

# 几种单胞藻对双刺纺锤水蚤雌体繁殖的影响\*

张展<sup>1,2,3</sup> 孙松<sup>1</sup> 李捷<sup>4</sup> 陶振铖<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071;

2. 中国科学院研究生院 北京 100049; 3. 中国海洋大学 青岛 266003;

4. 青岛理工大学环境学院 青岛 266033)

**摘要** 研究 6 种饵料微藻: 微绿球藻(*Nannochloropsis oculata*)、小球藻(*Chlorella. sp.*)、球等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)、三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)、亚心形扁藻(*Platymonas subordiformis*)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)对双刺纺锤水蚤(*Acartia bifilosa*)雌体繁殖的影响, 以探索适合培养双刺纺锤水蚤的藻类。应用解剖镜下计数方法对雌体存活率、产卵率、孵化率、排粪率几个指标进行检测。结果表明微绿球藻、小球藻和球等鞭金藻明显不适于用作雌体饵料; 中肋骨条藻组产卵率最高, 亚心形扁藻和三角褐指藻组的产卵率没有显著差异; 亚心形扁藻组的排粪率明显低于中肋骨条藻和三角褐指藻组; 摄食三角褐指藻的雌体所产的卵其平均孵化率要显著低于亚心形扁藻和中肋骨条藻; 亚心形扁藻组雌体的产卵率尽管较中肋骨条藻组低, 但却保持最高的雌体存活率, 而且排粪率也要比中肋骨条藻低得多。综合比较得出结论: 6 种饵料微藻中, 亚心形扁藻和中肋骨条藻是两种最适宜培养双刺纺锤水蚤雌体的优良饵料, 二者混合使用效果会更好。

**关键词** 双刺纺锤水蚤, 单胞藻, 繁殖, 生长表现

**中图分类号** S968.3

在海洋的自然环境中, 浮游动物, 特别是数量庞大、种类繁多的桡足类是许多野生鱼类的天然饵料。哪些桡足类适于作养殖鱼类饵料? 如何获得大量的桡足类? 人工培养是否可行? 能否通过加入桡足类来改善养殖鱼类的品质长期以来一直是业内人士关注的问题。开展有潜在价值种的生物学特性基础研究, 进而掌握大规模生产的相关技术, 是开发利用桡足类的一个重要途径。

纺锤科水蚤(*Acartia spp.*)分布于世界各地的近岸海域, 适应力强。一些种类在澳大利亚、日本、东南亚等作为海鱼养殖饵料已取得了很好的应用效果, 人工养殖技术也在不断地完善(Schipp *et al.*, 1999; Mckinnon *et al.*, 2003)。双刺纺锤水蚤(*Acartia bifilosa*)属暖温带近海种, 分布广泛, 从欧洲的波罗的海、英

吉利海峡、地中海, 到亚洲的渤海、胶州湾等的近岸海域及河口区等都有发现。在欧洲的一些近岸及河口水域, 双刺纺锤水蚤是青鱼(herring)和糠虾(Mysids)的主要摄食对象(Hansson *et al.*, 1990; Viitasalo, 1992; Uriarte *et al.*, 1998)。在黄海中国海域及渤海等经济鱼类的产卵场和育幼场, 双刺纺锤水蚤是小型桡足类重要的优势种之一, 从大量出现的季节和个体大小等方面非常适合作为仔、稚鱼的饵料(刘瑞玉, 1992; 王荣等, 2002)。目前国内尚未见其作为水产养殖饵料开发培养的报道。

桡足类的产量与其生活史参数: 存活率、产卵率、孵化率等直接相关(Cutts, 2001)。雌体的繁殖状况是决定种群补充和延续的关键, 也是研究桡足类生物学的一项重要内容。在人工大量培养中, 保证雌体的

\* 国家自然科学基金重点项目, “黄东海浮游动物优势种群动态变化机制”, 40631008 号; 国家重点基础研究发展计划 973 项目, “我国近海生态系统食物产出的关键过程及其可持续机理”课题“浮游动物功能群在食物生产中的调控作用”, 2006CB400606 号; 国家自然科学基金项目“黄海桡足类-硅藻相互作用”, 40576070 号。张展, 博士, E-mail: zhangzhan@ouc.edu.cn

通讯作者: 孙松, 研究员, 博士生导师, E-mail: sunsong@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 2008-02-15, 收修改稿日期: 2008-08-30

高存活率有利于保存规模化生产所需的大量有生殖力群体, 而高产卵率和孵化率则能够在较短时间内形成生产力以满足水产养殖的大量需要。不同类型的饵料对桡足类的各项生活史参数经常有着不同的影响结果(Shin *et al*, 2003; Li *et al*, 2006)。因此, 在选择适宜雌体繁殖的饵料过程中, 对候选饵料做桡足类生活史参数方面的综合比较以获得合适的种类或其组合是十分必要的。饵料的实用价值不仅依赖于其可获得性、可消化性和化学组成, 大规模、商业化培养桡足类还必须要控制成本, 饵料种类简化、产生粪便少是低成本培养桡足类的基本要求(魏玉昌, 1987; Knuckey *et al*, 2005)。作者对胶州湾采集的双刺纺锤水蚤进行室内培养, 以雌体存活率、产卵率、排粪率、卵的孵化率作为指标, 研究了几种水产养殖中常用的单胞藻对该种雌体繁殖的影响, 探索在人工培养中适合该种雌体繁殖的饵料种类, 为进一步开发培养提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物获取

双刺纺锤水蚤 2005 年 5 月用中型浮游动物网采集于胶州湾, 现场水温为(15±1)。取样后, 将底管内的浮游动物样品置于盛有 30 L 过滤海水的塑料水箱内, 并在 1h 内迅速转移至实验室内后, 立即在解剖镜下挑选健康、成熟的雌体(具有完整的附肢, 无可见损伤, 游动活泼)以作实验备用。

### 1.2 饵料微藻培养

选用 6 种粒径由小到大的单胞藻: 微绿球藻(*Nannochloropsis oculata*)、小球藻(*Chlorella*. sp)、球等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)、三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)、亚心形扁藻(*Platymonas subordiformis*)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*), 均在温度(15±1), 光照强度 2000lux, 光暗比 12h : 12h 条件下用 *f/2* 培养液培养至对数期备用。使用 Coulter Counter(Multisizer 3 型, 50μm 微孔小管; 量程 2—30μm)检测藻类的粒径(ESD)和培养浓度。投喂所用的藻液浓度控制为碳质量浓度 1.0μgC ml<sup>-1</sup> (Li *et al*, 2006)。单胞藻的特征参数见表 1。

### 1.3 实验方法

将挑选后的双刺纺锤水蚤雌体按实验条件(单胞藻种类、浓度)驯化 48h 以消除野外摄食的影响。每个单种微藻为一个处理, 共 6 个处理, 每个处理设 5 个平行样。采用 30 个直径为 9cm 的培养皿(内盛 25ml

培养液), 放入生化培养箱暗光培养, 温控设置为(15.0±0.5)。正式实验开始后, 每皿雌体数均设置为 5 只雌体(预实验表明: 密度超过 5 只雌体/皿会导致雌体存活率迅速下降, 最终维持在 5 只雌体/皿的密度)。加入相应的单胞藻饵料藻密度按表 1 配置。

表 1 实验用单胞藻的大小和密度参数  
(碳质量浓度 1.0μgC ml<sup>-1</sup>)

Tab.1 Characteristics of unialga species used in experiment

藻类	粒径大小(μm)	细胞密度(个/ml)
微绿球藻	1.6±0.2	3.2 × 10 <sup>5</sup>
小球藻	2.7±0.3	4.6 × 10 <sup>5</sup>
球等鞭金藻	3.5±0.3	2.5 × 10 <sup>5</sup>
三角褐指藻	4.6±0.6	2.5 × 10 <sup>5</sup>
亚心形扁藻	10.8±1.1	2.0 × 10 <sup>4</sup>
中肋骨条藻	10.2±0.9	3.3 × 10 <sup>4</sup>

产卵、排粪和孵化率: 每日在解剖镜下小心地将雌体转移至盛有新鲜的 25ml 藻类培养液的培养皿中。记录雌体存活数后, 放回生化培养箱内培养。原培养皿在解剖镜下进行产卵和粪便数量检测。每日记录存活率、产卵率、排粪率和孵化率, 实验持续 16 天。

计数后, 将收集到的卵放于培养皿中进行孵化实验, 培养皿中预先加入原培养皿中的相应培养液, 使卵的孵化环境与雌体产卵的环境保持一致。每皿 30 只卵。孵化在实验温度、暗光条件下进行, 每 12h 监测孵化状况直至 72h, 以确保所有卵在该温度下有足够的孵化时间。

## 2 结果

### 2.1 饵料对雌体存活率的影响

图 1 显示, 6 种饵料中, 微绿球藻饲喂的所有雌体在 7 天后全部死亡, 而小球藻处理也在 8 天后全部死亡, 球等鞭金藻处理于 11 天后全部死亡。从全实验期的存活率来看, 亚心形扁藻最有利于维持雌体的存活, 16 天的实验结束时存活率维持在 40%, 其次是中肋骨条藻(20%)和三角褐指藻(10%)。

### 2.2 饵料对雌体产卵率、排粪率和孵化率的影响

在 16 天的实验期间, 微绿球藻、小球藻和球等鞭金藻处理组中双刺纺锤水蚤的总平均产卵率明显低于其它三种藻类(表 2), 日平均产卵率也从实验开始就呈下降趋势, 分别于第 4 天、第 6 天和第 11 天后接近于 0 (图 2); 球等鞭金藻也仅维持了 10 天的低

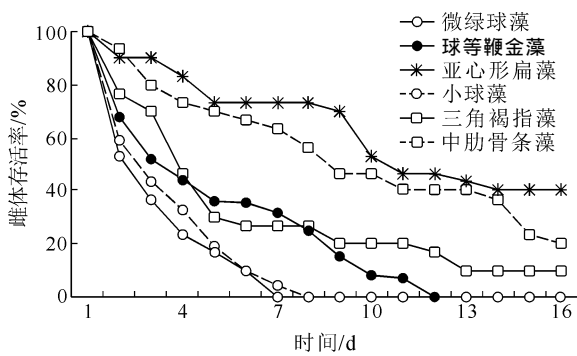


图 1 6 种单胞藻饵料处理中双刺纺锤水蚤雌体存活率变化  
Fig.1 The survival (%) rate of female *Acartia biflosa* fed with 6 different uni-microalgal diets as a function of days

产卵率(平均  $0.7 \text{ egg female}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ )。三角褐指藻和亚心形扁藻处理组在实验期内的总平均产卵率没有显

著差异(表 2), 但三角褐指藻在饲喂前 4 天的日均产卵率高于亚心形扁藻, 亚心形扁藻组则保持了比较平稳的日均产卵率; 中肋骨条藻实验组的总平均产卵率最高, 投喂初期(前 4 天)的日均产卵率也高于其它藻类(图 2)。

微绿球藻处理组中所有雌体在第 6 天、小球藻组在第 7 天、球等鞭金藻在第 11 天后不再排粪(图 2), 而其它三种藻:三角褐指藻、亚心形扁藻和中肋骨条藻则始终保持一定的排粪率与产卵率。排粪率与产卵率及存活率存在高度的正相关(图 3; 图 4,  $P < 0.01$ )。中肋骨条藻与三角褐指藻的总平均排粪率要显著高于其它藻类(表 2)。

微绿球藻组、小球藻组和小球藻组由于产卵量太少(表 2, 图 2)且未见孵化, 因此孵化率结果始终为 0。因此, 可以首先将微绿球藻、小球藻和球等鞭

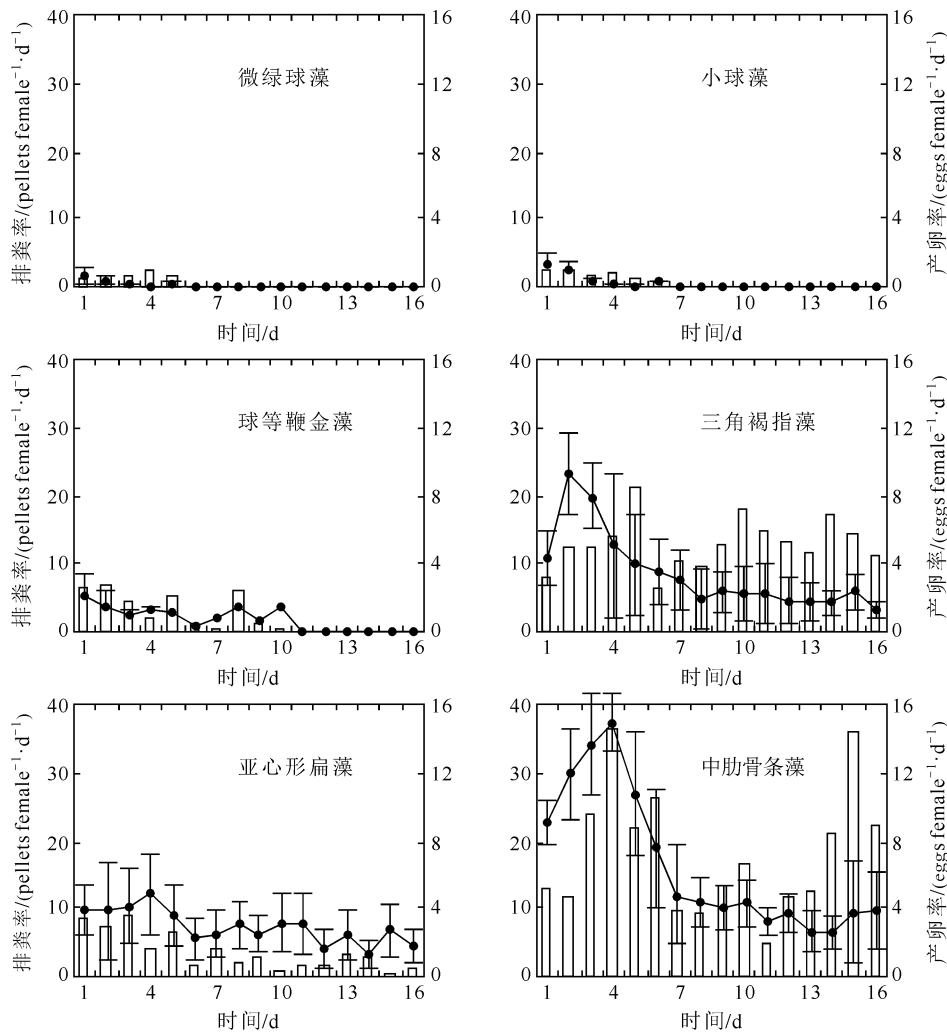


图 2 6 种食物处理下双刺纺锤水蚤日均产卵率(黑点线形图)和排粪率(柱状图)的变化

Fig.2 Average daily egg production rate (solid line with standard deviations, 5 replicates) and fecal production rate (columns) of female *Acartia biflosa* fed with 6 different unialgal diets

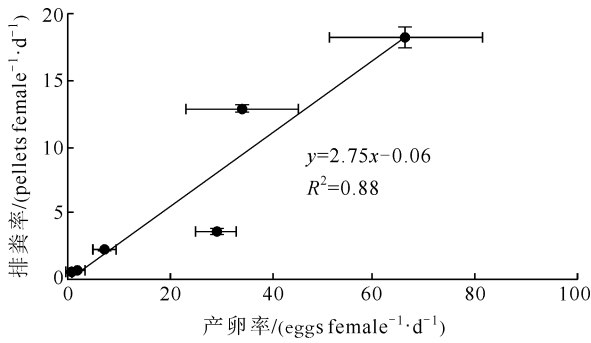


图 3 双刺纺锤水蚤产卵率(egg female<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>)和排粪率(pellets female<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>)相关性分析

Fig.3 Correlation in average between egg production rate (egg female<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>) and fecal production rate (pellets female<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>) for *Acartia bifilosa*

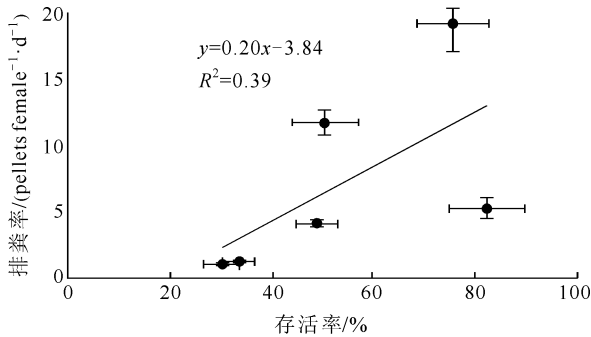


图 4 双刺纺锤水蚤存活率和排粪率相关性分析

Fig.4 Correlation in average between female survival (%) and fecal production rate (pellets female<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>) of *Acartia bifilosa*

金藻排除在雌体适用食物之外。三角褐指藻、亚心形扁藻和中肋骨条藻的日均孵化率如图 5 所示, 三角褐指藻组的日均孵化率波动较大, 在实验中期孵化率较低。总平均孵化率多重比较的结果(Duncan's multiple range test)如表 2 所示: 中肋骨条藻 > 亚心形扁藻 > 三角褐指藻。

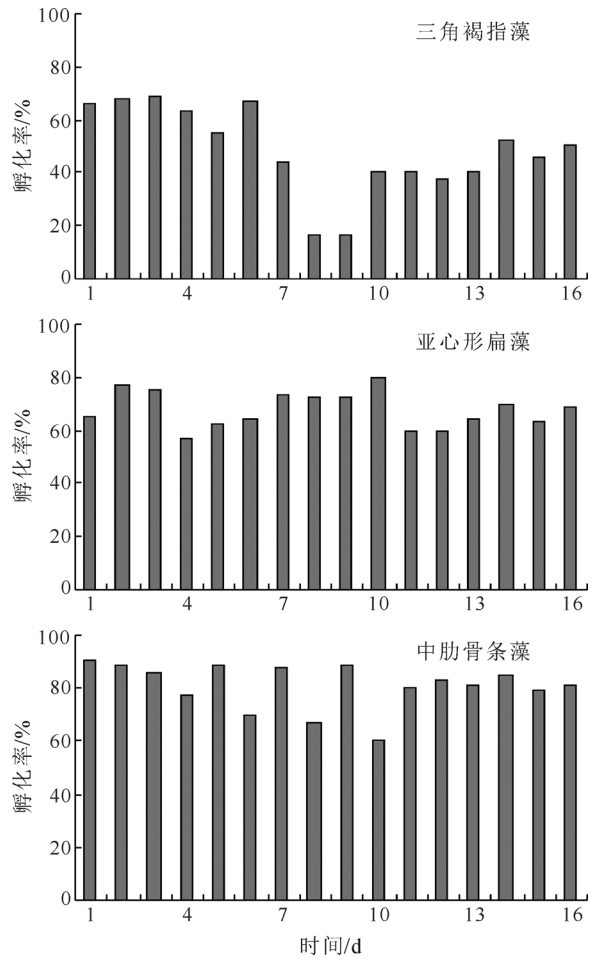


图 5 三种饵料处理下双刺纺锤水蚤卵的日均孵化率变化  
Fig.5 Average daily hatching rate of female *Acartia bifilosa* fed with 3 different unialgal diets

### 3 讨论与结论

6 种单胞藻都是水产养殖中常用的饵料, 藻细胞的个体大小、形貌结构及营养成分各有特点(蒋汉明等, 2005), 都曾用于不同桡足类的人工培养(Knuckey

表 2 6 种单胞藻处理下双刺纺锤水蚤在实验期内总平均产卵率、排粪率和孵化率的比较 (Duncan's multiple range test P=0.05)  
Tab.2 Variations in mean egg production rate, fecal production rate, daily hatching rate of copepods *Acartia bifilosa* fed with 6 different unialgal diets. Diets with the same letter (a, b, c, d, e) are not significantly different (Duncan's multiple range test P=0.05)

饵料种类	总平均产卵率 (egg female <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	总平均排粪率 (pellets female <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	总平均孵化率 (%)
微绿球藻	0.08 ± 0.05 <sup>e</sup>	0.54 ± 0.22 <sup>d</sup>	0
小球藻	0.20 ± 0.10 <sup>d</sup>	0.65 ± 0.31 <sup>d</sup>	0
球等鞭金藻	0.73 ± 0.31 <sup>c</sup>	2.18 ± 0.15 <sup>c</sup>	0
三角褐指藻	3.41 ± 0.56 <sup>b</sup>	12.86 ± 0.95 <sup>b</sup>	48.2 ± 16.3 <sup>c</sup>
亚心形扁藻	3.00 ± 0.25 <sup>b</sup>	3.55 ± 0.66 <sup>c</sup>	67.8 ± 6.9 <sup>b</sup>
中肋骨条藻	6.63 ± 1.04 <sup>a</sup>	18.22 ± 2.28 <sup>a</sup>	80.9 ± 8.7 <sup>a</sup>

注: 每个组别下标相同字母 (a, b, c, d, e) 的表示无显著差异。a, b, c, d, e 依次表示数值由大到小

*et al.*, 2005)。在本研究中对双刺纺锤水蚤的几项生活史参数的影响结果不一,影响程度也有所不同。

三种粒径较小的藻类:微绿球藻、小球藻和球等鞭金藻不仅不利于维持雌体长时间存活,而且也不利于雌体产卵,总平均产卵率明显低于其它三种藻类(图2,表2),过低的产卵率使得它们三个处理组的孵化率已经没有实际意义,因此都被最先排除在雌体适用饵料之外。其它三种可以用于饲喂雌体的饵料中,中肋骨条藻组的总平均产卵率最高,孵化率也最高;三角褐指藻尽管总平均产卵率和亚心形扁藻之间无显著差异,饲喂早期的日均产卵率甚至还高于亚心形扁藻,但三角褐指藻组的总平均孵化率要显著低于亚心形扁藻组和中肋骨条藻组(表2)。排粪率既是反映桡足类摄食状况的重要依据,也是人工养殖中评价饵料效果的一个重要指标。粪便过多会危害卵的孵化或使动物陷入困境而死亡并导致培养水体的污染(魏玉昌,1987),由此引起的经常换水及清洗培养容器势必导致成本增加。中肋骨条藻与三角褐指藻饲喂的雌体总平均排粪率均显著高于其它藻类(表2),不宜单独使用。综合比较存活率、排卵率、孵化率以及排粪率四项指标,三角褐指藻在与亚心形扁藻的排卵率相近的情况下,其它三项指标都不具优势,因此可被亚心形扁藻替代。亚心形扁藻能够保持较高的雌体存活率,但产卵率和孵化率却显著低于中肋骨条藻,也不宜单独使用。因此,二者混合使用可以优势互补。本实验结果表明,亚心形扁藻和中肋骨条藻最适宜双刺纺锤水蚤雌体繁殖。

桡足类的摄食和繁殖受多种因素的共同作用,这些因素既可能来自饵料的营养限制或者毒素作用,也可能来自桡足类摄食器官的机械选择作用或化学感受作用,还有可能是多种因素的综合作用,目前尚不清楚(赵文,2002;高华,2006)。结合排粪率数据(图2,图4)可知,微绿球藻、小球藻和球等鞭金藻组的雌体死亡原因最可能是由于摄食不足饥饿所致。桡足类对食物的选择首先取决于食物是否易于处置,食物的粒径大小是否合适则成为桡足类在选择摄食时的最直接要求(Fernandez,1979;Huntley *et al.*,1987)。桡足类的重要滤食器官为第二小颚上的刚毛交叉组成的网状过滤器,太大的食物颗粒难于进入过滤器,而在可进入过滤器的食物颗粒中,则根据网状结构的网孔大小选择食物颗粒(Frost,1972,1977;高亚辉等,1999)。Berggreen等(1988)认为,纺锤科水蚤的成体不能有效滤食粒径小于10—15 $\mu\text{m}$ 的微藻。而

Hargrave等(1970)曾推测小型桡足类成体能够摄食的食物粒径下限为3—5 $\mu\text{m}$ 。而本实验中使用的微绿球藻和小球藻的粒径(ESD值)都小于3 $\mu\text{m}$ ;球等鞭金藻的ESD值3.5 $\mu\text{m}$ 也处于上述范围的下限,虽然球等鞭金藻有着无细胞壁、易消化、EPA和DHA的含量较高等优点(戴俊彪,1999),但也仅维持了10天的低产卵率(平均0.7 egg female<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>),体现出在粒径方面的不足。因此3种粒径较小的单胞藻组雌体过早死亡的原因可归于其不在双刺纺锤水蚤的有效摄食范围。另外,高华等(2006)认为在饵料浓度较高的情况下,桡足类会偏向摄食体积较小的藻类。然而高浓度条件下很多微藻会释放有害次级产物阻挠卵的孵化或影响桡足类发育(Miralto *et al.*,1999;Ceballos *et al.*,2003),本研究设置的碳质量浓度1.0 $\mu\text{gC/ml}$ 通常被认为是一个相对充足而安全的培养浓度(Starr *et al.*,1999),但对于个体较小的单胞藻该浓度是否设置过低有待进一步研究。

一种藻类是否适合作为某种浮游动物的合适饵料并不仅仅取决于饵料的粒径大小,同时也取决于饵料的质量,即饵料的营养成分。桡足类生长和生殖所需要的营养物质不同(Jónasdóttir *et al.*,1996),因而桡足类的存活和生殖过程对饵料的需求也会不同。一般认为,桡足类在生长、发育阶段对氨基酸的需求较高,而在繁殖期间则对脂肪酸有着特殊的要求(Kjørboe *et al.*,1985)。亚心形扁藻的氨基酸总量要高于中肋骨条藻和三角褐指藻(孙谡,1995),可以解释其能维持雌体较高的存活水平的原因(图1)。廿碳五烯酸(EPA)和廿二碳六烯酸(DHA)对于桡足类的生殖过程起着重要的作用(Jónasdóttir *et al.*,1996;Shin *et al.*,2003),相对于中肋骨条藻,三角褐指藻的DHA含量较低(Li *et al.*,2006),而亚心形扁藻的EPA和DHA的含量都较低(孙灵毅等,2004),这很可能是导致亚心形扁藻和三角褐指藻组雌体产卵率显著低于中肋骨条藻组(表2)的原因。饵料质量的下降势必会影响卵的品质,从而导致孵化率降低。Shin等(2003)发现饵料中过高的20:5 $\omega$ 3脂肪酸含量对*Acartia omori*的繁殖不利,三角褐指藻组过低的孵化率(表2)很可能与三角褐指藻含有较高的20:5 $\omega$ 3脂肪酸(Li *et al.*,2006)有关。

硅藻细胞中难以降解的硅质会导致桡足类的排粪率增加(Uye,1996)。本实验中的两种硅藻——中肋骨条藻和三角褐指藻的排粪率均显著高于亚心形扁藻(表2),进一步证实了这一结论。这也使得中肋骨

条藻尽管在提高双刺纺锤水蚤产卵率和孵化率方面占优势,但在实际应用方面会受到产生粪便量过多的约束。桡足类大量培养所沉积的粪便对于卵的孵化、幼体的生存以及水体污染所带来的效应尚待深入研究。

本研究中发现,亚心形扁藻和中肋骨条藻能够保证双刺纺锤水蚤雌体较高的繁殖能力,但在培养水体中是否会对孵化出的无节幼体有负面影响以及这两种单胞藻的营养组成能否满足双刺纺锤水蚤作为某种经济鱼类饲料的营养要求,还需要更彻底的研究工作。

### 参 考 文 献

- 王 荣, 张鸿雁, 王 克等, 2002. 小型桡足类在海洋生态系统中的功能作用. 海洋与湖沼, 33(5):453—460
- 刘瑞玉, 1992. 胶州湾生态学和生物资源. 北京:科学出版社, 201—202
- 孙灵毅, 王力勇, 赵 强, 2004. 3 种微藻兼养培养及营养成分的比较. 大连水产学院学报, 19(2):146—149
- 孙 谧, 1995. 几种海洋微藻的氨基酸含量. 氨基酸和生物资源, 17(2):38—40
- 赵 文, 宋青春, 高 放, 2002. 大连近海两种桡足类摄食生态的初步研究. 大连水产学院学报, 17(1): 8—14
- 高亚辉, 林 波, 1999. 几种因素对太平洋纺锤水蚤摄食率的影响. 厦门大学学报(自然科学版), 38(5):751—757
- 高 华, 高亚辉, 梁君荣, 2006. 几种赤潮藻对中华哲水蚤摄食、产卵和孵化的影响. 厦门大学学报(自然科学版), 45(4):553—557
- 蒋汉明, 翟静, 张媛英等, 2005. 温度对海洋微藻生长及脂肪酸组成的影响. 食品研究与开发, 26(6): 9—12
- 戴俊彪, 吴庆余, 1999. 培养海洋微藻 *Isochrysis galbana* 生产 EPA 和 DHA. 海洋科学, 3:36—38
- 魏玉昌, 1987. 论海产鱼虾幼体的优质饲料——海洋桡足类的繁殖发育种群产量和培养. 大连水产学院学报, 2:41—51
- Berggreen U, Hansen B, Kiørboe T, 1988. Food size spectra, ingestion and growth of the copepod *Acartia tonsa* during development: Implications for determination of copepod production. Mar Biol, 99: 341—352
- Ceballos S, Ianora A, 2003. Different diatoms induce contrasting effects on the reproductive success of the copepod *Temora stylifera*. J Exp Mar Biol Ecol, 294:189—202
- Cutts C J, 2001. Culture of Harpacticoid Copepods: Potential as Live Feed for Rearing Marine Fish. Advances in Marine Biology, 44: 296—316
- Fernandez F, 1979. Nutrition studies in the nauplius larvae of *Calanus pacificus* (Copepoda: Calanoidea). Mar Biol, 53: 131—147
- Frost B W, 1972. Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine planktonic copepod *Calanus pacificus*. Limnol Oceanogr, 17: 805—815
- Frost B W, 1977. Feeding behavior of *Calanus pacificus* in mixtures of food particles. Limnol Oceanogr, 22: 472—491
- Hansson S, Larsson U, Johansson S, 1990. Selective predation by herring and mysid, and zooplankton community structure in a Baltic Sea coastal area. J Plankton Res, 12: 1099—1116
- Hargrave B T, Geen G H, 1970. Effects of copepod grazing on two natural phytoplankton populations. J Mar Biol Ass UK, 22: 97—100
- Huntley M E, Ciminiello P, Lopez M G D, 1987. Importance of food quality in determining development and survival of *Calanus pacificus* (Copepoda: Calanoidea). Mar Boil, 95: 202—242
- Jónasdóttir S H, Kiørboe T, 1996. Copepod recruitment and food composition: do diatoms affect hatching success? Mar Boil, 125: 743—750
- Kiørboe T, Mølenberg F, Hamberger K, 1985. Bioenergetics of the planktonic copepod *Acartia tonsa*: relation between feeding, egg production and respiration, and composition of specific dynamic action. Mar Ecol Prog Ser, 26: 85—97
- Knuckey R M, Semmens G L, Mayer R J *et al*, 2005. Development of an optimal microalgal diet for the culture of the calanoid copepod *Acartia sinjiensis*: Effect of algal species and feed concentration on copepod development. Aquaculture, 249: 339—351
- Li J, Sun S, Li C L, *et al*, 2006. Effects of single and mixed diatom diets on the reproduction of copepod *Calanus sinicus*. Acta Hydrochimica et Hydrobiologica, 34(1):117—125
- Mckinnon A D, Duggan S, Nichols P D, *et al*, 2003. The potential of tropical paracalanoid copepods as live feeds in aquaculture. Aquaculture, 223: 89—106
- Miralto A, Barone G, Romano G, *et al*, 1999. The insidious effect of diatoms on copepod reproduction. Nature, 402:173—176
- Schipp G R, Bosmans J M P, Marshall A J, 1999. A method for hatchery culture of tropical calanoid copepods, *Acartia* spp. Aquaculture, 174: 81—88
- Shin K, Jang M C, Jang P K *et al*, 2003. Influence of food quality on egg production and viability of marine planktonic copepod *Acartia omori*. Progress in Oceanography, 57: 265—277
- Starr M, Runge G A, Therriault J C, 1999. Effects of diatom diets on the reproduction of the planktonic copepod *Calanus finmarchicus*. Sarasia, 84:379—389
- Uriarte I, Cotano U, Villate F, 1998. Egg production of *Acartia bifilosa* in the small temperate estuary of Mundaka, Spain, in relation to environmental variables and population development. Mar Ecol Prog Ser, 166: 197—205
- Uye S, 1996. Induction of reproductive failure in the planktonic copepod *Calanus pacificus* by diatoms. J Mar Ecol Prog Ser, 133:89—97
- Viitasalo M, 1992. Calanoid resting eggs in the Baltic Sea: implications for the population dynamics of *Acartia bifilosa* (Copepoda). Mar Biol, 114: 397—405

## DIFFERENT UNIALGAL DIETS AFFECT THE REPRODUCTION OF *ACARTIA BIFILOSA*

ZHANG Zhan<sup>1,2,3</sup>, SUN Song<sup>1</sup>, LI Jie<sup>4</sup>, TAO Zhen-Cheng<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. The Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049;  
3. Ocean University of China, Qingdao, 266003; 4. Qingdao Technological University, Qingdao, 266033)

**Abstract** Optimal unialgal diet for copepod *Acartia bifilosa* female was searched on samples collected from Jiaozhou Bay, China. The copepod is an important food source for larvae fish as a potential diet species in aquiculture. Six algae species were tested: *Nannochloropsis oculata*, *Chlorella* sp., *Isochrysis galbana*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Platymonas subordiformis* and *Skeletonema costatum*, for the relationships with the survival, growth, egg production and hatching rate of the copepod. Feeding with *Skeletonema costatum* yielded the best egg production, followed by *Platymonas subordiformis* and *Phaeodactylum tricornutum*. In average pellets production, the order of performance was *Skeletonema costatum* > *Phaeodactylum tricornutum* > *Platymonas subordiformis*, while that in average hatching rate was *Skeletonema costatum* > *Platymonas subordiformis* > *Phaeodactylum tricornutum*. Therefore, *Platymonas subordiformis* and *Skeletonema costatum* are two best unialgal diets for *Acartia bifilosa* females.

**Key words** *Acartia bifilosa*, Unialgal diet, Reproduction, Growth performance