

饵料浓度和成体密度对汤氏纺锤水蚤 (*Acartia tonsa*)产粪粒数、产卵和孵化的影响*

张建设¹ ISABELLA Buttino² 朱爱意¹ 吴常文¹

(1. 浙江海洋学院海洋科学学院 国家海洋设施养殖工程技术研究中心 舟山 316004;

2. 意大利环境保护研究所 里窝那 457128)

提要 采用静水法研究了不同饵料浓度和成体密度对汤氏纺锤水蚤产粪粒数(FP)、产卵(EP)和孵化(HS)的影响。根据碳含量设定 250、500、1000、1500、2000 和 3000 $\mu\text{gC/L}$ 六个饵料浓度梯度, 以及 40、80 和 160 个/L 三个成体密度进行实验。结果表明, 在成体密度为 40 和 80 个/L 时, 汤氏纺锤水蚤的平均产粪粒数随着饵料浓度的增加而增加; 在饵料密度高于 500 $\mu\text{gC/L}$ 时, 成体密度为 160 个/L 的产粪粒数显著低于其它两组($P < 0.05$)。饵料浓度和成体密度对产卵量影响显著, 在相同成体密度下, 产卵量随着饵料密度的提高而增加; 在饵料密度高于 500 $\mu\text{gC/L}$ 时, 成体密度为 160 个/L 的产卵量显著低于其它两组($P < 0.05$)。汤氏纺锤水蚤卵的孵化率受饵料浓度和成体密度的影响不大。

关键词 汤氏纺锤水蚤, 产粪粒数, 产卵量, 孵化率

中图分类号 S963

浮游桡足类在海洋生态系统中具有重要作用, 是海洋食物网中承前继后的重要环节。桡足类蛋白质含量丰富(Lavens *et al.*, 1996), 且富含二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)(McEvoy *et al.*, 1998)和天然抗氧化活性物质(Helland *et al.*, 2003), 是鱼虾幼体的优质活性饵料。自从 20 世纪 60 年代开始, 有接近 60 种桡足类被成功培育(Mauchline *et al.*, 1998), 桡足类有望成为水产养殖业替代轮虫和卤虫的非常具有潜力的活体饵料(Lee *et al.*, 2005), 具有广阔的开发前景。

纺锤水蚤(*Acartia* sp.)是一类自由产卵的桡足类, 广泛分布于世界各地的近岸海域。目前, 国内主要对双刺纺锤水蚤(*A. bifilosa*)、刺尾纺锤水蚤(*A. spinicauda*)、太平洋纺锤水蚤(*A. pacifica*)以及汤氏纺锤水蚤进行了形态学(王桂忠等, 1991)、生物学(仲学锋等, 1991; 王桂忠等, 1994; 高亚辉等, 1999; 张展等, 2008)、生态学(陈民山, 1991; 林利民等, 1998; 谢钦铭等, 2006; 孙晓红等, 2009)、细胞学(曹文清, 1994)以及分子生物学(刘迟迟等, 2008)等方面的研究。作

为最早养殖的桡足类(Støttrup *et al.*, 1986), 汤氏纺锤水蚤是目前研究最多的桡足类种类之一(Checkley, 1980; Gaudy *et al.*, 2000; Drillet *et al.*, 2006; Jepsen *et al.*, 2007)。但汤氏纺锤水蚤难以高密度培养, 将其在水产养殖中应用还存在技术瓶颈(Lee *et al.*, 2005)。

Rhinomonas reticulata Lucas (RHINO)是桡足类的优良饵料(Medina *et al.*, 2004), 本文研究不同 RHINO 浓度和成体密度对汤氏纺锤水蚤产粪粒数、产卵量和孵化率的影响, 探讨汤氏纺锤水蚤对不同饵料密度和培育密度的适应机制, 为该桡足类的大量连续培养奠定基础。

1 材料与方法

1.1 藻类的培养

采用 Lavens 等(1996)的方法, 将 0.22 μm 滤膜(Millipore 90mm YY3009000)过滤的盐度为 30 的海水加入 HClO (0.04%, V:V)处理 24h, 然后加入硫代硫酸钠(0.05g/L)处理 24h, 曝气 24h 后加入 *f/2* 培养液

* 浙江省自然科学基金项目, LQ12C19003 号; 浙江省重点科技创新团队项目, 2012R10025-01 号; 浙江海洋学院重大项目, X12D01 号。张建设, 讲师, E-mail: jszhang1979@sina.com.cn

收稿日期: 2012-03-17, 收修改稿日期: 2012-06-29

(Guillard, 1975)备用。取处于对数生长期的 RHINO 藻种接种, 起始藻的密度为 10^6 cells/ml, 培养温度为 21°C , 光照强度为 2000 lx, 连续光照下培养。每日检测藻类的密度并用新鲜的 *f/2* 培养基更新培养液, 当藻类处于指数生长期时收集备用。按照 Strathmann(1967)的公式计算藻类的碳含量。

1.2 桡足类的培养

实验用汤氏纺锤水蚤采自亚得里亚海北部的泻湖区, 在意大利里窝那的 ISPRA 研究所连续培养 40 个世代以上。桡足类群体培养于 50L 水族箱中, 养殖用水经 $0.22\mu\text{m}$ 滤膜过滤处理, 盐度为 30, 投喂绿光等鞭金藻 (*Isochrysis galbana* Parke)、波海红细胞藻 (*Rhodomonas baltica* Karsten) 和 RHINO 混合饵料, 水族箱中饵料碳含量保持在 $300\mu\text{gC/L}$, 水温 20°C , 光暗周期为 14h:10h, 光照强度为 2000 lx。选取健康、附肢完整、游泳迅速的成熟个体进行实验。

1.3 实验处理

分别选取 1 对、2 对和 4 对汤氏纺锤水蚤雌、雄成体置入 100ml 平底烧杯, 将收集的藻类饵料根据碳含量, 设置 250、500、1000、1500、2000 和 $3000\mu\text{gC/L}$ 共 6 个饵料浓度梯度, 烧杯中海水终体积调整为 50ml, 即桡足类成体的培养密度为 40 个/L、80 个/L 和 160 个/L。实验温度保持在 21°C , 光暗周期为

14h:10h, 光照强度为 2000 lx。实验设置 4 个平行组, 实验持续时间为 7d。

1.4 汤氏纺锤水蚤摄食、产卵和孵化率的测定

每 24h 将汤氏纺锤水蚤移至新的调整好相应饵料浓度的烧杯后, 置于 Olympus 倒置显微镜下计数卵的个数和粪粒数。48h 后在烧杯中加入 0.2ml Lugol 固定液, 混匀, 放置 20min 后在倒置显微镜下计数孵化幼体的个数, 幼体畸形或未能破膜而出视为未孵化 (Poulet *et al*, 1995)。

1.5 结果计算和数据处理

汤氏纺锤水蚤的摄食情况以产生的粪粒数为标准进行测定, 计算每对成体产生的粪粒数。用单因素方差分析和 Tukey's 多重比较检验分析不同处理间的差异显著性。实验相关数据采用 SPSS18.0 软件进行分析, 数据用平均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示。

2 结果

2.1 饵料和成体密度对汤氏纺锤水蚤产粪数的影响

本实验以 1 对汤氏纺锤水蚤为单位计算其每天产粪粒数 (fecal pellet, FP)。在特定饵料和成体密度条件下, 汤氏纺锤水蚤产粪数随时间的变化没有明显规律, 在成体密度为 40 个/L, 饵料密度为 $3000\mu\text{gC/L}$ 时产粪粒最高为 (285.46 ± 67.62) 粒/(d·对) (图 1)。通过

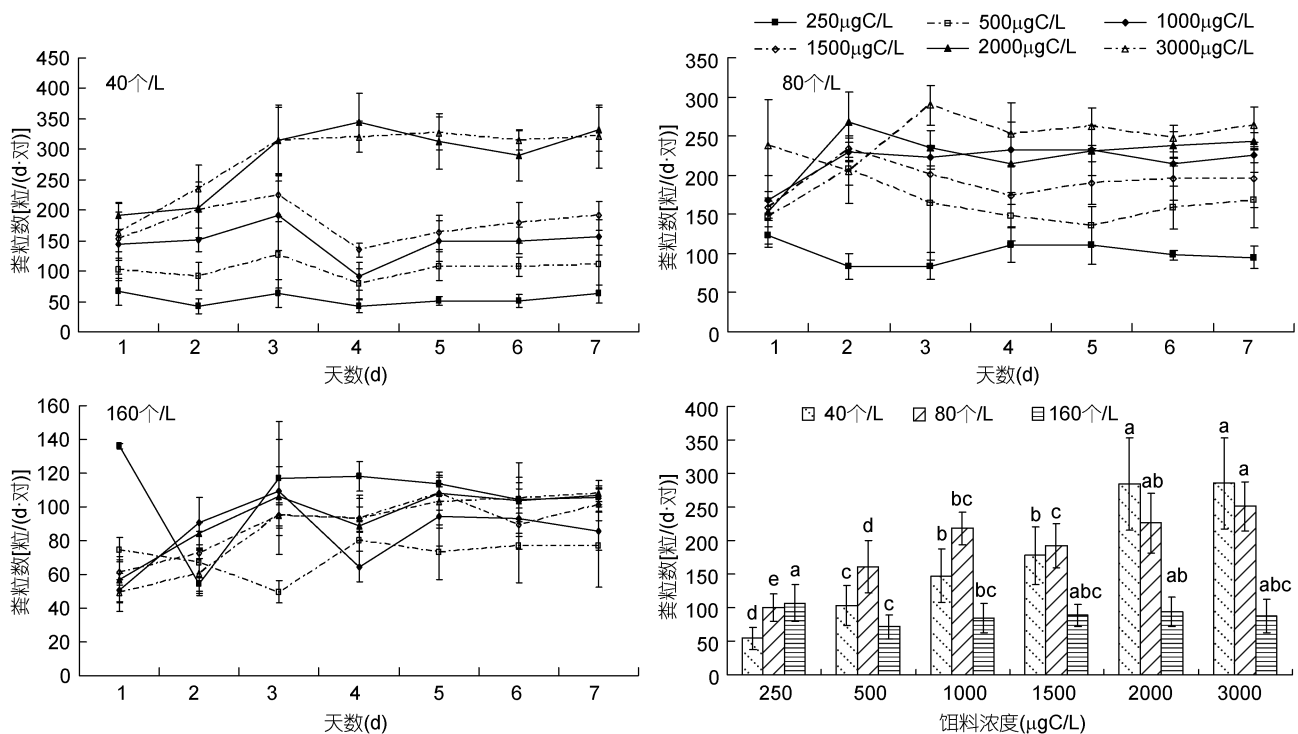


图 1 饵料浓度和成体密度对汤氏纺锤水蚤产粪粒数的影响

Fig.1 The effects of food concentration and stocking density on fecal pellet production of *A. tonsa*

单因素方差分析和 Tukey's 多重比较检验分析, 当成体密度为 40 个/L 和 80 个/L 时, 每对汤氏纺锤水蚤摄食后的产粪粒数随饵料浓度的增加而升高, 在藻类浓度增大到 2000 $\mu\text{gC/L}$ 后产粪粒数不再增长, 与 3000 $\mu\text{gC/L}$ 浓度组无显著差异($P>0.05$); 当汤氏纺锤水蚤成体密度为 160 个/L 时, 产粪粒数均较低, 在 500 $\mu\text{gC/L}$ 以上各饵料密度条件下产粪粒数无明显差异($P>0.05$).

对不同成体密度下汤氏纺锤水蚤产粪粒数进行 Tukey's 多重比较检验(表 1), 成体密度对汤氏纺锤水蚤的产粪粒数有显著影响。在饵料浓度为 250 $\mu\text{gC/L}$ 时, 40 个/L 的产粪粒数处于较低水平, 显著低于其它两组($P<0.05$); 随着饵料密度增大到 500 $\mu\text{gC/L}$ 以上, 160 个/L 密度条件下的产粪粒数均显著低于其它两组($P<0.05$).

2.2 饵料和成体密度对汤氏纺锤水蚤产卵量的影响

在不同成体密度条件下, 500 $\mu\text{gC/L}$ 以上各饵料组的汤氏纺锤水蚤产卵量(egg production, EP)在第 1—2 天都表现为不同程度的增长, 3d 后产卵量趋于平稳。在成体密度为 40 个/L, 饵料密度为 3000 $\mu\text{gC/L}$ 时产卵量最高值为(45.04 \pm 15.29)粒/d (图 2)。通过单因素方差分析和 Tukey's 多重比较检验分析, 实验设计的 3 个成体密度组的产卵量均随饵料浓度的增加而升高, 在饵料浓度增大到 2000 $\mu\text{gC/L}$ 后产卵量不再增长, 与 3000 $\mu\text{gC/L}$ 浓度组无显著差异($P>0.05$); 当汤氏纺锤水蚤成密度为 160 个/L 时, 产卵量随饵料密度提高增大, 至 3000 $\mu\text{gC/L}$ 条件下达最大值(24.11 \pm 7.22)粒/d。

对不同成体密度下汤氏纺锤水蚤产卵量进行 Tukey's 多重比较检验(表 2), 成体密度对汤氏纺锤水

表 1 不同成体密度对汤氏纺锤水蚤产粪粒数的影响
Tab.1 The effect of different stocking density on fecal pellet generation of *A. tonsa*

成体密度(个/L)	饵料浓度($\mu\text{gC/L}$)					
	250	500	1000	1500	2000	3000
40	54.00 \pm 16.60 ^b	103.43 \pm 30.12 ^b	147.57 \pm 39.82 ^b	177.86 \pm 42.99 ^a	284.36 \pm 68.67 ^a	285.46 \pm 67.62 ^a
80	100.62 \pm 20.22 ^a	160.98 \pm 39.56 ^a	218.02 \pm 23.49 ^a	192.40 \pm 33.29 ^a	226.40 \pm 44.53 ^b	251.00 \pm 36.80 ^a
160	106.94 \pm 27.11 ^a	71.23 \pm 18.34 ^c	84.01 \pm 22.13 ^c	88.59 \pm 16.70 ^b	93.46 \pm 21.86 ^c	87.90 \pm 24.67 ^b

注: 同列标注表示两者差异显著($P<0.05$)

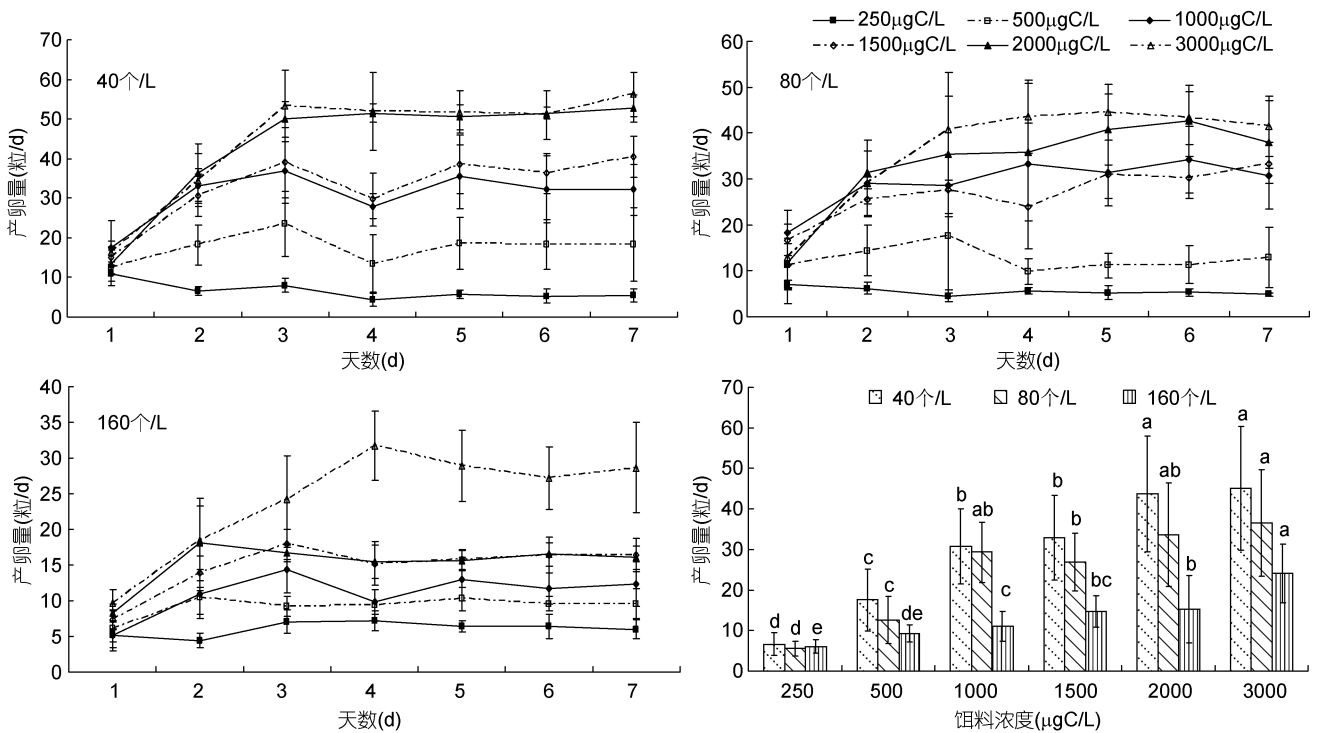


图 2 饵料和成体密度对汤氏纺锤水蚤产卵量的影响

Fig.2 The effects of food concentration and stocking density on egg production of *A. tonsa*

表 2 不同成体密度对汤氏纺锤水蚤产卵量的影响
Tab.2 The effect of different stocking density on egg production of *A. tonsa*

成体密度(个/L)	饵料浓度($\mu\text{gC/L}$)					
	250	500	1000	1500	2000	3000
40	6.61 \pm 2.82	17.54 \pm 7.67 ^a	30.79 \pm 9.24 ^a	32.8 \pm 10.42 ^a	43.7 \pm 14.27 ^a	45.04 \pm 15.29 ^a
80	5.52 \pm 1.78	12.59 \pm 5.83 ^b	29.36 \pm 7.47 ^a	26.90 \pm 7.09 ^b	33.6 \pm 12.79 ^b	36.55 \pm 13.23 ^b
160	6.08 \pm 1.57	9.23 \pm 2.15 ^b	11.04 \pm 3.61 ^b	14.7 \pm 3.79 ^c	15.26 \pm 8.35 ^c	24.11 \pm 7.22 ^c

注: 同列标注表示两者差异显著($P<0.05$)

蚤的产卵量有显著影响。在 250 $\mu\text{gC/L}$ 浓度下各组产卵量差异不显著($P>0.05$); 在 1000 $\mu\text{gC/L}$ 浓度下, 40 个/L 和 80 个/L 两组产卵量差异不显著($P>0.05$), 但显著高于 160 个/L 组($P<0.05$); 其它各饵料浓度组各成体密度组间的产卵量两两之间均有显著差异($P<0.05$), 且成体密度越大平均产卵量越低。

2.3 不同饵料和成体密度对汤氏纺锤水蚤 48h 孵化率的影响

在实验期间, 汤氏纺锤水蚤卵孵化率(hatching success, HS)随时间的变化没有明显规律, 各实验组中孵化率最高为 94.47% \pm 3.54%, 最低为 85.48% \pm 9.34%(图 3)。通过单因素方差分析和 Tukey's 多重比较检验分析, 成体密度为 40 个/L 时, 250 $\mu\text{gC/L}$ 饵料密度组的卵孵化率显著低于 500、1500、2000 和 3000

$\mu\text{gC/L}$ 饵料浓度组($P<0.05$); 成体密度为 80 个/L 时, 各饵料浓度组卵的孵化率无显著差异($P>0.05$); 成体密度为 160 个/L 时, 500 $\mu\text{gC/L}$ 饵料密度组的卵孵化率显著低于其它饵料浓度组($P<0.05$)。

对不同成体密度下汤氏纺锤水蚤卵孵化率进行 Tukey's 多重比较检验(表 3), 在 250、500 和 1000 $\mu\text{gC/L}$ 三个饵料浓度下各成体密度组卵孵化率差异不显著($P>0.05$); 在 1500、2000 和 3000 $\mu\text{gC/L}$ 三个饵料浓度组中 80 个/L 成体密度组间的卵孵化率显著低于其它两组($P<0.05$)。

3 讨论

高密度是桡足类规模化培育的最关键因素之一, 目前除猛水蚤和剑水蚤外(Lee *et al.*, 2005), 很多桡足

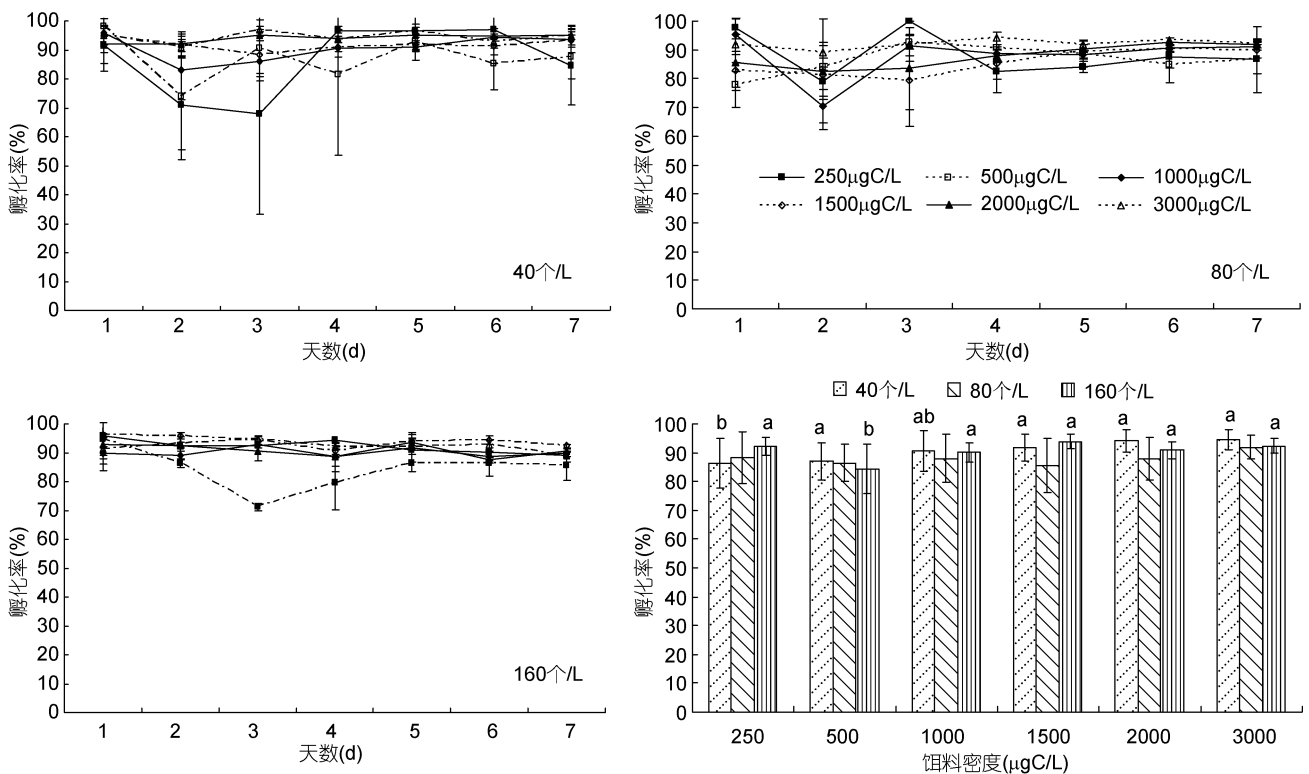


图 3 饵料和成体密度对汤氏纺锤水蚤卵孵化率的影响

Fig.3 The effects of food concentration and stocking density on hatching success of *A. tonsa* eggs

表 3 不同成体密度对汤氏纺锤水蚤卵孵化率的影响
Tab.3 The effects of different stocking density on hatching success of *A. tonsa* eggs

成体密度(个/L)	饵料浓度($\mu\text{gC/L}$)					
	250	500	1000	1500	2000	3000
40	86.34 \pm 18.76	87.09 \pm 14.46	90.59 \pm 7.01	91.72 \pm 4.77 ^a	94.02 \pm 3.98 ^a	94.47 \pm 3.54 ^a
80	88.24 \pm 8.95	86.47 \pm 6.32	87.97 \pm 8.32	85.48 \pm 9.34 ^b	87.84 \pm 7.46 ^b	91.99 \pm 3.95 ^b
160	92.22 \pm 3.23	84.36 \pm 8.44	90.08 \pm 3.39	93.91 \pm 2.67 ^a	90.89 \pm 2.96 ^{ab}	92.22 \pm 2.54 ^{ab}

注: 同列标注表示两者差异显著($P < 0.05$)

类对高培养密度非常敏感(Ban *et al.*, 1994)。提高养殖密度会导致桡足类存活率降低、发育周期延长、生长速度变慢、产卵量和孵化率降低等不良影响(Zhang *et al.*, 1991; Kahan *et al.*, 1988; Ban *et al.*, 1994; Vander-Lugt *et al.*, 2008)。汤氏纺锤水蚤产粪粒数的高低与饵料质量有密切关系, 摄食对数生长期、低 C/N 比的质量好的藻类后会产大量的颗粒小而致密的粪粒, 摄食质量差的藻类则会产少量大而疏松的粪粒(Mari *et al.*, 2000)。实验制备足量处于对数生长期的藻类投喂汤氏纺锤水蚤, 消除了因饵料质量差异的影响。Dagg 等(1986)发现投喂藻类密度低时产出的粪粒数少且颗粒小, 投喂藻类浓度高时产出的粪粒数多且颗粒大。本研究结果表明随着饵料密度的提高, 汤氏纺锤水蚤的产粪粒数明显提高, 与 Dagg 等(1986)的研究结果相同; 但粪粒体积在实验组内没有差异, 与饵料密度无明显相关性。

在自然环境下, 食物资源量是有限的, 随种群密度的增加每个生物个体所能分配的食物量相应减少, 使种内对空间和食物的竞争加剧, 从而使个体的摄食量降低, 运动能量消耗增大(Sibly *et al.*, 2000)。汤氏纺锤水蚤是一种机会主义的桡足类, 其产卵不依赖于能量储存, 而是随着饵料条件而迅速调整产卵量(Kjørboe *et al.*, 1985)。本文研究表明, 在实验开始的 1—2d, 实验组的饵料密度和成体密度与原始培养条件有较大改变, 汤氏纺锤水蚤的产卵量也随之改变, 自第 3 天后趋于平稳。饵料的数量和质量会显著影响汤氏纺锤水蚤的产卵量(Jóasódóttir *et al.*, 1996), 在低饵料密度条件下, 桡足类的捕食效率明显降低, 产卵量也明显降低(Paffenhofer *et al.*, 1988), 本研究结果也表明随着饵料密度的提高产卵量逐渐升高, 随着饵料浓度的增加产卵量达到稳定。不同成体密度的饵料需求量也不同, 在 40、80 个/L 密度下, 2000 $\mu\text{gC/L}$ 的饵料浓度可满足汤氏纺锤水蚤的需求; 但成体密度增大到 160 个/L, 饵料的需求量加大 3000 $\mu\text{gC/L}$ 。本研究中汤氏纺锤水蚤的最大产卵量为(45.04 \pm 15.29)

粒/d, 高于克氏纺锤水蚤的最高产卵量 21—26 粒/d (Richardson *et al.*, 1998)。在 40 个/L 条件下, 汤氏纺锤水蚤投喂足量 RHINO 的产卵量也高于威氏海链藻(*Thalassiosira weissflogii*) [(28.0 \pm 0.5)粒/d]、等鞭金藻(*I. galbana*) [(21.4 \pm 2.1)粒/d]和牟勒氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*) [(20.1 \pm 1.0)粒/d] (Priscila *et al.*, 2010)。

生殖效率除了与产卵量有关, 卵的孵化率也是重要的因素。养殖密度对纺锤水蚤(*A. sinjiensis*)48h 的孵化率有显著影响, 在 2000 个/L 的养殖密度条件下, 纺锤水蚤会产出滞育卵以避免在高密度下对食物和空间的竞争(Thomas *et al.*, 2009), 本研究中没有发现产出滞育卵, 可能与实验组的成体密度不高有关。Myron 等(2006)用 *Rodmonas* spp. 投喂汤氏纺锤水蚤后, 卵的孵化率为 85.5% \pm 1.53%, Turner 等(1998)投喂 *Karenia brevis* 后发现汤氏纺锤水蚤的产卵量明显下降, 但卵的孵化率仍保持较高水平。本研究结果也表明, 不同的饵料密度和成体密度会导致产卵量的显著变化, 但卵的孵化率和饵料密度与养殖密度无显著性相关。

粪粒是影响桡足类培养水质的最重要因素, 产卵量和孵化率是衡量桡足类培养效率的重要指标。本研究初步揭示了饵料密度和培养密度对汤氏纺锤水蚤的影响, 为其大量连续培养提供了技术资料。另外, 成体的培育密度和产滞育卵的比例存在正相关关系(Camus *et al.*, 2009), 光照周期和温度也能诱导桡足类产滞育卵(Nelson *et al.*, 1995), 诱导、保存滞育卵并调控其孵化也为其应用于水产养殖提供了一条新的途径(刘光兴等, 2003)。

参 考 文 献

- 王桂忠, 李少菁, 1991. 厦门港海区两种常见纺锤水蚤(*Acartia*) 形态特征的比较研究. 厦门大学学报(自然科学版), 30(1): 78—83
- 王桂忠, 李少菁, 陈 峰等, 1994. 厦门港海区两种常见纺锤水蚤卵的生物学和季节演替. 厦门大学学报(自然科学版), 33(增刊): 135—140

- 仲学锋, 肖贻昌, 1991. 胶州湾内纺锤水蚤休眠卵的研究. 海洋科学, 15(5): 55—59
- 刘光兴, 陈珂, 2003. 海洋桡足类滞育卵在海水养殖业中的应用及其前景. 青岛海洋大学学报, 33(6): 901—906
- 刘迟迟, 林元烧, 曹文清等, 2008. 厦门港两种纺锤水蚤 mtCO 序列比较研究. 厦门大学学报(自然科学版), 47(3): 419—425
- 孙晓红, 孙松, 李超伦等, 2009. 温度和饵料对双刺纺锤水蚤产卵率和孵化率的影响. 海洋科学集刊, 49: 78—86
- 张展, 孙松, 李捷等, 2008. 几种单胞藻对双刺纺锤水蚤雌体繁殖的影响. 海洋与湖沼, 39(6): 612—618
- 陈民山, 1991. 六氯化苯对汤氏纺锤水蚤毒性影响的比较研究. 海洋与湖沼, 22(3): 215—220
- 林利民, 许峰, 林君, 1998. 盐度对刺尾纺锤水蚤生长发育的影响. 台湾海峡, 17(增刊): 53—55
- 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
- 曹文清, 1994. 厦门港海区两种常见纺锤水蚤的染色体研究. 厦门大学学报(自然科学版), 33(增刊): 126—129
- 谢钦铭, 范敦钦, 赵美珠, 2006. 二种有机磷农药对纺锤水蚤的急性毒性. 水产学杂志, 19(2): 82—86
- Ban S, Minoda T, 1994. Induction of diapause egg production in *Eurytemora affinis* by their own metabolites. Hydrobiologia, 292—293(1): 185—189
- Checkley D M, 1980. The egg production of a marine planktonic copepod in relation to its food supply: laboratory studies. Limnol Oceanogr, 25: 430—446
- Dagg M J, Walser W E, 1986. The effect of food concentration on fecal pellet size in marine copepods. Limnol Oceanogr, 31: 1066—1071
- Drillet G, Iversen M H, Sørensen T F *et al*, 2006. Effect of cold storage upon eggs of a calanoid copepod, *Acartia tonsa* (Dana) and their offspring. Aquaculture, 254: 714—729
- Gaudy R, Cervetto G, Pagano M, 2000. Comparison of the metabolism of *Acartia clausi* and *Acartia tonsa*: influence of temperature and salinity. J Exp Mar Biol Ecol, 247: 51—65
- Helland S, Terjesen B F, Berg L, 2003. Free amino acid and protein content in the planktonic copepod *Temora longicornis* compared to *Artemia franciscana*. Aquaculture, 215: 213—228
- Jóasdóttir S, Kiørboe T, 1996. Copepod recruitment and food composition: do diatoms affect hatching success? Mar Biol, 126: 743—750
- Jepsen P M, Andersen N, Holm T *et al*, 2007. Effects of adult stocking density on egg production and viability in cultures of the calanoid copepod *Acartia tonsa* (Dana). Aquac Res, 38: 764—772
- Kahan D, Berman Y, Barel T, 1988. Maternal inhibition of hatching at high population densities in *Tigriopus japonicus* (Copepoda, Crustacea). Biol Bull, 174: 139—144
- Kiørboe T, Møhlenberg F, Hamburger 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
- Lavens P, Sorgeloos P, 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. FAO Fisheries Technical Paper, 361, Rome, Italy, 295
- Lee C S, O'Bryen P J, Marcus N H, 2005. Copepods in Aquaculture, 1st edn. Blackwell Publishing, IA, USA, 13—22
- Mari Butler, Hans G Dam, 2000. Production rates and characteristics of fecal pellets of the copepod *Acartia tonsa* under simulated phytoplankton bloom conditions: implications for vertical fluxes. Mar Ecol Prog Ser, 114: 81—91
- Mauchline J, Blaxter J H S, Southward A J *et al*, 1998. The Biology of Calanoid Copepods—Introduction. Elsevier Academic Press, Oxford, 710
- McEvoy L, Nøss T, Bell J G *et al*, 1998. Lipid and fatty acid composition of normal and malpigmented Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed enriched *Artemia*: a comparison with fry fed wild copepods. Aquaculture, 163: 235—248
- Medina M, Barata C, 2004. Static-renewal culture of *Acartia tonsa* (Copepoda: Calanoida) for ecotoxicological testing. Aquaculture, 229: 203—213
- Myron A Peck, Linda Holste, 2006. Effects of salinity, photoperiod and adult stocking density on egg production and egg hatching success in *Acartia tonsa* (Calanoida: Copepoda): Optimizing intensive cultures. Aquaculture, 255: 341—350
- Poulet S A, Laabir M, Lanora A *et al*, 1995. Reproductive response of *Calanus helgolandicus*. I. Abnormal embryonic and naupliar development. Mar Ecol Prog Ser, 129: 85—95
- Priscila F T, Sonia M K, Tatiana R A *et al*, 2010. Diet influence on egg production of the copepod *Acartia tonsa* (Dana, 1896). Annals of the Brazilian Academy of Sciences, 82(2): 333—339
- Sibly R M, Williams T D, Jones M B, 2000. How environmental stress affects density dependence and carrying capacity in a marine copepod. J Appl Ecol, 37: 388—397
- Støttrup J G, Richardson K, Kirkegaard E *et al*, 1986. The cultivation of *Acartia tonsa* Dana for use as a live food source for marine fish larvae. Aquaculture, 52: 87—96
- Strathmann R R, 1967. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. Limnology and Oceanography, 12: 411—418
- Thomas Camus, Chaoshu Zeng, 2009. The effects of stocking density on egg production and hatching success, cannibalism rate, sex ratio and population growth of the tropical calanoid copepod *Acartia sinjiensis*. Aquaculture, 287: 145—151
- Turner J T, Tester P A, Hansen P J, 1998. Interaction between toxic marine phytoplankton and metazoan and protistan grazers. In: Anderson D M, Cembella A D, Hallegraeff G M ed. Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms, Vol.41.

- Springer-Verlag, Berlin NATO ASI, 453—474
- VanderLugt K, Lenz P H, 2008. Management of nauplius production in the paracalanid, *Bestiolina similis* (Crustacea: Copepoda): effects of stocking densities and culture dilution. *Aquaculture*, 276: 69—77
- Zhang Q, Uhlig G, 1991. Progress in mass cultivation of harpacticoid copepods of the genus *Tisbe*. In: Lavens P, Sorgeloos P, Jaspers E *et al* ed. Fish and Crustacean Larviculture Symposium. European Aquaculture Society, Gent (Belgium), 98—100

EFFECTS OF FOOD CONCENTRATION AND STOCKING DENSITY ON FECAL PELLET GENERATION, EGG PRODUCTION AND HATCHING SUCCESS OF CLANOID COPEPOD *ACARTIA TONSA*

ZHANG Jian-She¹, ISABELLA Buttino², ZHU Ai-Yi¹, WU Chang-Wen¹

(1. Marine Science College of Zhejiang Ocean University, National Engineering Research Center of Marine Facilities Aquaculture, Zhoushan, 316004; 2. ISPRA Istituto Superiore per la Ricerca Protezione Ambientale, Livorno, 457128)

Abstract The effects of food concentration and stocking density on fecal pellet (FP) generation, egg production (EP) and 48h egg hatching success (HS) of *Acartia tonsa* were examined in laboratory. Algal densities tested were equivalent in carbon concentrations and corresponded to 250, 500, 1000, 1500, 2000, and 3000 $\mu\text{gC/L}$ of *Rhinomonas reticulata*. Three stocking densities in 40, 80 and 160 adults/L were setup for all experiments in 4 replicates per treatment. The results show that at stocking density of 40 and 80 adults/L, mean FP production was dependent on the density of food supply. At the stocking density of 160 adults/L, the mean FP production was significantly lower than 40 and 80 adults/L when food concentration above 500 $\mu\text{gC/L}$ ($P<0.05$). The food concentration and stocking density significantly affected the EP of *A. tonsa*. Mean EP increased with the increase of food concentrations at the same stocking density. At the stocking density of 160 adults/L, the mean EP production was significantly lower than 40 and 80 adults/L when the food concentration above 500 $\mu\text{gC/L}$ ($P<0.05$). In this species, HS was not strongly affected by differences in food concentration and stocking density.

Key words *Acartia tonsa*, Fecal pellet production, Egg production, Egg hatching success