

## 带卵囊和自由产卵桡足类水蚤群体增殖比较研究

商 栩, 王桂忠, 李少菁

(厦门大学海洋与环境学院, 福建 厦门 361005)

**摘 要:**对自由产卵的太平洋纺锤水蚤 (*Acartia pacifica*) 和带卵囊的双齿许水蚤 (*Schmackeria dubia*) 在自然半封闭水体和实验室水箱培养条件下的群体增殖情况进行了比较, 结果显示扰动水体太平洋纺锤水蚤的增殖率大大高于静止水体, 而双齿许水蚤则在两类水体中都表现出高的增殖率。太平洋纺锤水蚤在静止水体中的低幼体产出率是其所产自由散落的卵沉底后无法正常孵化、无法对浮游群体进行补充的结果, 而双齿许水蚤的卵因得到带体卵囊的保护而保持了高孵化率和幼体存活率, 从而具有较强的抵抗外界恶劣环境的能力, 并能够进行高密度培养以获得高的无节幼体产量。因此, 带卵囊桡足类水蚤更适于作为海水鱼类育苗所需开口活饵料的来源。

**关键词:** 桡足类; 带卵囊; 自由产卵; 群体增殖

**中图分类号:** S 963.214

**文献标识码:** A

### Comparative studies on the group increasing of egg-carrying and free-spawning copepods

SHANG Xu, WANG Gui-zhong, LI Shao-jing

(College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen, Fujian  
361005, China)

**Abstract:** Group increasing of free-spawning copepod *Acartia pacifica* and egg-carrying copepod *Schmackeria dubia* in a semi-closed pond and the tanks in laboratory were compared. The results indicated that reproduction rate of *A. pacifica* was higher in stirring water than in still water, while *S. dubia* exhibited active multiplication under both conditions. Low nauplii production of *A. pacifica* in still water should be attributed to low hatching rate of the disperse eggs after they sink to bottom. Eggs of *S. dubia*, on the contrary, would be protected by the egg sacs and avoid the harsh bottom environment, then this egg-carrying copepod can yield high density of nauplii in still water also. Our results imply egg-carrying copepods are more applicable to rear for larvae culture than free-spawning copepods.

**Key words:** Copepods; Egg-carrying; Free-spawning; Group increasing

绝大多数的海水鱼类养殖的育苗都需要提供动物性活饵料作为开口饵料, 包括从寒带种类的鳕 *Gadus morhua*<sup>[1]</sup> 和鲱 *Hippoglossus hippoglossus*<sup>[2]</sup>, 到温带种类的鲆 *Scophthalmus maximus*<sup>[3]</sup>, 再到热带种类的鲈 *Dicentrarchus labrax* 和鲷 *Archosargus rhomboidalis*<sup>[4]</sup> 等。很长时间以来, 水产生产一直是以卤虫无节幼体和轮虫作为鱼类苗种的营养供给, 但一方面以盐场为依托的卤虫卵的生产难以充分保证水产生产的需要<sup>[5]</sup>, 同时较高的价格增加了养殖者的成本。另一方面卤虫和轮虫也并非所有鱼类仔

稚鱼的最合适饵料, 这可能是因为此类生物个体太大的缘故<sup>[3,6]</sup>, 或是无法诱发仔稚鱼的摄食反应, 或是其游动能力使得仔稚鱼的捕食变得困难<sup>[3,7,8]</sup>。尽管有些养殖鱼类如鲷科类其苗种能够较好地仅在仅有轮虫作为饵料的条件下饲养, 然而发现越来越多的鱼类不适于采用轮虫作为其幼体培养的饵料, 包括笛鲷科<sup>[9,10]</sup> 和鲷科<sup>[11,12]</sup> 鱼类。在使用小型轮虫 *Brachionus rotundiformis* 作为开口饵料喂养黑斑笛鲷 (*Lutjanus johnii*) 的研究中, 仔鱼排泄物中甚至包含完整、可活动的轮虫, 显示轮虫即便被摄食也无

收稿日期: 2005-05-02 初稿; 2005-10-29 修改稿

作者简介: 商栩 (1977-), 男, 博士研究生, 从事浮游动物生理生态研究。

通讯作者: 王桂忠 (1951-), 男, 教授, 博导, 从事海洋生物学研究 (E-mail: gzwang@jingxian.xmu.edu.cn)。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40076034)。

法被仔鱼消化<sup>[10]</sup>。而采用轮虫投喂的仔鱼的存活时间与不投喂的仔鱼相当,也表明轮虫不适于作为此类鱼的开口饵料。由于以上问题的存在,寻找能够增加养殖鱼类并提高鱼苗存活率的活饵料就显得非常迫切。

越来越多的研究显示,采用桡足类无节幼体作为养殖鱼类的早期仔鱼的饵料能够有效提高仔稚鱼的存活率和生长率<sup>[13,14]</sup>,并增强抵抗环境压力的能力<sup>[15]</sup>。当提供桡足类(主要为*Pseudodiaptomus anandalei*和*Acartia tsuensis*)的无节幼体和轮虫作为饵料时,所饲养的石斑鱼*Epinephelus coioides*比仅有轮虫为饵料时有着更高的存活率和更快的生长速度<sup>[12,14]</sup>,且当这两种饵料共同存在时,*E. coioides*的仔鱼倾向于摄食桡足类无节幼体<sup>[11]</sup>。相比之下更小的体积和显然更易于消化的特性使得桡足类的无节幼体更加适合作为仔鱼的开口饵料<sup>[16]</sup>。尽管桡足类水蚤作为海洋鱼类仔稚鱼的活饵优点十分明显,但在水产生中的应用仍十分有限。究其原因一是在控制成本的前提下如何避免桡足类无节幼体规模化生产环节中的不稳定因素,从而持续获得高产量尚无令人满意的解决办法;二是如何长期保存用于无节幼体规模化生产所需的桡足类群体,并在较短时间内形成生产力满足水产育苗需要的技术尚不成熟。

已有的对培养桡足类用于水产育苗的研究主要集中在哲水蚤目桡足类如*Acartia* sp.<sup>[10, 11, 17]</sup>、*Eurytemora* sp.<sup>[18,19]</sup>、*Pseudodiaptomus* sp.<sup>[12, 14]</sup>、*Gladioferens imparipes*<sup>[20,21]</sup>等,以及猛水蚤目桡足类如*Trigriopus japonicus*<sup>[22]</sup>、*Tisbe* sp.<sup>[23,24]</sup>、*Euterpina acutifrons*<sup>[25]</sup>等。相对于带卵囊种类如猛水蚤*Tisbe holothuriae*可进行高密度培养(>13 000只·L<sup>-1</sup>)并获得很高的无节幼体产出(≈100 000只·L<sup>-1</sup>)<sup>[23]</sup>,自由产卵种类如哲水蚤*Acartia tonsa*则必须培养在低密度下(<100只·L<sup>-1</sup>),从而造成较低的后代产出率(≈530只·L<sup>-1</sup>)<sup>[17]</sup>。但由于猛水蚤无节幼体仅有很短的浮游期或完全底栖,且个体相对哲水蚤无节幼体大,这就使其不适于作为鱼苗的开口饵料。为此,我们选取了九龙江口两种常见浮游哲水蚤,带卵囊的双齿许水蚤(*Schmackeria dubia*)和自由产卵的太平洋纺锤水蚤(*Acartia pacifica*)进行培养实验,尝试比较这两类产卵方式哲水蚤在自然水池和人工水箱培养条件下的产卵率、孵化率、群体增殖率和无节幼体产出率的差异,以确

定拥有带卵囊繁殖方式的浮游哲水蚤是否比自由产卵种类具有更大的应用于水产育苗的潜力。

## 1 材料与方法

对太平洋纺锤水蚤和双齿许水蚤在天然池塘中增殖的比较观测试验在位于厦门市集美区的一个半封闭池塘进行。该池长约800 m,宽约100 m,水深(1.5±0.5) m,底质为砂泥质。作为周边学校、居民点的主要纳污水体,生活污水中含有的大量有机物和营养盐使该池经常处于富营养化状况,类似于养殖水体中经常出现的情况。为改善水质,每半个月通过池西南端的闸门利用大潮时的高低潮差在低潮时将99%以上的池水排出,并曝池1 d,然后在高潮时从同安湾纳入海水,完成1次换水。这种相对固定的换水节律为研究海水桡足类水蚤进入池内后在封闭水体中种群的短期演替提供了理想的条件。

采样于2003年7月和2004年1月各1个换水周期中每隔3 d用小型浮游生物网(口径30 cm,网目80 μm)在水面以下0.5 m处水平拖网,记录拖曳距离以换算滤水体积。每次从池内及堤坝外的同安湾分别采集两组平行固定样,以5%福尔马林保存用于鉴定和计数。同时测定现场的温度、盐度、叶绿素浓度和表、底(底面以上20 cm)层水体氧含量。用于模拟培养试验的活体样则保存于现场海水中在1 h内带回实验室。

从活体样品中挑取太平洋纺锤水蚤和双齿许水蚤各50只培养于60 L水箱中,设置气石充气和不充气作为对照,并各设两个平行样。培养水体按采样现场的盐度用砂滤海水与自来水调配而成,并投喂足量等鞭金藻和小球藻作为饵料,每3 d换水50%。在该池塘下一次换水前(培养两周后)将各培养水箱内水体用80 μm筛绢过滤,滤出物用5%福尔马林固定后鉴定并计数。

## 2 结果与分析

观测池塘封闭后其中水体的盐度逐渐下降,但幅度不大;叶绿素浓度呈上升趋势,但在2003年7月的采样周期中初期的快速上升后在末期则有一明显下降;水体表层DO值基本稳定,但底层DO值则逐渐降低,反映了底层水体受到了池底沉积有机物降解所造成的去氧化作用(图1)。对连续采样获得的池塘内浮游动物样品进行鉴定和计数的结果显示,在该水体封闭后太平洋纺锤水蚤成体的密度变

化不显著,而其幼体特别是无节幼体密度下降明显,反映了其种群在该环境下无法得到正常补充(图2)。而双齿许水蚤的各发育期个体密度均显著增加,表

明该种类桡足类在这一封闭静止水体中有着很高的存活率和繁殖率(图3)。

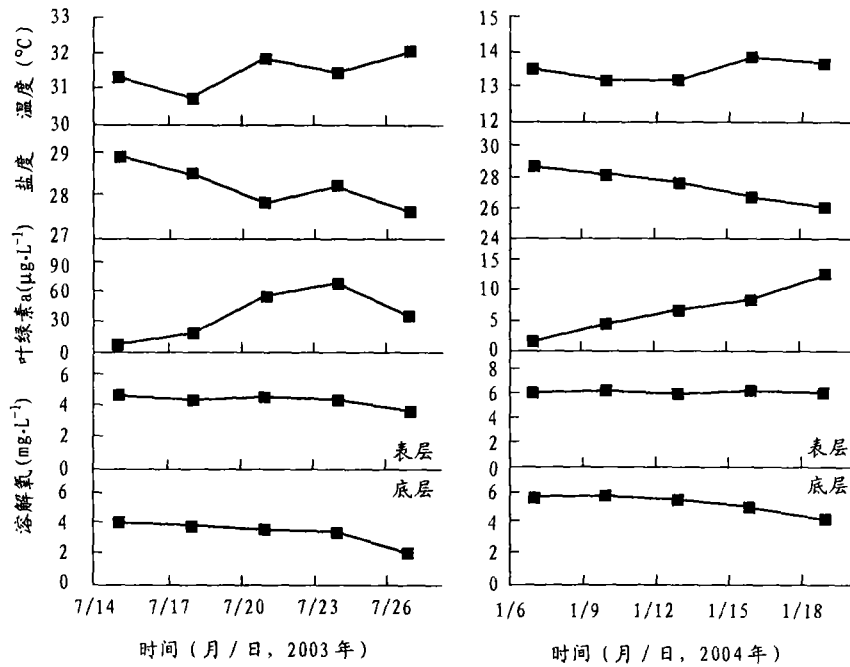


图1 采样周期中池塘内温度、盐度、叶绿素浓度和表、底层溶解氧浓度的变化

Fig. 1 Variations of temperature, salinity, chlorophyll a and dissolved oxygen concentration in the pond during sampling periods

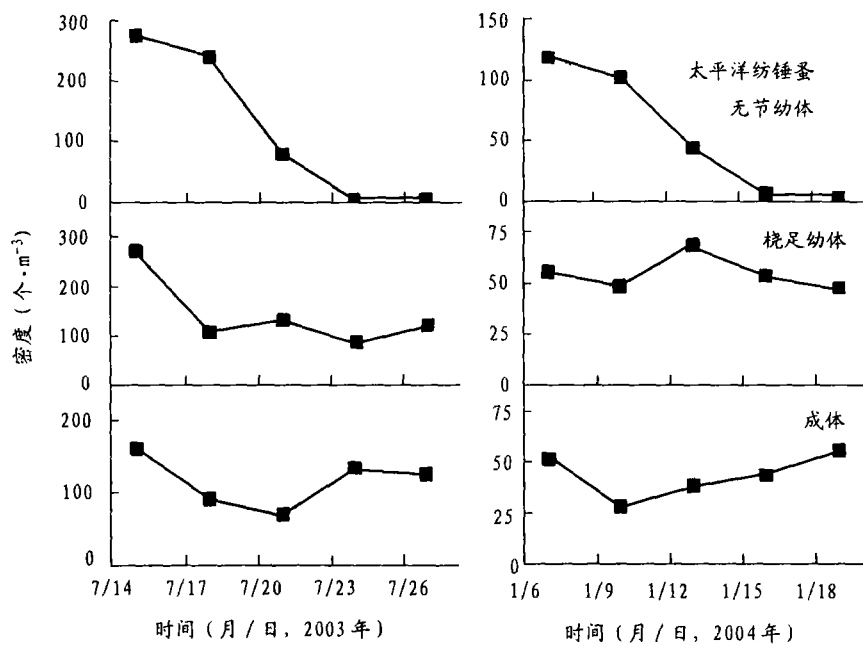


图2 池塘封闭后其内太平洋纺锤水蚤各发育期个体密度的变化

Fig. 2 Variations of densities of nauplii, copepodites and adults of *A. pacifica* in the closed pond

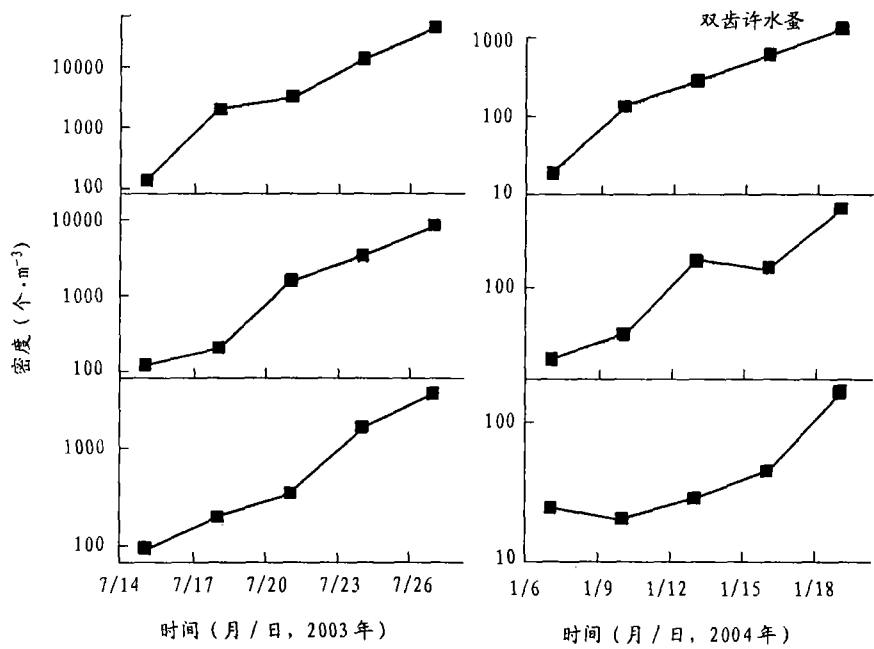


图 3 池塘封闭后其内双齿许水蚤各发育期个体密度的变化  
Fig. 3 Variations of densities of nauplii, copepodites and adults of *S. dubia* in the closed pond

比较不同实验室培养条件下桡足类的增殖状况可以发现, 充气条件下太平洋纺锤水蚤的增殖率要比无充气水体中高得多, 事实上在无充气水箱中仅有极少的幼体产出 (表 1), 而双齿许水蚤在这两种水体环境中的增殖率则差异不大 (表 2)。

表 1 充气和无充气水箱培养太平洋纺锤水蚤的增殖情况  
Table 1 Group increasing of *A. pacifica* reared in tanks with or without aeration

| 充气条件 | 桡足幼体数<br>(只) | 无节幼体数<br>(只) |
|------|--------------|--------------|
| 有    | 271          | 89.5         |
| 无    | 34.5         | 11.5         |

表 2 充气和无充气条件下水箱培养双齿许水蚤的增殖情况  
Table 2 Group increasing of *S. dubia* reared in tanks with or without aeration

| 充气条件 | 桡足幼体数<br>(只) | 无节幼体数<br>(只) |
|------|--------------|--------------|
| 有    | 1705.5       | 1014         |
| 无    | 2028         | 699          |

3 讨 论

自由产卵的太平洋纺锤水蚤和带卵囊的双齿许水蚤在天然池塘封闭后的静止水体中表现出了截然

不同的种群动态 (图 2、3), 反映了这两类产卵方式桡足类在此类水体中不同的增殖水平。因为池内水体的温度与池外海区相似, 且池内少许下降的盐度也仍在太平洋纺锤水蚤的适盐范围之内<sup>[26]</sup>, 所以温、盐条件不是引起两种桡足类水蚤繁殖差异的原因。池塘内的高叶绿素浓度体现了高的饵料浓度, 而太平洋纺锤水蚤作为主要出现在河口和近岸水域的纺锤水蚤类群中的一员, 应能较好地适应这一环境中较高的饵料浓度<sup>[27]</sup>。以往的研究表明, 水体中的 DO 浓度对桡足类的生存、生长和繁殖都构成影响<sup>[28]</sup>。由于该池塘水体较浅, 厦门水域的太平洋纺锤水蚤产出的自由散落的卵在海水中的沉降速度为  $0.99\text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$  (姜晓东, 未发表), 从而在孵化之前沉至水底, 这也是自由产卵类哲水蚤在近岸浅水区域的普遍现象<sup>[29~31]</sup>。而水底较低的 DO 浓度将阻碍或是延缓桡足类卵的发育, 仅有很少的卵能够在水底沉积物中的缺氧环境中存活很长的时间并最终孵化, 从而无法对浮游群体形成补充<sup>[32~34]</sup>。相对于自由产卵的太平洋纺锤水蚤在浅水池塘内无法正常繁殖, 带卵囊的双齿许水蚤的卵得到带体卵囊的保护而始终维持在水层中, 避开了沉积层中及其附近的去氧化环境, 从而保证了卵的孵化率。

在实验室培养试验中, 太平洋纺锤水蚤在无充气条件下群体增殖率很低, 而在充气条件下有较高

的增殖率(表1)。鉴于试验过程中桡足类的培养密度很低,且保持了3 d 换水50%的换水频率,因此水体中DO 浓度不应成为限制其繁殖的因素。以往对自由产卵桡足类所产出卵的孵育试验显示,在静止水体中卵的孵化率通常低于50%<sup>[35]</sup>,甚至低于10%<sup>[36,37]</sup>。我们认为这种低孵化率与卵沉底后所处的底面上的微环境有关。沉积在水体底部的藻类碎屑和桡足类粪便的降解作用造成了一个不适于卵孵化的沉积环境,而随之而来的微生物的大量繁殖也进一步阻碍了卵的孵化。在充气条件下,一方面产生的水流有助于破坏上述沉积环境的形成和加剧,另一方面水体的搅动也增加了沉底的卵再悬浮的概率,从而提高了卵的孵化率。

带卵囊的双齿许水蚤在本次试验中表现了出色的环境适应能力和进行高密度培养的潜力(表2)。尽管带卵囊桡足类通常带卵较少<sup>[38]</sup>,但卵的高孵化率和高的幼体存活率保证了其具有高的无节幼体产出率<sup>[39]</sup>,且相对于自由产卵种类通常接近于1:1的雌雄比例,带卵囊种类所产出的后代的雌雄比例通常高于5:1,甚至达到14:1以上<sup>[40]</sup>,从而此类桡足类种群整体所消耗的资源中有更大比例投入到子代产出上。

综合以上比较结果,我们认为带卵囊哲水蚤类桡足类相对于自由产卵种类具有在静止水体中大量增殖的明显优势,更加适于在大规模、低投入的养殖水体中进行连续培养,其较强的对抗恶劣环境的能力也有利于种群的维持和保存。但在具体的水产应用中,还需在考虑养殖鱼类对开口饵料对象是否存在种别选择的基础上确定采用的桡足类种类。

## 参考文献:

- [1] Stottrup J G, Shields R, Gillespie M, *et al.* The production and use of copepod in larval rearing of halibut turbot and cod [J]. Bulletin of the Aquaculture Association of Canada, 1998, 4: 41—46.
- [2] Naess T, Germain-Henry M, Naas K E. First feeding of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) using different combinations of *Artemia* and wild zooplankton [J]. Aquaculture, 1995, 130: 235—250.
- [3] van der Meeren T. Selective feeding and prediction of food consumption in turbot larvae (*Scophthalmus maximus* L.) reared on the rotifer *Brachionis plicatilis* and natural zooplankton [J]. Aquaculture, 1991, 93: 35—55.
- [4] Stepien W P. Feeding of laboratory reared larvae of the seabream *Archosargus rhomboidalis* (Sparidae) [J]. Mar Biol, 1976, 38: 1—16.
- [5] Lavens P, Sorgeloos P. The history, present status and prospects of the availability of *Artemia* cysts for aquaculture [J]. Aquaculture, 2000, 181: 397—403.
- [6] Pepin P, Penney R W. Patterns of prey size and taxonomic composition in larval fish; are there general size dependent models [J]. J Fish Biol, 1997, 51: 84—100.
- [7] Buskey E J, Coulter C, Strom S. Locomotory patterns of microzooplankton; potential effects on food selectivity of larval fish [J]. Bull Mar Sci, 1993, 53: 29—43.
- [8] von Herbing H, Gallagher S. Foraging behavior in early Atlantic cod larvae (*Gadhus morhua*) feeding on a protozoan (*Balanion* sp.) and a copepod nauplius (*Pseudodiaptomus* sp.) [J]. Mar Biol, 2000, 136: 591—602.
- [9] Doi M, Singhagraiwan T, Singhagraiwan S, *et al.* An investigation of copepods being applied as initial food organisms for red snapper larvae [J]. Thai Mar Fish Res Bull, 1994, 5: 21—26.
- [10] Schipp G R, Bosmans J M P, Marshall A J. A method for hatchery culture of tropical calanoid copepods, *Acartia* spp. [J]. Aquaculture, 1999, 174: 81—88.
- [11] Toledo J D, Golez S N, Doi M, *et al.* Food selection of early grouper, *Epinephelus coioides*, larvae reared by the semi-intensive method [J]. Suisanzoshoku, 1997, 45: 327—337.
- [12] Toledo J D, Golez S N, Doi M, *et al.* Use of copepod nauplii during early feeding stage of grouper *Epinephelus coioides* [J]. Fisheries Science, 1999, 65: 390—397.
- [13] Hussain N A, Higuchi M. Larval rearing and development of the brown spotted grouper, *Epinephelus tauvina* (Forsk.) [J]. Aquaculture, 1980, 19: 339—350.
- [14] Doi M, Toledo J, Golez M S N, *et al.* Preliminary investigation of feeding performance of larvae of early red-spotted grouper, *Epinephelus coioides*, reared with mixed zooplankton [J]. Hydrobiologia, 1997, 358: 259—263.
- [15] Kraul S, Brittain K, Cantress R, *et al.* Nutritional factors affecting stress resistance in the larval mahimahi *Coryphaena hippurus* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1993, 24: 186—193.
- [16] Doi M, Singhagraiwan T. Biology and culture of the red snapper, *Lutjanus argentimaculatus* [R]. Research Project of Fishery Resource Development in the Kingdom of Thailand. Eastern Marine Fisheries Development Centre (EMDEC), Thailand, 1993, 51.
- [17] Stottrup J G, Richardsen K, Kirkegaard E, *et al.* The cultivation of *Acartia tonsa* Dana for use as live food source for marine fish larvae [J]. Aquaculture, 1986, 52: 87—96.
- [18] Witt U, Quantz G, Kuhlmann D, *et al.* Survival and growth of turbot larvae *Scophthalmus maximus* L. reared on different food organisms with special regard to long chain polyunsaturated fatty acids [J]. Aquacult Eng, 1984, 3: 177—190.
- [19] Shields R J, Bell J G, Luiz F S, *et al.* Natural copepods are superior to enriched *Artemia* nauplii as feed for halibut larvae

- (*Hippoglossus hippoglossus*) in terms of survival, pigmentation and retinal morphology: relation to dietary essential fatty acids [J]. *J Nutr*, 1999, 129: 1186—1194.
- [20] Payne M F, Rippingale R J. Rearing West Australian seahorse, *Hippocampus subelongatus*, juveniles on copepod nauplii and enriched *Artemia* [J]. *Aquaculture*, 2000, 188, 353—361.
- [21] Payne M F, Rippingale R J. Intensive cultivation of the calanoid copepod *Gladioferens imparipes* [J]. *Aquaculture*, 2001, 201: 329—342.
- [22] Fukusho K, Arakawa T, Watanabe T. Food value of a copepod *Tigropus japonicus*, cultured with  $\omega$ -yeast for larvae and juveniles of mud Dab *Limanda yokohamae* [J]. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 1980, 46: 499—503.
- [23] Stottrup J G, Norsker N H. Production and use of copepods in marine fish larviculture [J]. *Aquaculture*, 1997, 155: 231—248.
- [24] Nanton D A, Castell J D. The effects of dietary fatty acids on the fatty acid composition of the harpacticoid copepod, *Tisbe* sp., for use as a live food for marine fish larvae [J]. *Aquaculture*, 1998, 163: 251—261.
- [25] Kraul S, Nelson A, Brittain K, et al. Evaluation of live feeds for larval and postlarval Mahimahi *Coryphaena hippurus* [J]. *J World Aquacult Soc*, 1992, 23: 299—307.
- [26] 黄加祺, 郑重. 九龙江口桡足类和盐度关系的初步研究 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 1984, 23 (4): 498—505.
- [27] Paffenhofer G A, Stearns D E. Why is *Acartia tonsa* (Copepoda; Calanoida) restricted to nearshore environments [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1988, 42: 33—38.
- [28] Roman M R, Gauzens A L, Rhinehart W K, et al. Effects of low oxygen waters on Chesapeake Bay zooplankton [J]. *Limnol Oceanogr*, 1993, 38: 1603—1614.
- [29] Miller D D, Marcus N H. The effects of salinity and temperature on the density and sinking velocity of eggs of the calanoid copepod *Acartia tonsa* Dana [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1994, 179: 235—252.
- [30] Tang K W, Dam H G, Feinberg L R. The relative importance of egg production rate, hatching success, hatching duration and egg sinking in population recruitment of two species of marine copepods [J]. *J Plankton Res*, 1998, 20: 1971—1987.
- [31] Dam H B, Tang K W. Affordable egg mortality: constraining copepod egg mortality with life history traits [J]. *J Plankton Res*, 2001, 23: 633—640.
- [32] Lutz R V, Marcus N H, Chanton J P. Hatching and viability of copepod eggs at two stages of embryological development: anoxic/hypoxic effect [J]. *Marine Biology*, 1994, 119: 199—204.
- [33] Marcus N H, Lutz R V. Effects of anoxia on the viability of subitaneous eggs of planktonic copepods [J]. *Marine Biology*, 1994, 121: 83—87.
- [34] Marcus N H, Lutz R V, Chanton J P. Impact of anoxia and sulfide on the viability of eggs of three planktonic copepods [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1997, 146: 291—295.
- [35] Burkart C A, Kleppel G S. A new incubation system for the measurement of copepod egg production and egg hatching success in the field [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1998, 221: 89—97.
- [36] Liang D, Uye S. Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. I. *Acartia omoi* [J]. *Mar Biol*, 1996a, 125: 109—117.
- [37] Liang D, Uye S. Population dynamics and production of the planktonic copepods in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan. II. *Paracalanus* sp. [J]. *Mar Biol*, 1996b, 127: 219—227.
- [38] Hirche H J. Egg production of *Eurytemora affinis*—Effects of k-strategy [J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1992, 35: 395—407.
- [39] Liang D, Uye S. Seasonal reproductive biology of the egg-carrying calanoid copepod *Pseudodiaptomus marinus* in a eutrophic inlet of the Inland Sea of Japan [J]. *Mar Biol*, 1997, 128: 409—414.
- [40] Kiorboe T, Sabatini M. Reproductive and life cycle strategies in egg-carrying cyclopoid and free-spawning calanoid copepods [J]. *J Plankton Res*, 1994, 16: 1353—1366.

(责任编辑: 王景辉)