrysis galbana* (Parke, 1949) и смесью *I. galbana* + *Prorocentrum cordatum* (Ostenfeld) J. D. Dodge, 1975; наименьшая продолжительность развития (19 суток) — при кормлении смесью из трёх микроводорослей *I. galbana* + *P. cordatum* + *Prorocentrum micans* (Ehrenberg, 1834). Наименьшая средняя продолжительность развития *C. aquaedulcis* от науплиальной до взрослой стадии развития (13 сут.) зафиксирована при питании смесью микроводорослей *I. galbana* + *P. cordatum*. Наименьшая продолжительность науплиального периода развития копепод обоих видов отмечена тогда, когда в состав их диеты входила *I. galbana* в качестве моно- или одного из компонентов смеси. Такая же закономерность сохраняется для копеподитного периода, только уже с *P. cordatum*. Максимальная абсолютная плодовитость *C. aquaedulcis* достигала 24 яиц на самку (*I. galbana*), *A. salinus* — 16 яиц на самку (*P. cordatum*). Выклев *C. aquaedulcis* при питании как монокультурами микроводорослей *P. cordatum* и *I. galbana*, так и их смесью достигал 100 %. Для *A. salinus* только питание самок смесью микроводорослей *I. galbana* + *P. micans* обуславливает максимальный процент выклева.

Ключевые слова: копеподы, *Arctodiaptomus salinus*, *Calanipeda aquaedulcis*, выживаемость, развитие, размножение, микроводоросли, смесь микроводорослей, *Dinophyceae*, *Prymnesiophyceae*

В качестве модельных видов для данной экспериментальной работы выбраны два представителя *Calanoida* — солоноватоводные копеподы *Arctodiaptomus salinus* (Daday, 1885) и *Calanipeda aquaedulcis* (Krichagin, 1873). Одно из главных преимуществ использования этих видов

в качестве объектов питания в аквакультуре — возможность применения их для кормления как морских, так и пресноводных личинок ценных видов рыб, так как оба вида копепод способны выдерживать широкий спектр солёности (до 50–60 ‰) [4]. Среди других технологических преимуществ можно выделить то, что у этих видов, в отличие от морских Calanoida, например рода *Acartia*, отсутствует каннибализм (взрослые копеподы не выедают ни собственные яйца, ни ранние науплиальные стадии), вследствие чего науплиальные, копепоподитные и взрослые стадии можно выращивать совместно.

Основными критериями пищевой ценности микроводорослей для копепод являются: длительность развития особей при питании одним и тем же видом микроводорослей; выживаемость на протяжении эмбрионального развития (процент выклева); успешность линек при переходе от одной жизненной стадии к другой; успешность метаморфоза при переходе от последней науплиальной стадии к первой копепоподитной; время достижения половозрелости; плодовитость самок (скорость продуцирования ими яиц); выживаемость до питающейся науплиальной стадии; успешный переход науплиев на экзогенное питание.

Результаты наших предыдущих исследований [1; 3] показали, что монокультуры микроводорослей Dinophyceae и Prymnesiophyceae являются оптимальными кормовыми объектами для продуцирования яиц самками *A. salinus* и *C. aquaedulcis*, выживаемости и скорости развития этих копепод на всём протяжении онтогенеза. Нами выделены температурные оптимумы культивирования копепод (+20...+22 °C для *A. salinus* и +20...+26 °C для *C. aquaedulcis* [2]), при которых существенно сокращается общая продолжительность развития и достигаются наиболее высокие значения показателей выживаемости и плодовитости особей.

Целью данной работы было определить продукционные характеристики копепод *A. salinus* и *C. aquaedulcis* в оптимальных температурных условиях при питании смесью микроводорослей Dinophyceae и Prymnesiophyceae.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперименты проводили на лабораторных культурах копепод *A. salinus* и *C. aquaedulcis* при температуре $(21 \pm 1,5)$ °C. В качестве корма для *A. salinus* использовали смесь микроводорослей Prymnesiophyceae (*Isochrysis galbana* Parke, 1949, 3–6 мкм) и Dinophyceae (*Prorocentrum cordatum* (Ostenfeld) J. D. Dodge, 1975, 12–14 мкм; *Prorocentrum micans* Ehrenberg, 1834, 28–42 мкм). Для *C. aquaedulcis* использовали смесь микроводорослей *I. galbana* + *P. cordatum*. Концентрацию пищи поддерживали на уровне 0,02–0,08 мг сух. массы·мл⁻¹ (соотношение микроводорослей в смеси уравнивали по сухому весу её компонентов). Используемые в экспериментах микроводоросли выращивали в накопительном режиме на основе стерилизованной черноморской воды, обогащённой средой Уолна [7], при температуре $(24 \pm 1,5)$ °C и круглосуточном освещении интенсивностью 5 тыс. лк. Адаптацию копепод к питанию микроводорослями определённой смеси проводили в течение минимум двух-трёх недель.

В качестве культуральной среды (суспензия микроводорослей в стерилизованной морской воде) для копепод применяли воду Чёрного моря $[(17,8 \pm 0,2) \text{ ‰}]$, прошедшую грубую очистку, отстоянную, затем механически очищенную последовательной фильтрацией через картриджные фильтры (размер пор — 10, 5 и 1 мкм), стерилизованную с помощью ультрафиолета и двукратно пастеризованную. Для экспериментов использовали стеклянные сосуды цилиндрической формы (объём — 50 мл), которые находились в условиях круглосуточного освещения интенсивностью 2000 лк. Полную замену культуральной среды в экспериментальных сосудах производили каждые два-три дня.

Для исследования длительности жизненного цикла копепод, выживаемости и соотношения полов из лабораторных культур *C. aquaedulcis* и *A. salinus*, адаптированных к питанию смесью микроводорослей определённого вида, отсаживали по 15 выклюнувшихся науплиусов

N1 (см. объяснение ниже) (6 повторностей для каждой смеси микроводорослей) каждого вида копепод в 50-мл сосуды с культуральной средой. Эксперименты проводили при плотности копепод в сосудах $0,3 \text{ экз. мл}^{-1}$.

Выживаемость копепод оценивали как процент особей, выживших при прохождении всех стадий от первой науплиальной (N1) до половозрелой (C6). Продолжительность развития копепод устанавливали как средний временной интервал развития особей от N1 до достижения C6.

В экспериментах по определению репродуктивных характеристик *A. salinus* и *C. aquaedulcis* из лабораторных культур копепод, адаптированных к питанию определённой смесью микроводорослей, в 50-мл стеклянные сосуды цилиндрической формы отсаживали по 1 самке с яйцами ($n = 25$ для каждой смеси микроводорослей) каждого вида копепод. Подсчитывали количество яиц в кладке (абсолютная плодовитость) и выклюнувшихся жизнеспособных науплиев (% выклева). Все наблюдения за копеподами (каждые 1–3 дня) осуществляли прижизненно с помощью микроскопа МБС-12 при увеличении 2×8 и 4×8 .

Для сравнения использованы данные по репродуктивным характеристикам копепод *A. salinus* и *C. aquaedulcis* при питании монокультурами микроводорослей Dinophyceae и Prymnesiophyceae, полученные нами в предыдущих работах [1; 3].

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

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выживаемость копепод *C. aquaedulcis* и *A. salinus* на протяжении линек от стадии N1 до C6 варьировала в зависимости от вида микроводорослей, которыми они питаются.

Процент выживаемости *C. aquaedulcis* составлял 92,5 % при кормлении *P. cordatum*; 83 % при питании *I. galbana*; 89 % при кормлении смесью *I. galbana* + *P. cordatum* (рис. 1). Минимальную выживаемость *A. salinus* на протяжении всех линек от стадии N1 до C6 (68,6 %) наблюдали при питании *P. cordatum*; максимальную — при кормлении *I. galbana* (94,5 %) и смесью микроводорослей *I. galbana* + *P. cordatum* (93 %) (рис. 1).

Выявлено влияние вида микроводоросли на длительность развития стадий копепод (рис. 2). При кормлении микроводорослями *I. galbana* и *P. cordatum* продолжительность развития копепод *C. aquaedulcis* составила 14 суток, а при питании смесью *I. galbana* + *P. cordatum* — 13 сут. Наименьшая продолжительность науплиального периода развития копепод (6 сут.) получена при кормлении *I. galbana* и *I. galbana* + *P. cordatum*. Наименьшая продолжительность копеподитного периода развития *C. aquaedulcis* (C1–5) (7 сут.) получена при питании *P. cordatum* и *I. galbana* + *P. cordatum*.

Продолжительность развития от первого науплиуса до взрослой стадии копепод другого вида — *A. salinus* — оказалась значительно больше, чем продолжительность развития *C. aquaedulcis*, при кормлении любыми предложенными видами микроводорослей. Продолжительность развития *A. salinus* при питании как монокультурами *I. galbana* и *P. cordatum*, так и смесью *I. galbana* + *P. cordatum* составила 20 сут. Наименьшей (19 сут.) продолжительность развития была при кормлении смесью трёх микроводорослей *I. galbana* + *P. cordatum* + *P. micans*. При питании смесью *I. galbana* + *P. micans* и монокультурой *P. micans* продолжительность развития копепод увеличивалась до 21 и 22 сут. соответственно. Наибольшую продолжительность (25 сут.) наблюдали при кормлении смесью *P. cordatum* + *P. micans*.

Наименьшая продолжительность науплиального периода развития *A. salinus* составила 7 сут. (при питании *I. galbana* и смесями микроводорослей *I. galbana* + *P. cordatum* + *P. micans* и *I. galbana* + *P. micans*), а наибольшая — 10 сут. (при кормлении *P. cordatum* + *P. micans*). Наименьшая продолжительность копеподитного периода развития *A. salinus* (C1–5) составила 12 сут. (при питании *P. cordatum* и смесями *I. galbana* + *P. cordatum* + *P. micans* и *I. galbana* + *P. cordatum*), а наибольшая — 15 сут. (при кормлении *P. cordatum* + *P. micans*).

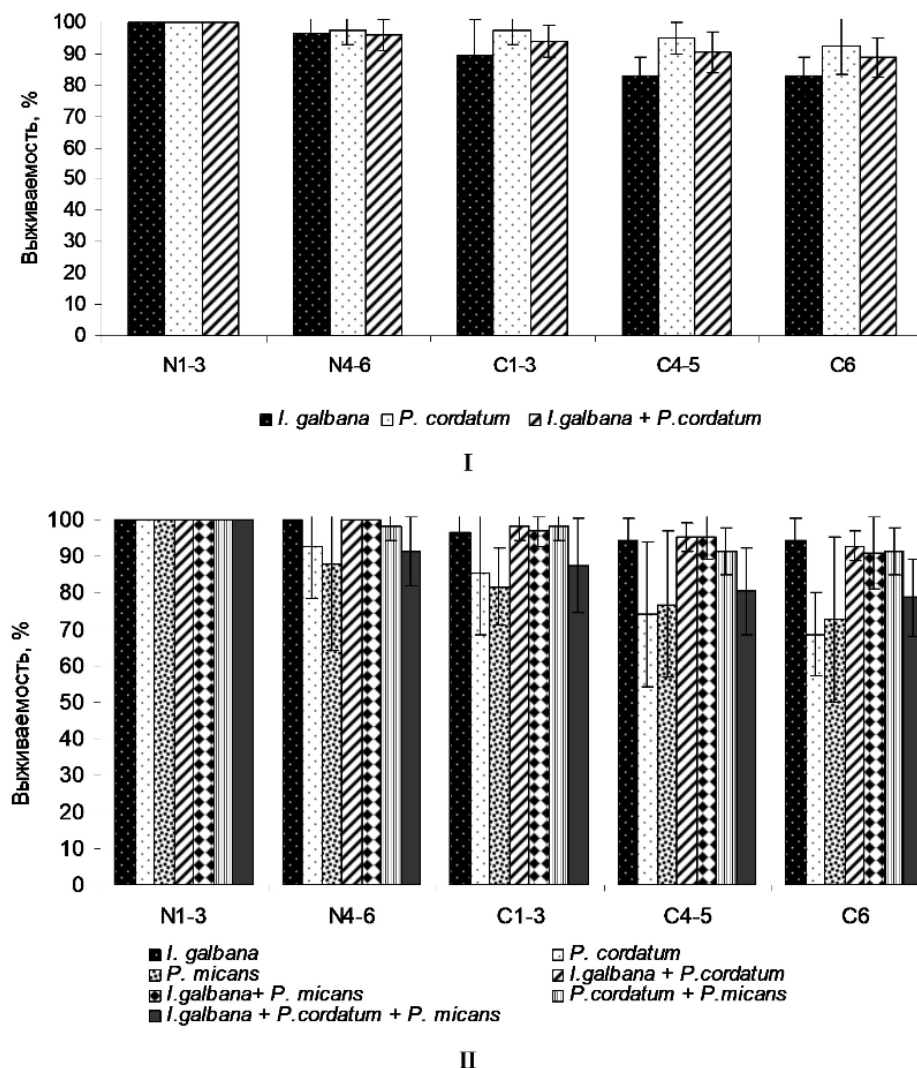


Рис. 1. Выживаемость копепоид *Calanipeda aquaedulcis* (I) и *Arctodiaptomus salinus* (II) в эксперименте в зависимости от питания микроводорослями разных видов (M ; 95 % CI; $n = 15$)

Fig. 1. Survival rate of *Calanipeda aquaedulcis* (I) and *Arctodiaptomus salinus* (II) in the experiment depending on being fed with various microalgae species (M ; 95 % CI; $n = 15$)

Процентное соотношение полов при достижении взрослой стадии копепоид *A. salinus* и *C. aquaedulcis* также варьировало в зависимости от вида микроводорослей, которыми они питались (табл. 1). Для *C. aquaedulcis* наименьший процент самцов (21 %) получен (достоверно) при кормлении копепоид *I. galbana*; при питании *P. cordatum* и смесью *I. galbana* + *P. cordatum* их доля возрастала до 43 %. Для *A. salinus* наибольший процент самцов (70 %) получен (недостоверно) при кормлении копепоид смесью *I. galbana* + *P. micans*, а наименьший (45–48 %) — при питании монокультурами *P. micans* и *P. cordatum*.

У копепоид *C. aquaedulcis* средняя величина абсолютной плодовитости незначительно варьировала в пределах от ($19,3 \pm 3,2$) яиц на самку (при кормлении *I. galbana* + *P. cordatum*) до ($24,2 \pm 1,8$) (*I. galbana*). Выклев при питании как монокультурами микроводорослей *P. cordatum* и *I. galbana*, так и их смесью достигал 100 % (рис. 3).

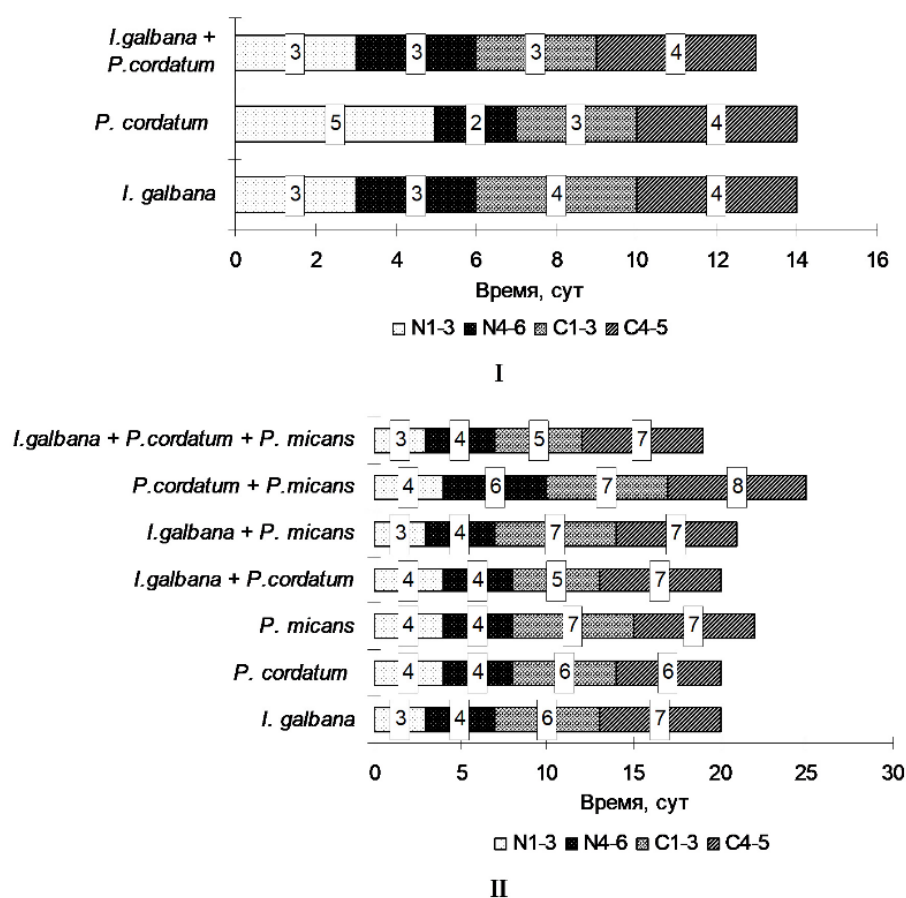


Рис. 2. Длительность развития *Calanipeda aquaedulcis* (I) и *Arctodiaptomus salinus* (II) в эксперименте в зависимости от питания микроводорослями разных видов (M ; $n = 15$)

Fig. 2. Development time of *Calanipeda aquaedulcis* (I) and *Arctodiaptomus salinus* (II) in the experiment depending on being fed with various microalgae species (M ; $n = 15$)

Таблица 1. Процентное соотношение самцов (М) и самок (F) копепод *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* при питании микроводорослями разных видов ($M \pm SD$; $n = 15$) (95 % CI)

Table 1. Percentage of males (M) and females (F) of copepods *Calanipeda aquaedulcis* and *Arctodiaptomus salinus* when being fed with various microalgae species ($M \pm SD$; $n = 15$) (95 % CI)

Микроводоросли	<i>C. aquaedulcis</i>		<i>A. salinus</i>	
	M, %	F, %	M, %	F, %
<i>I. galbana</i>	20,8 ± 8,3	79,2 ± 8,3	56,1 ± 12,7	43,9 ± 12,7
<i>P. cordatum</i>	42,7 ± 6,3	57,3 ± 6,3	47,7 ± 10	52,3 ± 10
<i>P. micans</i>	–	–	45 ± 2,3	55 ± 2,3
<i>I. galbana</i> + <i>P. cordatum</i>	43,3 ± 9,3	56,7 ± 9,3	61 ± 5,9	39 ± 5,9
<i>I. galbana</i> + <i>P. micans</i>	–	–	70,1 ± 12,3	29,9 ± 12,3
<i>P. cordatum</i> + <i>P. micans</i>	–	–	59,1 ± 12,4	40,9 ± 12,4
<i>I. galbana</i> + <i>P. cordatum</i> + <i>P. micans</i>	–	–	52,8 ± 12,7	47,2 ± 12,7

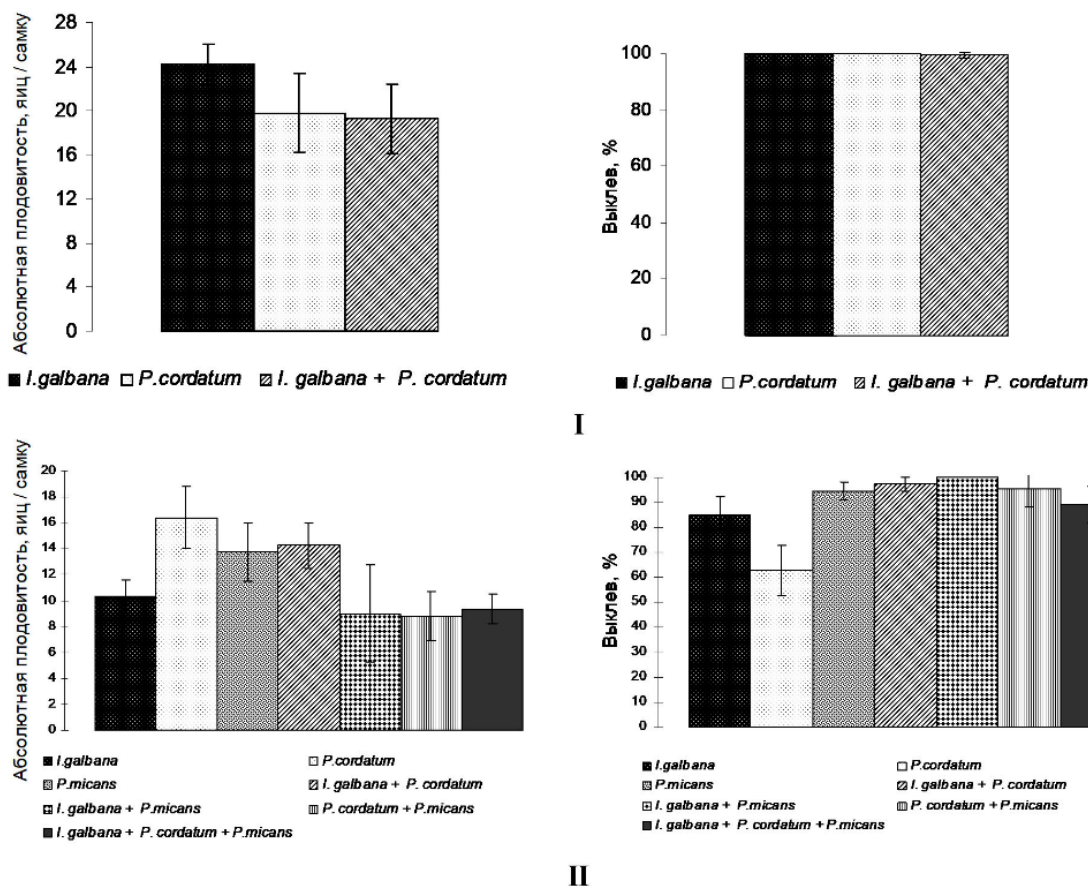


Рис. 3. Сравнительные диаграммы абсолютной плодовитости и доли выклева жизнеспособных науплиев от общего количества яиц у самок копепоид *Calanipeda aquaedulcis* (I) и *Arctodiaptomus salinus* (II) при питании микроводорослями разных видов ($M \pm SD$; $n = 15$) (95 % CI)

Fig. 3. Comparative diagrams of absolute fecundity and hatching rate of viable nauplii from the total number of eggs of females of copepods *Calanipeda aquaedulcis* (I) and *Arctodiaptomus salinus* (II) when being fed with various microalgae species ($M \pm SD$; $n = 15$) (95 % CI)

Обнаружены достоверные различия во влиянии вида микроводорослей на абсолютную плодовитость *A. salinus*. Значение показателя было минимальным (от $8,8 \pm 1,9$ до $10,3 \pm 1,3$) яиц на самку) при кормлении *P. cordatum* + *P. micans*; *I. galbana* + *P. cordatum* + *P. micans*; *I. galbana* + *P. micans*; *I. galbana*; значение было максимальным (от $13,75 \pm 2,3$ до $16,4 \pm 2,4$) яиц на самку) при питании копепоид *P. micans*; *I. galbana* + *P. cordatum*; *P. cordatum*.

Наиболее выраженное влияние трофические условия (хемотаксономические характеристики, связанные с видом и классом микроводорослей, которыми питались самки копепоид) оказывали на эмбриональное развитие копепоид *A. salinus*, норму которого характеризует процент выклева из яиц жизнеспособных науплиев. Этот показатель достоверно был минимальным [$62,63 \pm 10$ %] при питании самок *A. salinus* микроводорослями *P. cordatum*. Затем значение процента выклева науплиев варьировало (недостоверно) от $84,9 \pm 7,3$ до $97,46 \pm 2,7$ %, достигая максимума (100 %) при питании *I. galbana* + *P. micans*.

ОБСУЖДЕНИЕ

При сравнении значений выживаемости и продолжительности развития *C. aquaedulcis* и *A. salinus* обнаружено сходство влияния некоторых видов микроводорослей на показатели копепоид.

Наименьшая продолжительность науплиального периода развития обоих видов отмечена тогда, когда в состав их диеты входила *I. galbana* в качестве моно- или одного из компонентов смеси. Такая закономерность сохраняется и для копеподитного периода, только уже с *P. cordatum*.

Кормление мелкоразмерными *I. galbana* оказалось оптимальным для развития науплиальных стадий, однако такое питание задерживало развитие копеподитных стадий по сравнению с питанием крупноразмерными *P. cordatum*. Сокращённая длительность развития в течение науплиального периода при кормлении *I. galbana* нивелируется сокращённой длительностью развития в течение копеподитного периода при питании *P. cordatum*. Таким образом, общая продолжительность развития (науплиальный плюс копеподитный периоды) оказалась наименьшей для *C. aquaedulcis* при питании смесью *I. galbana* + *P. cordatum* (13 сут.), а для *A. salinus* — при кормлении *I. galbana* + *P. cordatum* + *P. micans* (19 сут.).

Известно, что у большинства каляноидных копепод самки всегда больше самцов; меньшие размеры самцов *Calanoida* обычно связаны с их более быстрым развитием [6]. Согласно гипотезе [11], под воздействием неблагоприятных условий окружающей среды можно ожидать смещения соотношения полов в сторону преобладания самцов, а при благоприятных условиях — в сторону самок. В случае с *C. aquaedulcis* и *A. salinus* самцы меньше самок. Следовательно, если гипотеза верна, смещение соотношения полов в сторону самцов может свидетельствовать о неоптимальных условиях окружающей среды — экстремальных температурах и/или высокой солёности либо неадекватной обеспеченности пищей. Вероятно, биохимический состав пищи может оказывать влияние и на дифференциацию пола развивающихся копепод, как это определено для других гидробионтов [13]. На численное соотношение полов взрослых *Calanus* spp. влияют концентрация и качество пищи: увеличение доли самок наблюдают с повышением концентрации пищи в среде, в которой происходит развитие копепод [8]. При этом полученные данные по предполагаемому нами влиянию хемотаксономических характеристик микроводорослей на соотношение полов в экспериментальных популяциях копепод требуют дополнительных комплексных исследований их биологии, совмещённых с изучением биохимического состава микроводорослей и питающихся ими копепод.

Хемотаксономический состав микроводорослей, которыми питаются самки копепод, безусловно, оказывает влияние на их репродуктивные характеристики и особенно на жизнеспособность науплиусов обоих видов при выклеве. В наших экспериментах максимальный процент выклева (100 %) науплиусов наблюдали при питании самок *C. aquaedulcis* как монокультурами *I. galbana* и *P. cordatum*, так и смесью этих микроводорослей. Между тем для *A. salinus* обнаружены некоторые отличия во влиянии вида микроводорослей на выживаемость науплиев при выклеве. Так, при кормлении *P. cordatum* получены минимальный процент выклева науплиусов *A. salinus* и максимальная абсолютная плодовитость самок.

Микроводоросли *Dinophyceae* характеризуются высоким содержанием высоконенасыщенных жирных кислот с преобладанием докозагексаеновой (далее — ДГК) над эйкозапентаеновой (далее — ЭПК) [12], а *Prymnesiophyceae* — повышенным содержанием ДГК с низким содержанием ЭПК [10]. Содержание и соотношение ДГК и ЭПК в составе микроводорослей — это, предположительно, один из основных хемотаксономических факторов, оказывающих влияние на репродукционные характеристики каляноидных копепод [5 ; 9]. Сбалансированное присутствие ДГК и ЭПК в микроводорослевой диете на всём протяжении онтогенеза копепод оказывает положительное воздействие на скорость развития *C. aquaedulcis* и *A. salinus*. В то же время питание самок смесью микроводорослей *Dinophyceae* и *Prymnesiophyceae* обуславливает максимальный процент выклева науплиусов обоих видов копепод.

Заключение. Наиболее высокие значения выживаемости *A. salinus* от науплиальной до взрослой стадии развития (93–95 %) получены при питании копепод монокультурой микроводоросли *I. galbana* и смесью *I. galbana* + *P. cordatum*, наименьшая продолжительность развития (19 сут.) —

при кормлении смесью из трёх микроводорослей *I. galbana* + *P. cordatum* + *P. micans*. Наименьшая средняя продолжительность развития *C. aquaedulcis* от науплиальной до взрослой стадии развития (13 сут.) отмечена при питании смесью микроводорослей *I. galbana* + *P. cordatum*.

Для копепод *C. aquaedulcis* наименьший процент самцов (21 %) получен достоверно при питании *I. galbana*; при питании *P. cordatum* и смесью *I. galbana* + *P. cordatum* их доля возрастала до 43 %. У *A. salinus* достоверных отличий процентного соотношения полов при достижении взрослой стадии в зависимости от вида микроводорослей не выявлено.

Наименьшая продолжительность науплиального периода развития копепод обоих видов отмечена тогда, когда в состав их диеты входила *I. galbana* в качестве моно- или одного из компонентов смеси. Эта закономерность сохраняется и для копеподитного периода, только уже с *P. cordatum*.

Максимальная абсолютная плодовитость *C. aquaedulcis* достигала 24 яиц на самку (*I. galbana*), *A. salinus* — 16 яиц на самку (*P. cordatum*). Выклев *C. aquaedulcis* при питании как монокультурами микроводорослей *P. cordatum* и *I. galbana*, так и их смесью достигал 100 %. Для *A. salinus* только питание самок смесью микроводорослей *I. galbana* + *P. micans* обуславливает максимальный процент выклева.

Следовательно, смеси микроводорослей *P. cordatum* + *I. galbana* (для *C. aquaedulcis*) и *I. galbana* + *P. cordatum* + *P. micans* (для *A. salinus*), благодаря сбалансированному присутствию эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот, были определены как оптимальные кормовые объекты для выживаемости и скорости развития копепод на всём протяжении онтогенеза, а также обусловили максимальный процент выклева жизнеспособных науплиев.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (№ гос. регистрации АААА-А18-118021350003-6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Аганесова Л. О. Выживаемость и длительность развития копепод *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* в зависимости от питания микроводорослями разных таксономических групп // *Морской экологический журнал*. 2011. Т. 10, № 2. С. 27–33. [Aganesova L. O. Survival and development times of the copepods *Calanipeda aquaedulcis* and *Arctodiaptomus salinus* depending on feeding microalgae of different taxonomic groups. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2011, vol. 10, iss. 2, pp. 27–33. (in Russ.)]
2. Аганесова Л. О. Длительность развития копепод *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* при разном температурном режиме культивирования // *Морской экологический журнал*. 2013. Т. 12, № 1. С. 19–25. [Aganesova L. O. Development times of the copepods *Calanipeda aquaedulcis* and *Arctodiaptomus salinus* at different temperatures. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2013, vol. 12, no. 1, pp. 19–25. (in Russ.)]
3. Аганесова Л. О. Репродуктивные характеристики самок копепод *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* при питании микроводорослями разных таксономических групп // *Морской экологический журнал*. 2011. Отд. вып. № 2. С. 7–10. [Aganesova L. O. Reproductive characteristics of females of the copepods *Calanipeda aquaedulcis* and *Arctodiaptomus salinus* fed microalgae from different taxonomic groups. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2011, spec. iss. no. 2, pp. 7–10. (in Russ.)]
4. Губарева Е. С., Светличный Л. С. Солёностная толерантность копепод *Calanipeda aquaedulcis* и *Arctodiaptomus salinus* (Calanoida, Copepoda) // *Морской экологический журнал*. 2011. Т. 10, № 4. С. 32–39. [Hubareva E. S., Svetlichny L. S. Salinity tolerance of copepods *Calanipeda aquaedulcis* and *Arctodiaptomus salinus* (Calanoida, Copepoda). *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2011, vol. 10, iss. 4, pp. 32–39. (in Russ.)]
5. Ханайченко А. Н. Влияние микроводорослевой диеты на характеристики воспроизводства копепод // *Экология моря*. 1999. Вып. 49. С. 56–61. [Khanaychenko A. N. The effect of microalgal diet on copepod reproduction parameters. *Ekologiya morya*, 1999, iss. 49, pp. 56–61. (in Russ.)]

6. Corkett C. J., McLaren I. A., Sevigly J.-M. The rearing of the marine calanoid copepods *Calanus finmarchicus* (Gunnerus), *C. glacialis* Jaschnov, and *C. hyperboreus* Kroyer with comment on the equiproportional rule. *Silloges*, 1986, vol. 58, pp. 539–546.
7. Coutteau P. *Micro-Algae. Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture* / P. Lavens, P. Sorgeloos (Eds). Rome : FAO, 1996, 300 p. (FAO Fisheries Technical Paper ; no. 361).
8. Irigoien X., Obermuller B., Head R. N., Harris R. P., Rey C., Hansen B. W., Hygum B. H., Heath M. R., Durbin E. G. The effect of food on the determination of sex ratio in *Calanus* spp.: Evidence from experimental studies and field data. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, vol. 57, iss. 6, pp. 1752–1763. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0960>
9. Lacoste A., Poulet S. A., Cueff A., Kattner G., Ianora A., Laabir M. New evidence of the copepod maternal food effects on reproduction. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2001, vol. 259, iss. 1, pp. 85–107. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(01\)00224-6](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(01)00224-6)
10. Payne M. F., Rippengale R. J. Evaluation of diets for culture of the calanoid copepod *Gladioferens imparipes*. *Aquaculture*, 2000, vol. 187, iss. 1, pp. 85–96. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00391-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00391-9)
11. Sapir Y., Mazer S. J., Holzapfel C. Sex ratio. *Jorgensen Encyclopedia of Ecology*, 2008, vol. 4, pp. 3243–3248. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00658-3>
12. Zhukova N. V., Aizdaicher N. A. Fatty acid composition of 15 species of marine microalgae. *Phytochemistry*, 1995, vol. 39, iss. 2, pp. 351–356. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(94\)00913-E](https://doi.org/10.1016/0031-9422(94)00913-E)
13. Zupo V. Influence of diet on sex differentiation of *Hippolyte inermis* Leach (Decapoda: Natantia) in the field. *Hydrobiologia*, 2001, vol. 449, iss. 1–3, pp. 131–140. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0645-2_13

**PRODUCTION CHARACTERISTICS OF THE COPEPODS
ARCTODIAPTOMUS SALINUS AND CALANIPEDA AQUAEDULCIS
BEING FED WITH A MIXTURE OF MICROALGAE
DINOPHYCEAE AND PRYMNESIOPHYCEA**

L. O. Aganesova

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation
E-mail: la7risa@gmail.com

The ubiquitous copepod species *Arctodiaptomus salinus* (Daday, 1885) and *Calanipeda aquaedulcis* (Krichagin, 1873) are important components of food chains of numerous fresh- and saltwater areas. These copepods are suitable for feeding larvae of both marine and freshwater fish species; however, influence of nutrition on the production characteristics of these species is not well understood. Previously we determined that monocultures of microalgae Dinophyceae and Prymnesiophyceae are optimal feeding objects for egg production by females of *A. salinus* and *C. aquaedulcis*, survival rate, and development time of these copepods throughout ontogenesis. The aim of this work was to determine the production characteristics of copepods *A. salinus* and *C. aquaedulcis* under optimal temperature conditions depending on the model of the feeding with a mixture of microalgae Dinophyceae and Prymnesiophyceae. The highest survival rates of *A. salinus* from the naupliar stage to the adult one (93–95 %) were observed when copepods were fed with a monoculture of microalga *Isochrysis galbana* (Parke, 1949) or a mixture *I. galbana* + *Prorocentrum cordatum* (Ostenfeld) J. D. Dodge, 1975; the shortest development time (19 days) – when copepods were fed with a mixture of three microalgae *I. galbana* + *P. cordatum* + *Prorocentrum micans* (Ehrenberg, 1834). The shortest development time of *C. aquaedulcis* from the naupliar stage to the adult one (13 days) was observed when copepods were fed with a mixture of microalgae *I. galbana* + *P. cordatum*. The shortest duration of the naupliar stage of development of both copepod species was observed when their diet included *I. galbana* as a monoculture or one of mixture components. During the copepodit stage, the pattern remains the same, only with *P. cordatum*. The maximum absolute fecundity of *C. aquaedulcis* reached 24 eggs per female (*I. galbana*), of *A. salinus* – 16 eggs per female (*P. cordatum*). Egg hatching of *C. aquaedulcis* when being fed with both monocultures of microalgae *P. cordatum* and *I. galbana* and with their mixture reached 100 %. The highest egg hatching rate for *A. salinus* was reached only when copepod females were fed with a mixture of microalgae *I. galbana* + *P. micans*.

Keywords: copepods, *Arctodiaptomus salinus*, *Calanipeda aquaedulcis*, survival, development, reproduction, microalgae, mixture of microalgae, Dinophyceae, Prymnesiophyceae