



Л. О. Аганесова, аспирант

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины, Севастополь, Украина

**ВЫЖИВАЕМОСТЬ И ДЛИТЕЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ КОПЕПОД  
*CALANIPEDA AQUAE DULCIS* И *ARCTODIAPTOMUS SALINUS*  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПИТАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЯМИ  
РАЗНЫХ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ГРУПП**

В экспериментальных условиях определены продолжительность развития и выживаемость солоноватоводных копепод *Calanipeda aquae dulcis* и *Arctodiaptomus salinus* при их кормлении моновидовыми культурами микроводорослей из разных систематических групп. Наиболее высокие значения выживаемости *C. aquae dulcis* и наименьшая продолжительность развития *C. aquae dulcis* и *A. salinus* получены при их питании монокультурами микроводорослей классов Dinophyceae и Prymnesiophyceae.

**Ключевые слова:** копеподы, *Calanipeda aquae dulcis*, *Arctodiaptomus salinus*, развитие, питание, микроводоросли

*Calanipeda aquae dulcis* и *Arctodiaptomus salinus* – виды копепод, обитающие в Азовском море, в распреснённых участках, лиманах и эстуариях рек, впадающих в Чёрное море [2], а также пресноводных, солоноватоводных, солёных (до 20‰) водоёмах и гиперсолёных озерах Крыма [4]. Эти копеподы могут быть использованы как кормовые объекты при культивировании личинок морских рыб. Для разработки метода получения их продукции необходимо определить оптимальные условия развития. Основными факторами, влияющими на выживаемость и длительность развития копепод, являются температура, количественные и качественные характеристики питания [7, 9]. В процессе роста и развития в течение жизненного цикла *C. aquae dulcis* и *A. salinus* проходят 12 стадий: 6 науплиальных (N1-6) и 6 копеподитных стадий (C1-6), достигая половозрелости на C6. Однако данные относительно оптимальных кормовых объектов для разных жизненных стадий копепод этих видов отсутствуют.

Цель данной работы: определить продолжительность развития и выживаемость *C. aquae dulcis* и *A. salinus* от первой науплиальной (N1) до шестой копеподитной (C6) стадии при условии питания микроводорослями определённого вида.

**Материал и методы.** Эксперименты проводили на лабораторных культурах *C. aquae dulcis* и *A. salinus* при  $21 \pm 1.5^\circ\text{C}$ , питавшихся микроводорослями одного вида при их концентрации *ad libitum*. В экспериментах использовали микроводоросли Bacillariophyceae: *Phaeodactylum tricorutum* (размеры клеток 2 – 4 мкм), *Thalassiosira weissflogii* (5 – 7 мкм); Chlorophyceae: *Chlorella* sp. (1 – 2 мкм) и *Dunaliella salina* (10 – 20 мкм); Dinophyceae: *Exuviaella* (= *Prorocentrum*) *cordata* (12 – 14 мкм), *Prorocentrum micans* (28 – 42 мкм); *Glenodinium* (= *Peridinium*) *foliaceum* (21 – 26 мкм); Prymnesiophyceae: *Isochrysis galbana* (3 – 6 мкм), полученных из лабораторных моновидовых накопительных культур, выращенных на основе стерилизованной 18‰ черноморской воды, обогащённой средой Уолна. Из лабораторных культур *C. aquae dulcis* и *A. salinus*, адаптированных к питанию определёнными микроводорослями, отсаживали по 15 науплиусов N1 (3 повторности) каждого вида копепод в экспериментальные сосуды объёмом 50 мл. Эксперименты проводили при плотности копепод в сосудах  $0.3 \text{ экз. мл}^{-1}$ . Смену воды и добавление микроводорослей копеподам выполняли раз в три дня. Сосуды находились в условиях круглосуточного освещения.

Наблюдения за развитием и выживаемостью копепод проводили от первой науплиальной (N1) до шестой копеподитной (C6) стадии в камере Богорова под бинокляром при увеличении 2×8 и 4×8. Выживаемость копепод оценивали как процент особей, выживших при прохождении всех стадий от N1 до C6. Продолжительность развития копепод определяли как средний временной интервал развития особей от N1 до достижения взрослой стадии – C6.

**Результаты и обсуждение.** Особи *C. aquae dulcis* при питании микроводорослями *Chlorella* sp., *D. salina*, *T. weissflogii* не могли пройти все стадии жизненного цикла. При питании монокультурами *E. cordata*, *I. galbana* и *P. tricornutum* копеподы проходили все науплиальные и копеподитные стадии развития до достижения половозрелости – стадии C6 (рис. 1А).

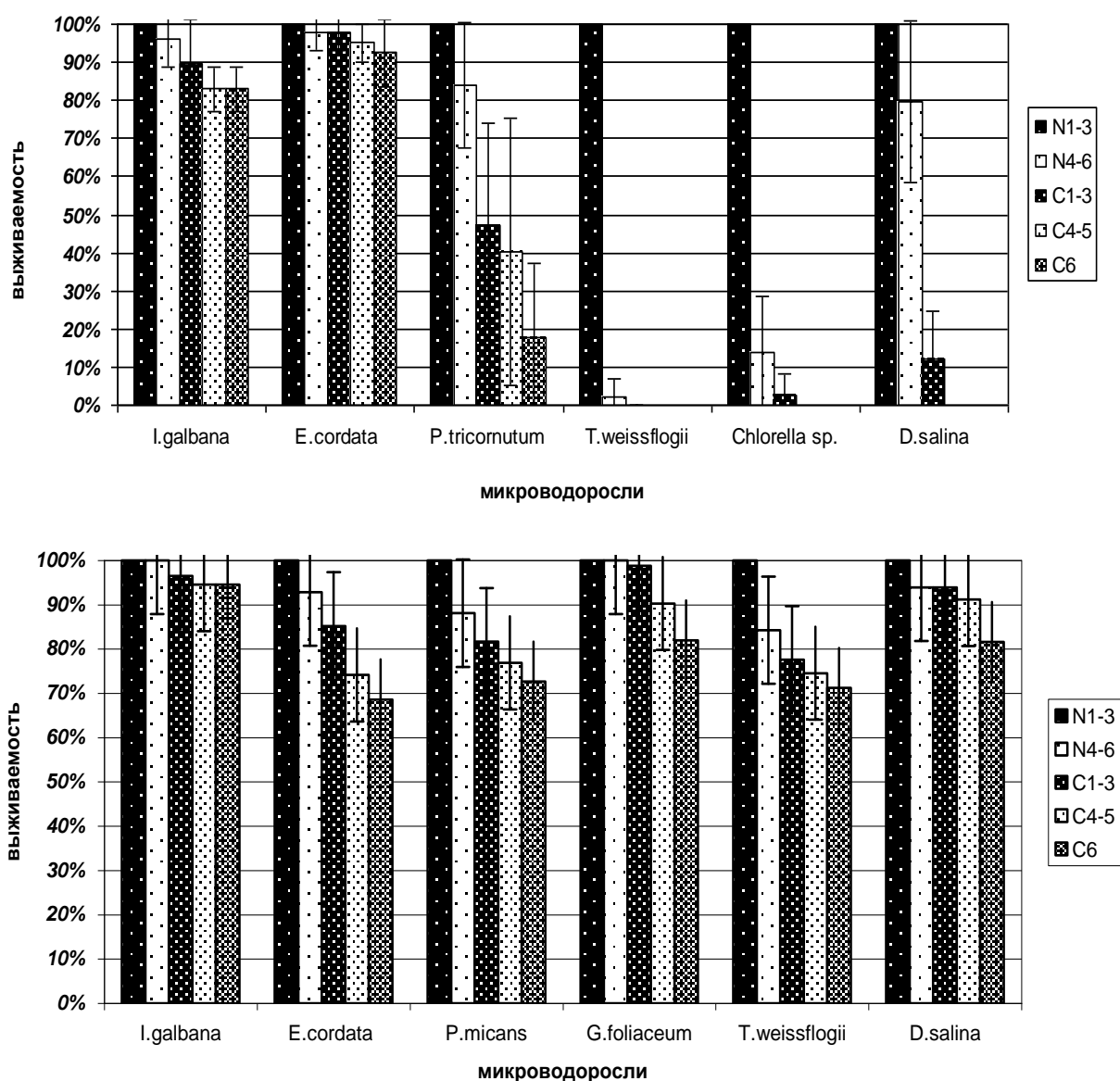


Рис. 1 Выживаемость *Calanipeda aquae dulcis* (верхний рис.) и *Arctodiaptomus salinus* (нижний рис.) в зависимости от питания различными микроводорослями

Fig. 1 The survival of *Calanipeda aquae dulcis* (above) and *Arctodiaptomus salinus* (below) depending on feeding different microalgae diets

Процент выживаемости копепод *C. aquae dulcis* на протяжении линек от N1 до C6 в зависимости от вида микроводоросли составлял 92.5 % при питании *E. cordata*, 83 % при питании *I. galbana* и 17.8 % при питании *P. tricornutum* (рис. 1А).

В отличие от *C. aquae dulcis*, копеподы *A. salinus* проходили все стадии жизненного цикла и достигали половозрелости при питании всеми предложенными видами микроводорослей. Выживаемость *A. salinus* также варьи-

ровала в зависимости от вида микроводорослей, которыми они питались. Минимальный процент выживаемости *A. salinus* на протяжении всех линек от N1 до C6 составил 68.6 % при питании *E. cordata*, максимальный – 94.5 % при питании *I. galbana* (рис. 1Б).

Продолжительность развития копепод представлена на рис. 2 как временные отрезки прохождения стадий N1 – N3, N4 – N6, C1 – C3 и C4 – C5.

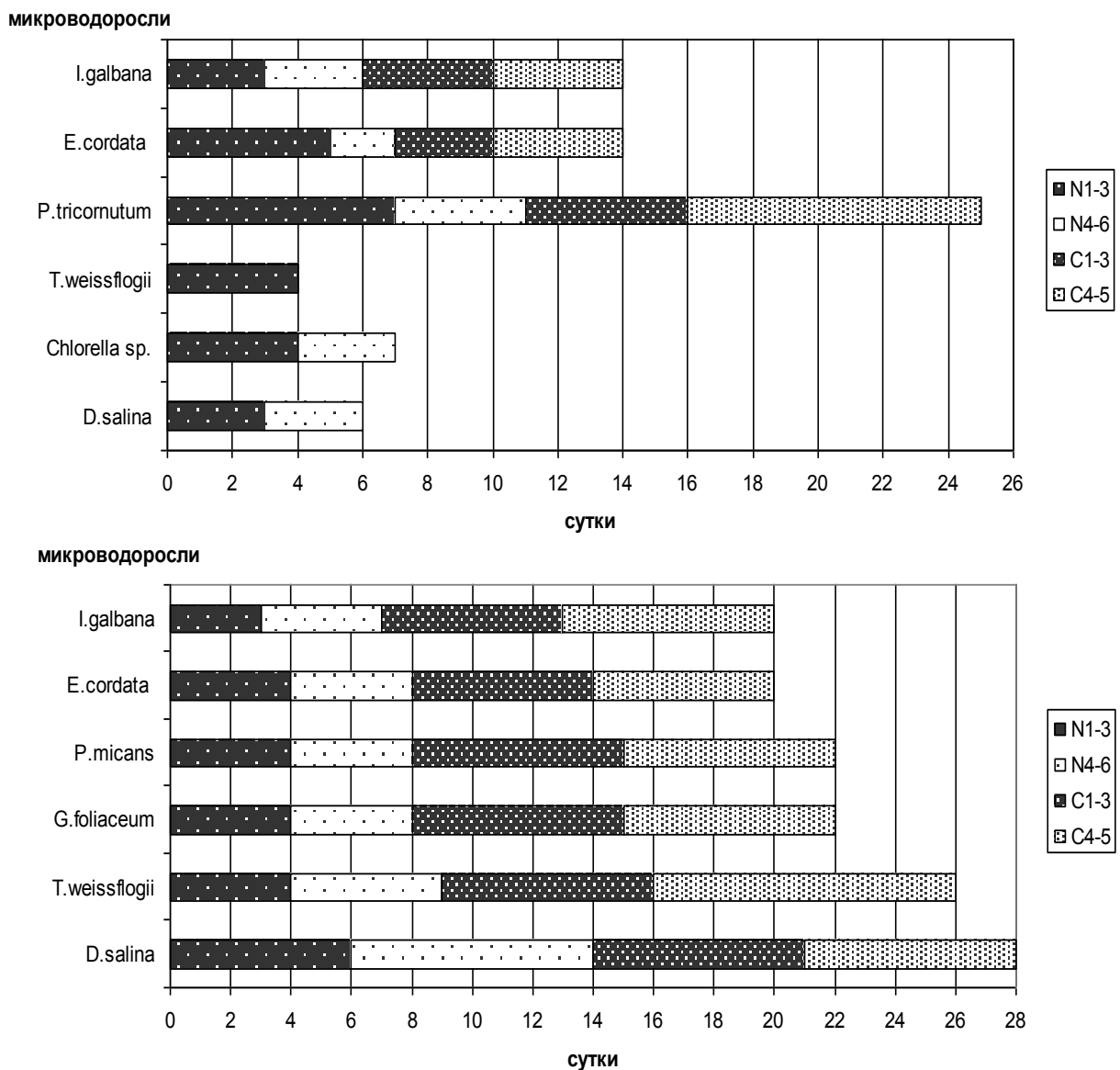


Рис. 2 Продолжительность развития *Calanipeda aquae dulcis* (верхний рис.) и *Arctodiaptomus salinus* (нижний рис.) от N1 до взрослой стадии (C6) в зависимости от питания микроводорослями различных видов  
 Fig. 2 The development times of *Calanipeda aquae dulcis* (above) and *Arctodiaptomus salinus* (below) from N1 to adult stage (C6) depending on different microalgae diet

При кормлении *C. aquae dulcis* микроводорослями *Chlorella* sp. и *D. salina* они проходили линьки только до стадии С3, но не переходили на стадию С4, а при кормлении *T. weissflogii* остановка развития копепод происходила на стадии N6. При питании микроводорослями *I. galbana* и *E. cordata* продолжительность развития *C. aquae dulcis* составила 14 сут, при питании *P. tricorutum* – 25 сут. Наименьшая продолжительность науплиального периода развития копепод (6 сут) получена при питании *I. galbana*, а наибольшая (11 сут) – при питании *P. tricorutum*. Наименьшая продолжительность копеподитного периода развития *C. aquae dulcis* (С1 – С5) составляла 7 сут. – при питании *E. cordata* и наибольшая – 14 сут – при питании *P. tricorutum*.

Продолжительность развития *A. salinus* при питании всеми предложенными видами микроводорослей оказалась значительно больше, чем таковая *C. aquae dulcis*. Продолжительность развития *A. salinus* при кормлении как *I. galbana*, так и *E. cordata* составила 20 сут., при кормлении *T. weissflogii* и *D. salina* она увеличилась соответственно до 26 и 28 сут.

Наименьшая продолжительность науплиального периода развития *A. salinus* составила 7 сут. при питании *I. galbana* и наибольшая – 14 сут. – при питании *D. salina*. Науплиальный период развития *A. salinus* при питании всеми видами динофлагеллят составил 8 сут. Наименьшая продолжительность копеподитного периода развития *A. salinus* (С1 –

С5) составила 12 сут. при питании *E. cordata*, а наибольшая – 17 сут. при питании *T. weissflogii*.

При сравнении значений выживаемости и продолжительности развития копепод обнаруживается сходство влияния некоторых видов микроводорослей на показатели копепод двух разных видов. Наиболее высокие значения выживаемости (свыше 83 %) на протяжении всего периода жизненного цикла как *C. aquae dulcis*, так и *A. salinus* получены при их питании *I. galbana*. Наименьшая продолжительность науплиального периода развития обоих видов копепод была отмечена также при питании *I. galbana*, а копеподитного периода – при питании *E. cordata*. Общая (науплиальный плюс копеподитный периоды) продолжительность развития оказалась наименьшей при их питании монокультурами *I. galbana* и *E. cordata* – 14 и 20 сут. для *C. aquae dulcis* и *A. salinus*, соответственно.

В отличие от *C. aquae dulcis*, у *A. salinus* отмечен высокий процент выживаемости на всех предложенных видах микроводорослей, что, возможно, связано с различиями биохимической трансформации пищи копепод двух разных видов.

Процентное соотношение полов при достижении взрослой стадии копепод – самцов и самок *C. aquae dulcis* и *A. salinus* – также варьировало в зависимости от вида микроводорослей, которыми они питались (табл. 1).

Табл. 1 Процентное соотношение самцов (М) и самок (F) копепод *Calanipeda aquae dulcis* и *Arctodiaptomus salinus* при питании различными микроводорослями  
Table 1 The percentage of males (M) and females (F) of copepods *Calanipeda aquae dulcis* and *Arctodiaptomus salinus* fed different microalgae diets

Микроводоросли	<i>Calanipeda aquae dulcis</i>		<i>Arctodiaptomus salinus</i>	
	М	F	М	F
<i>Isochrysis galbana</i>	20.8±8.3	79.2±8.3	56.1±12.7	43.9±12.7
<i>Exuviaella cordata</i>	42.7±6.3	57.3±6.3	47.7±10	52.3±10
<i>Prorocentrum micans</i>	-	-	45±2.25	55±2.25
<i>Glenodinium foliaceum</i>	-	-	45.6±12.3	54.4±12.3
<i>Dunaliella salina</i>	-	-	39.4±14.4	60.6±14.4
<i>Phaeodactylum tricorutum</i>	50±27	50±27	-	-
<i>Thalassiosira weissflogii</i>	-	-	39.4±23.9	60.6±23.9

Для *C. aquae dulcis* наименьшая доля самцов ( $20.8 \pm 8.3$  %) получена при кормлении *I. galbana*; при питании *E. cordata* их доля возростала до  $42.7 \pm 6.3$  %; равное соотношение с самками ( $50 \pm 27$ %) получено при питании *P. tricornutum*. Для *A. salinus* наибольший процент самцов ( $56.1 \pm 12.7$  %) получен при питании *I. galbana*, наименьший ( $39.4 \pm 23.9$  %) – при питании *T. weissflogii* и ( $39.4 \pm 14.4$  %) – при кормлении *D. salina*.

Таким образом, наиболее высокие значения выживаемости и наименьшая средняя продолжительность развития копепод *C. aquae dulcis* от науплиальной до взрослой стадии развития получены при кормлении копепод монокультурами *I. galbana* и *E. cordata*. Наши данные по длительности развития для науплиального периода сходны с литературными данными, но для копеподитного периода длительность развития *C. aquae dulcis* в наших экспериментах была в два раза меньше установленной ранее [1].

Для *A. salinus* получены высокие показатели выживаемости при кормлении всеми видами микроводорослей (от 94.5 % при питании *I. galbana* до 68.6 % при питании *E. cordata*), а наименьшая средняя продолжительность развития составляла 20 сут. при кормлении *I. galbana* и *E. cordata*. По немногочисленным литературным данным [8], процент выживаемости *A. salinus* при питании в экспериментальных условиях фитопланктоном из естественной среды обитания с добавлением микроводорослей из культуры *Chlamydomonas reinhardtii* (при тех же температурных условиях) составлял 70 %, а первые половозрелые особи отмечены на 24 сут. развития. Полученные нами экспериментальные данные показали, что выживаемость *A. salinus* может быть значительно выше (94 %), а продолжительность развития – короче (20 сут).

Известно, что спектр питания копепод на разных стадиях развития зависит от размера и вида микроводорослей, а размер поглощаемой пищи возрастает с увеличением

размеров копепод [6]. Но различное влияние микроводо-рослей разных видов на выживаемость и длительность развития копепод на разных стадиях развития, по-видимому, обусловлены также изменением биохимических потребностей копепод в течение их жизненного цикла [5, 6].

Выживаемость копепод и продолжительность их развития при питании монокультурой микроводорослей могут служить показателями морфологического и размерного соответствия пищевых кормов, а также биохимической адекватности кормового объекта пищевым потребностям копепод. Микроводоросли Dinophyceae характеризуются высоким содержанием высоконенасыщенных жирных кислот (докозагексаеновой и эйкозапентаеновой), а Gymnesiophyceae – повышенным содержанием докозагексаеновой жирной кислоты. Напротив, состав микроводорослей Bacillariophyceae характеризуется повышенным содержанием эйкозапентаеновой кислоты и низким – докозагексаеновой. Микроводоросли Chlorophyceae характеризуются полным отсутствием докозагексаеновой и очень низким содержанием эйкозапентаеновой жирной кислоты [10]. Именно содержание и соотношение этих двух ненасыщенных жирных кислот в составе микроводорослей, по-видимому, и является одним из основных факторов, оказывающих влияние на длительность развития и выживаемость каланоидных копепод [3].

Полученные нами данные позволяют сделать вывод, что выживаемость и длительность развития копепод зависят не только от соотношения размерных характеристик микро-водорослей и копепод (табл. 2), но и от вида копепод и вида водорослей. Выявленные различия в соотношении полов копепод при их питании разными микроводорослями требуют дополнительных исследований. Вероятно, биохимический состав пищи может оказывать влияние также и на дифференциацию пола развивающихся копепод, как это установлено для других гидробионтов [11].

Табл. 2 Средние значения и диапазон размеров разных периодов развития копепод *Calanipeda aquae dulcis* и *Arctodiaptomus salinus*. n =50Table 2 Mean and range of size of the different developmental periods of copepods *Calanipeda aquae dulcis* and *Arctodiaptomus salinus*. n =50

Стадия	<i>Calanipeda aquae dulcis</i>		<i>Arctodiaptomus salinus</i>	
	Средняя длина, мм	Диапазон, мм	Средняя длина, мм	Диапазон, мм
Науплии (N1-N6)	0.24	0.12 – 0.35	0.33	0.23 – 0.45
Копеподиты (C1-C5)	0.69	0.46 – 0.95	0.86	0.58 – 1.18
Взрослые (C6)	1.17	1.06 – 1.22	1.37	1.32 – 1.44

**Заключение.** Монокультуры микроводорослей *Exuviaella cordata* и *Isochrysis galbana* являются оптимальными кормовыми объектами для выживания и скорости развития копепод *Calanipeda aquae dulcis* на всем протяжении онтогенеза. Монокультуры микроводорослей классов Chlorophyceae и Bacillariophyceae, по-видимому, не удовлетворяют полностью потребностей по незаменимым компонентам пищи для роста и развития определенных стадий копепод *C. aquae dulcis*, и поэтому оказываются не подходящими для ис-

пользования в качестве пищевых объектов для их культивирования. Для *Arctodiaptomus salinus* в качестве оптимальных кормовых объектов могут использоваться все предложенные монокультуры микроводорослей, однако наиболее предпочтительными являются микроводоросли классов Dinophyceae и Prymnesiophyceae.

**Благодарности.** Выражаю искреннюю благодарность вед. инженеру Рауен Т.В. за выращивание культур микроводорослей, использованных в экспериментах.

1. Гарбер Б. И. Наблюдения за развитием и размножением *Calanipeda aquae dulcis* Kritsch (Copepoda: Calanoida) // Тр. Карадаг. биол. ст. – 1951. – В. 2. – С. 3 – 55.
2. *Определитель фауны* Черного и Азовского морей в трех томах (под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского). – К.: Наук. Думка, 1969. – Т. 2. – Свободноживущие беспозвоночные. Ракообразные.
3. Ханайченко А. Н. Влияние микроводорослевой диеты на характеристики воспроизводства копепод // Экология моря. – 1999. – №49 – С. 56-61.
4. Шадрин Н. В., Батогова Е. А., Конейка А. В. *Arctodiaptomus salinus* (Daday, 1885) (Copepoda, Diaptomidae), редкий в северо-западной части Чёрного моря вид, обычен в прибрежных водах Крыма // Морск. экол. журн. – 2008. – 7, 2. – С. 86.
5. Brucet S., Boix D., Lopez-Flores R. et al. Ontogenetic changes of amino acid composition in planktonic crustacean species // Marine Biology. – 2005. – 148. – P. 131 – 139.
6. 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. – 355. – P. 183 – 191.
7. Cook K.B., Bunker A., Hay et al. Naupliar development times and survival of the copepods *Calanus helgolandicus* and *Calanus finmarchicus* in relation to food and temperature // J. Plank. Res. – 2007. – 9. – P. 757 – 767.
8. Jimenez-Melero R., Parra G., Souissi S., et al. Post-embryonic developmental plasticity of *Arctodiaptomus salinus* (Copepoda: Calanoida) at different temperatures // J. Plank. Res. – 2007. – 6. – P. 553 – 567.
9. Wiggert J. D., Hofmann E. E., Paffenhofer G-A. A modelling study of developmental stage and environmental variability effects on copepod foraging // ICES J. Mar. Sci. – 2008. – 65. – P. 379 – 398.
10. Zhukova N. V., Aizdaicher N. A. Fatty acid composition of 15 species of marine microalgae // Phytochemistry. – 1995. – 39, No. 2.- P. 351 – 356.
11. Zupo V. Influence of diet on sex differentiation of *Hippolyte inermis* Leach (Decapoda: Natantia) in the field // Hydrobiologia. – 2001. – 449. – P. 131 – 140.

Поступила 08 декабря 2010 г.

После доработки 15 апреля 2011 г.

**Вживання та тривалість розвитку копепод *Calanipeda aquae dulcis* і *Arctodiaptomus salinus* залежно від живлення мікроводоростями різних таксономічних груп. Л. О. Аганесова.** В експериментальних умовах визначено тривалість розвитку та вживання солоноватоводних копепод *Calanipeda aquae dulcis* і *Arctodiaptomus salinus* у культурах при живленні їх моновідовими культурами мікроводоростей, що відносяться до різних систематичних груп. Найбільш високі значення вживання копепод *C. aquae dulcis* та найменша тривалість розвитку копепод *C. aquae dulcis* і *A. salinus* отримани при живленні копепод монокультурами мікроводоростей класів Dinophyceae і Prymnesiophyceae.

**Ключові слова:** копеподи, *Calanipeda aquae dulcis*, *Arctodiaptomus salinus*, розвиток, живлення мікроводоростями

**Survival and development times of the copepods *Calanipeda aquae dulcis* and *Arctodiaptomus salinus* depending on feeding microalgae of different taxonomic groups. L. O. Aganesova.** Development times and survival of brackish water copepods *Calanipeda aquae dulcis* and *Arctodiaptomus salinus* fed monospecific cultures of microalgae from different taxonomic groups were determined in experimental conditions. The highest survival of *C. aquae dulcis* and shortest duration of development time for both copepod species were obtained on Dinophyceae and Prymnesiophyceae diet.

**Key words:** copepods, *Calanipeda aquae dulcis*, *Arctodiaptomus salinus*, development, microalgae diet