

# 环境因素对短角异剑水蚤摄食的影响

孟振<sup>1</sup>, 王国栋<sup>1</sup>, 刘新富<sup>1</sup>, 刘滨<sup>1</sup>, 贾玉东<sup>1</sup>, 鲍鹰<sup>2</sup>, 张和森<sup>3</sup>

(1. 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室, 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 3. 青岛通用水产养殖有限公司, 山东 青岛 266404)

**摘要:** 通过单因子实验, 研究了短角异剑水蚤(*Apocyclops royi*)在不同温度、光照、pH 值、饵料密度以及单性条件下对盐生杜氏藻的滤水率( $F$ )和滤食率( $G$ ), 及其对 3 种常见饵料微藻(盐生杜氏藻、球等边金藻和海水小球藻)摄食的选择性, 旨在为该物种的人工高效可控培养提供实验和技术基础。结果表明, 实验温度范围内(20, 25 和 30℃), 短角异剑水蚤对盐生杜氏藻的滤水率和滤食率差异不显著, 其中 25℃时  $F$  和  $G$  较高, 分别为(0.049±0.014)mL/(个·h)和(1.393±0.369)×10<sup>4</sup> 个/(个·h); 滤水率和滤食率随光照强度的增加而升高, 光照强度为 9 800 lx 时  $F$  和  $G$  最高, 分别为(0.053±0.012)mL/(个·h)和(1.295±0.303)×10<sup>4</sup> 个/(个·h); pH 值为 9.0 时, 滤水率和滤食率显著高于其他实验组(7.0、8.0、10.0); 滤水率随饵料密度的增加呈现先增加后降低的趋势, 滤食率随饵料密度的增大而升高; 滤水率和滤食率存在性别差异, 雌性的  $F$  和  $G$  均比雄性约高 16%。实验的 3 种微藻中, 球等鞭金藻的选择性指数最高。

**关键词:** 短角异剑水蚤(*Apocyclops royi*); 滤水率; 滤食率; 选择指数

中图分类号: Q958.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2013)01-0081-06

海洋桡足类具有种类多、分布范围广、群体数量大和高度不饱和脂肪酸(DHA 和 EPA)含量高的特点, 是海水鱼类仔稚鱼天然生物饵料, 对仔稚鱼有强烈的诱食作用<sup>[1-3]</sup>。因此, 筛选适合的桡足类进行人工规模化培养成为研究的热点<sup>[4-8]</sup>, 而摄食生态的研究可以为人工高效可控培养技术的开发提供基础数据和评价依据, 也受到广泛重视<sup>[9-14]</sup>。

短角异剑水蚤(*Apocyclops royi*)隶属于桡足亚纲、剑水蚤目、剑水蚤亚科, 是一种广泛分布于中国和印度尼西亚沿海海水、咸淡水的小型桡足类<sup>[15]</sup>, 具有个体小、生殖周期短、适应能力强和营养价值高等特点, 被认为是最适于人工培养的桡足类之一<sup>[16-17]</sup>。迄今为止, 尽管已经进行了包括生理生态<sup>[18]</sup>、生长与生殖<sup>[19]</sup>、个体发育<sup>[15, 20]</sup>、营养成分<sup>[21]</sup>和培养条件<sup>[15, 20]</sup>等与人工培养相关的研究, 但是室内生产性培养技术尚未建立, 与摄食生态相关的系统研究也未见报道。本文通过单因子实验, 研究不同环境因子对其存活、滤水率和滤食率的影响, 旨在为该物种的人工高效可控培养提供实验和技术基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 桡足类

短角异剑水蚤于 2011 年 4 月捕自江苏省赣榆沿

海的轮虫养殖池, 样品取回后在解剖镜下采用大口滴管挑取成体, 放置于容积 50 L 的圆形玻璃钢水槽中驯养, 驯养期间水温 25℃, 盐度 30, 饵料为浓缩海水小球藻, 持续时间 1 个月。实验时从驯养水槽中取样, 再次用大口滴管挑选活力好的成体用于实验。

#### 1.1.2 藻种来源及培养

实验所用饵料微藻盐生杜氏藻(*Dunaliella salina* OUC38)藻种来源于中国海洋大学生命学院藻类遗传传室, 原藻种的培养盐度为 120, 实验前逐步降低盐度驯化成普通海水培养(盐度 30), 培养方法见孟振等<sup>[22]</sup>; 球等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)、海水小球藻(*Chlorella* sp.)分别取自中国海洋大学水产学院和中国水产科学院黄海水产研究所藻类室, 培养液采用 f/2 配方, 培养方法见成永旭等<sup>[23]</sup>。

#### 1.1.3 实验用水

实验所用海水均经砂滤、紫外消毒及 300 目筛绢过滤, pH 7.8~8.0, 盐度 30.6。实验所需的其他盐度,

收稿日期: 2012-07-08; 修回日期: 2012-10-12

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2009-ts-12, 2009-chb-08); 国家 863 计划项目(2012AA10A413-2)

作者简介: 孟振(1981-), 男, 山东曲阜人, 助理研究员, 博士, 主要从事海水鱼类增养殖, 电话: 0532-85831306, E-mail: mengzhen@ysfri.ac.cn; 刘新富, 通信作者, 电话: 0532-85831306, E-mail: liuxf@ysfri.ac.cn

以蒸馏水稀释并用盐度计测量校准配制而成。实验所需的各种 pH 值, 采用 1 mol/L 的醋酸或者 NaOH 溶液调整以及 pH 计测量校准。

#### 1.1.4 实验容器

实验时短角异剑水蚤的培养容器为容积 100 mL 的烧杯, 内装 50 mL 培养液。进行摄食实验时, 每隔 4 h 摇瓶 1 次, 以保证藻细胞均匀分布。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 摄食实验设置方法

进行温度、光照强度、pH 值和饵料密度对短角异剑水蚤成体摄食的影响及不同性别短角异剑水蚤摄食差异实验时, 每个因子设置不同水平的实验组, 每个实验组设置 5 个平行样, 每个平行样中都加入处于对数生长期的盐藻和 2 滴营养盐溶液(N、P), 随机选取 2 个平行样为对照, 不加短角异剑水蚤, 其余 3 个为处理样, 各加入 10 个在该组实验条件下驯养 24 h 的成体(5♀:5♂, 性别实验除外), 培养 24 h 终止实验。

#### 1.2.2 微藻密度的计数方法

实验前后, 各平行样分别取样以卢戈氏液固定, 采用血球计数板计数藻细胞的密度。

#### 1.2.3 温度和盐度对存活的影响

温度试验设置 5、10、15、20、25、30、35 7 个实验组(盐度全部为 30, pH 8.0), 盐度试验设置为 5、10、15、20、25、30 共 6 个实验组(温度全部为 25), 每个实验组设 3 个平行样, 每个平行样中放入 30 只成体(15♀:15♂), 不投饵, 黑暗条件下培养 24 h 后检查其存活率。

#### 1.2.4 温度对摄食的影响

设定 20、25、30 3 个温度实验组, 培养盐度 30.6, 光照 9 800 lx, pH 8.0。

#### 1.2.5 光照强度对摄食的影响

设定 9 800、4 700、2 850、0 lx 4 个光照组, 培养盐度 30.6、温度 25, pH8.0。

#### 1.2.6 pH 值对摄食的影响

设定 4 个 pH 值(7.0、8.0、9.0、10.0)试验组, 培养盐度 30.6, 温度 25, 光照强度 4 700 lx。

#### 1.2.7 饵料密度对摄食的影响

饵料密度分为 5 个梯度, 分别添加藻液 1、5、10、15、20 mL, 经测定 5 组盐生杜氏藻密度依次为 4.219、16.813、36.438、60.313、72.625×10<sup>4</sup> 个/mL。培养盐度 30.6, 温度 25, 光照强度 4 700 lx, pH8.0。

#### 1.2.8 不同性别短角异剑水蚤摄食差异

用吸管挑选雌、雄成体(雌性个体较大, 体后带有 2 个卵囊; 雄性个体较小, 无卵袋), 盐度 30.6, 温度 25, 光照强度 9 800 lx, pH8.0。

#### 1.2.9 短角异剑水蚤对 3 种微藻摄食的选择性

分别加入处于对数生长期的海水小球藻 1 mL, 球等鞭金藻 1.5 mL, 盐生杜氏藻 2.5 mL, 滴加 2 滴营养液, 设 2 个对照组和 4 个处理组, 每个处理组添加 10 个桡足类成体(5♀:5♂), 盐度 30.6, 温度 25, 光照强度 9 800 lx, pH8.0。

#### 1.2.10 短角异剑水蚤对微藻的滤水率和滤食滤的计算<sup>[24]</sup>

滤水率计算公式:  $F = V/N (\ln C_1 - \ln C_2)/t$

滤食率计算公式:  $G = FC = V/N (\ln C_1 - \ln C_2)/t(C_0 - C_2)/(\ln C_0 - \ln C_2)$

式中,  $F$  为滤水率, 即每个短角异剑水蚤成体每小时过滤的海水量, mL/(个·h);  $G$  为滤食率, 即每个成体每小时过滤的饵料细胞数, 个/(个·h);  $V$  为实验溶液的体积, mL;  $N$  为短角异剑水蚤成体数量;  $C_0$  为实验开始时水样中微藻密度, 个/mL;  $C_1$  为对照样的微藻终密度, 个/mL;  $C_2$  为处理样的微藻终密度, 个/mL;  $C$  为处理样的微藻平均密度, 个/mL;  $t$  为实验持续时间, h。

#### 1.2.11 短角异剑水蚤对 3 种微藻的选食率和选择指数的计算<sup>[14]</sup>

选食率计算公式:  $S_i = (C_1 - C_2)/C_1 \times 100\%$

选择指数计算公式:  $S_i = (r_i - p_i)/(r_i + p_i)$

其中:  $S_i$  为选食率;  $S_i$  为选择性指数;  $r_i$  为某种微藻在被短角异剑水蚤成体所摄食的全部微藻中所占比例;  $p_i$  为实验开始时处理样中某种微藻与全部微藻的比例。

#### 1.2.12 统计分析

采用 SPSS17.0 软件进行方差分析(One-Way ANOVA), 显著性水平小于 0.05 时, 采用 Duncan's 进行多重比较。

## 2 结果与讨论

### 2.1 温度和盐度对短角异剑水蚤存活的影响

水温为 5 时, 短角异剑水蚤 24 h 存活率较低, 仅有 5.56%±3.85%, 与其他实验温度组(10~35)差异显著( $P < 0.05$ ), 水温上升至 10 时, 存活率迅速上升至 82.22%±5.09%, 此后随着水温的上升直至 35, 存活率的变化不大, 在 10~35 范围, 各实验组存活

率为  $82.22\% \pm 5.09\% \sim 88.89\% \pm 5.09\%$ , 差异不显著 (图 1a)。

在 5~30 盐度范围内, 各实验组的 24 h 存活率均

高于  $85\% (85.56\% \pm 1.92\% \sim 94.44\% \pm 1.92\%)$ , 且组间差异不显著 (图 1b)。因此, 短角异剑水蚤适温范围 10~35, 适盐范围 5~35, 属广温、广盐性种类。

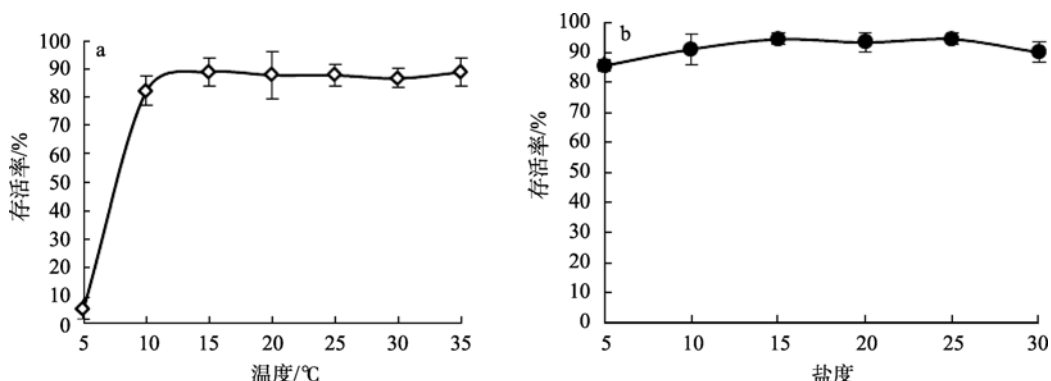


图 1 温度和盐度对短角异剑水蚤存活的影响

Fig. 1 Effect of temperature and salinity on survival rate of *Apocyclops royi*

## 2.2 温度对短角异剑水蚤摄食的影响

短角异剑水蚤在生长的适温范围内(20~30)对盐藻的摄食率见表 1。在此温度范围内, 各实验组对盐藻的滤水率和滤食率的差异均不显著, 但 25 的 *F* 和 *G* 值略高于另外 2 个实验组。

适温范围内, 桡足类的摄食活动一般随温度的升高而增强, 因为温度的升高将引起动物滤食器官活动频率的提高及代谢耗能的增加<sup>[10-12]</sup>。但短角异剑水蚤是一种广温性种类, 从广东至三北地区均有分布<sup>[15, 20]</sup>, 且本实验材料采自温度昼夜变化较大的小型海水池塘, 因此该种群在生理上可能对环境的温度变化已有了很强的适应, 故在适温范围内(20~30), 其摄食率波动较小, 台湾学者的研究也证实温度对短角异剑水蚤的影响主要影响在生长速率上, 较高的水温可提高生长速率、缩短成熟时间<sup>[19]</sup>。

## 2.3 光照强度对摄食的影响

光照强度对短角异剑水蚤的滤水率和滤食率影响差异显著(表 2), 高光照强度(9 800 lx)显著促进滤水率和滤食率, 滤水率和滤食率可高达

( $0.053 \pm 0.012$ ) mL/(个·h)、( $1.295 \pm 0.303$ )  $\times 10^4$  个/(个·h), 而完全黑暗条件下, 滤水率和摄食率都显著低于有光照的条件。

海洋中桡足类的摄食高峰一般出现在夜晚<sup>[25]</sup>, 但在实验室中, 光照往往能促进桡足类的摄食<sup>[12-14]</sup>, 对这种矛盾现象, 有学者认为, 桡足类昼夜摄食节律需具备海洋环境条件刺激<sup>[13]</sup>, 如饵料密度、光周期和捕食者等<sup>[25]</sup>, 否则在实验室中不表现出昼夜摄食节律。本实验的结果与赵文等<sup>[14]</sup>在小拟哲水蚤和拟长腹剑水蚤上得到的结论一致, 推测是由于短角异剑水蚤喜欢生活于池塘表层, 有趋光性, 喜高溶氧。光照组盐藻能进行光合作用, 产生大量氧气, 因而桡足类活力增加, 滤水量加大, 摄食率也大。相反, 处于黑暗状态下盐藻也消耗大量氧气, 溶氧降低, 所以桡足类的活力下降, 导致滤水量和摄食率减小。

## 2.4 pH 值对摄食的影响

pH 值对短角异剑水蚤滤水率和滤食率影响差异显著(表 3), 且两者表现出相同的趋势, pH9.0 时, *F* 和 *G* 值均明显高于其他实验组, pH8.0 时, *F* 和 *G* 值

表 1 温度对短角异剑水蚤滤水率和滤食率的影响

Tab. 1 Effect of temperature on filtering rates and grazing rates of *Apocyclops royi*

实验组	温度( )	<i>F</i> (mL/(个·h))	<i>G</i> ( $\times 10^4$ 个/(个·h))	<i>N</i>
1	30	$0.044 \pm 0.004^a$	$1.022 \pm 0.074^a$	3
2	25	$0.049 \pm 0.014^a$	$1.393 \pm 0.369^a$	3
3	20	$0.047 \pm 0.011^a$	$1.147 \pm 0.237^a$	3

注: 同列中标有不同小写字母的表示组间差异显著( $P < 0.05$ ), 相同字母表示组间差异不显著( $P > 0.05$ )。下同

表 2 光照对短角异剑水蚤滤水率和摄食率的影响

Tab. 2 Effect of light on filtering rates and grazing rates of *Apocyclops royi*

实验组	光照强度(lx)	$F(\text{mL}/(\text{个}\cdot\text{h}))$	$G(10^4 \text{ 个}/(\text{个}\cdot\text{h}))$	$N$
1	9800	$0.053\pm 0.012^a$	$1.295\pm 0.303^a$	3
2	4700	$0.029\pm 0.005^b$	$0.858\pm 0.143^b$	3
3	2850	$0.029\pm 0.008^b$	$0.805\pm 0.194^b$	3
4	0	$0.014\pm 0.008^c$	$0.346\pm 0.191^c$	3

表 3 pH 值对短角异剑水蚤滤水率和滤食率的影响

Tab. 3 Effect of pH value on filtering rates and grazing rates of *Apocyclops royi*

实验组	pH 值	$F(\text{mL}/(\text{个}\cdot\text{h}))$	$G(10^4 \text{ 个}/(\text{个}\cdot\text{h}))$	$N$
1	7.0	$0.018\pm 0.006^a$	$1.168\pm 0.366^a$	3
2	8.0	$0.012\pm 0.002^b$	$0.697\pm 0.069^b$	3
3	9.0	$0.030\pm 0.002^c$	$1.765\pm 0.125^c$	3
4	10.0	$0.021\pm 0.006^a$	$1.204\pm 0.323^a$	3

最低, 而 pH7.0 和 pH10.0 时,  $F$  和  $G$  值均差异不显著。

桡足类人工培养最适 pH 值范围为 7.5~8.6, 过低或过高对其生长、繁殖均有抑制作用<sup>[3]</sup>。本实验通过调节初始培养液的 pH 值, 观察在不同初始 pH 值条件下短角异剑水蚤的滤水率和滤食率的变化, 结果表明 pH9.0 时, 短角异剑水蚤的  $F$  和  $G$  值最高, 推测是由于 pH 值为 9.0 时是盐藻生长最适合的条件, 光合作用增加, 产生大量氧气, 因而桡足类活力增加, 导致滤水量加大, 滤食率也大。而 pH7.0 的实验组由于加入了乙酸调节 pH 值, 而乙酸对盐藻生长具有明显的促进作用<sup>[26]</sup>, 使得盐藻光合作用增强, 桡足类活力增加。这也从实验结束时 pH7.0 和 pH9.0 的空白对照组(不添加桡足类)盐藻细胞密度( $C_1$ )最高得到验证。

### 2.5 饵料密度对摄食的影响

饵料密度对短角异剑水蚤滤水率和滤食率的影响均差异显著, 但两者表现出不同的变化趋势(图 2)。在实验盐藻密度  $4.219 \times 10^4 \sim 72.625 \times 10^4$  个/mL 范围内,  $F$  值随盐藻密度  $C_0$  的增加先增加后逐渐降低, 当盐藻密度为  $16.813 \times 10^4$  个/mL 时, 滤水率最高, 达到  $(0.0517 \pm 0.003) \text{ mL}/(\text{个}\cdot\text{h})$ , 其后随藻细胞密度的增加逐渐降低, 两者呈现明显的负相关; 而  $G$  值随藻细胞密度  $C_0$  的增加逐渐升高  $((0.085 \pm 0.020) \times 10^4 \sim (2.6465 \pm 0.910) \times 10^4 \text{ 个}/(\text{个}\cdot\text{h}))$ , 两者呈现明显的正相关。

关于饵料密度对桡足类滤水率和滤食率的影响已有很多研究, 一般滤食性桡足类的滤食率随食物

浓度的增加而升高, 而滤水率则相反<sup>[10-14]</sup>。在饵料密度较高时, 桡足类只需较小的滤水率即可得到足够的饵料, 而当浓度高到一定程度后, 滤食率会相对恒定, 甚至出现负增长。本实验中未见饱和摄食现象, 推测与盐藻浓度尚未达到其饱和摄食的要求有关, 这有待于进一步实验证实。

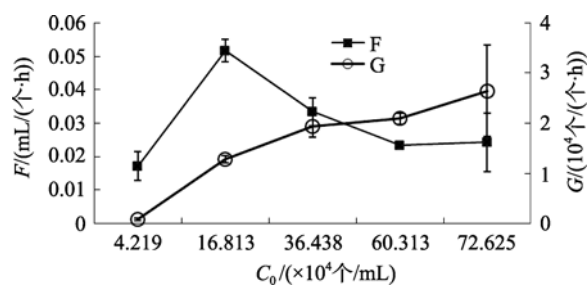


图 2 饵料密度对短角异剑水蚤滤水率和滤食率的影响  
Fig. 2 Effect of algae density on filtering rates and grazing rates of *Apocyclops royi*

### 2.6 性别对摄食的影响

短角异剑水蚤雌性成体的滤水率和摄食率都比雄性成体的大, 均约高 16%, 但两者差异不显著(表 4)。与瘦尾胸刺水蚤<sup>[27]</sup>、小拟哲水蚤和拟长腹剑水蚤<sup>[14]</sup>研究结果一致, 这可能与短角异剑水蚤雌性成体的个体大(成体体长 0.94~0.99mm, ♂0.75mm)<sup>[20]</sup>, 产卵需要较多能量有关。

### 2.7 对 3 种微藻摄食的选择性

短角异剑水蚤对 3 种微藻的滤水率  $F$ 、滤食率  $G$  和选食率  $S_r$  变化趋势一致, 依次为海水小球藻 > 球等鞭金藻 > 盐生杜氏藻(表 5), 选择性指数  $S_i$  大小顺

表 4 短角异剑水蚤雌雄成体滤水率和摄食率的差异

Tab. 4 Differences in filtering rates and grazing rates between male and female *Apocyclops royi*

实验组	性别	$F(\text{mL}/(\text{个}\cdot\text{h}))$	$G(10^4 \text{个}/(\text{个}\cdot\text{h}))$	$N$
1	雌性	0.029±0.002	0.948±0.036	2
2	雄性	0.025±0.002	0.814±0.060	2

表 5 短角异剑水蚤对 3 种微藻摄食的选择性

Tab. 5 Select-feeding test of 3 different microalgae for *Apocyclops royi*

实验组	微藻种类	$F(\text{mL}/(\text{个}\cdot\text{h}))$	$G(10^4 \text{个}/(\text{个}\cdot\text{h}))$	$S_r$	$S_i$	$N$
1	海水小球藻	0.044clops <sup>a</sup>	1.503c0.658 <sup>a</sup>	18.585	-0.021	4
2	球等鞭金藻	0.036±0.009 <sup>a</sup>	0.288±0.009 <sup>b</sup>	16.000	0.144	4
3	盐生杜氏藻	0.01400.009 <sup>b</sup>	0.220±0.050 <sup>b</sup>	6.657	-0.059	4

序依次为球等鞭金藻 > 海水小球藻 > 盐生杜氏藻, 说明所实验的 3 种微藻中短角异剑水蚤的最适饵料是球等鞭金藻。

对桡足类摄食机理和影响因素的研究已有广泛报道<sup>[11, 13-14, 27-28]</sup>, 一般认为滤食性桡足类的口部附肢形成一网筛状过滤器, 太大的藻类细胞难于进入过滤器, 而在可进入过滤器的食物颗粒中, 则根据筛网网孔大小选择食物颗粒, 而滤水率、选择指数、选食率并不与滤食率的大小相对应, 滤食率的大小, 可能与藻类的密度有关。赵文等<sup>[14]</sup>还认为桡足类对不同藻类的摄食率存在差异除机械性选择作用外, 还存在主动选择作用, 如触觉、视觉、化学感受等。本实验中, 短角异剑水蚤对海水小球藻的滤食率最高, 可能与海水小球藻密度(明显高于另外 2 种藻类)、大小(体积最小)和运动习性(无鞭毛)有关, 而对球等鞭金藻的选择指数最大, 推测可能存在除机械性选择作用外的其他机制。由于短角异剑水蚤为杂食性<sup>[29]</sup>, 口部附肢同时适于滤食和捕食, 其对细胞体积较小微藻的摄食机制尚有待于进一步研究。

参考文献:

[1] van der Meeren T. Selective feeding and prediction of food consumption in turbot larvae (*Scophthalmus maximus* L.) reared on the rotifer *Brachionus plicatilis* and natural zooplankton[J]. *Aquaculture*, 1991, 93(1): 35-55.

[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(2-3): 235-250.

[3] 郑重, 李少菁, 连光山. 海洋桡足类生物学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1992.

[4] Lee C, O'Bryen P J, Marcus N H. Copepods in Aquaculture[M]. Ames, Iowa, USA: Blackwell Publishing, 2005: 1-269.

[5] Støttrup J. A review on the status and progress in rearing copepods for marine larviculture: Advantages and disadvantages among calanoid, harpacticoid and cyclopoids copepods[C]. Mazatlán, Sinaloa, México: Memorias del Octavo Simposium Internacional de Nutrición Acuicola, 2006.

[6] Støttrup J G, Norsker N H. Production and use of copepods in marine fish larviculture[J]. *Aquaculture*, 1997, 155(1-4): 231-247.

[7] Støttrup J G, Richardson K, Kirkegaard E, et al. The cultivation of *Acartia tonsa* Dana for use as a live food source for marine fish larvae[J]. *Aquaculture*, 1986, 52(2): 87-96.

[8] 刘卓. 桡足类的培养与利用[J]. *海洋科学*, 1989, 6: 65-66.

[9] Gauld D T. The grazing rate of planktonic copepods[J]. *Journal of the Marine Biological Association of The United Kingdom*, 1951, 29(3): 695-706.

[10] 陆开宏, 吕耀平, 林霞, 等. 几个试验因子对细巧华哲水蚤清滤率和滤食率的影响[J]. *海洋科学*, 2001, 25(4): 44-47.

[11] 高亚辉, 林波. 几种因素对太平洋纺锤水蚤摄食率的影响[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1999, 38(5): 751-757.

[12] 林霞, 朱艺峰, 等. 几种环境因子对墨氏胸刺水蚤摄食的影响[J]. *海洋湖沼通报*, 2002, 4: 38-45.

[13] 高亚辉, 李松. 几种因素对真刺唇角水蚤摄食率的影响[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1988, 27(6): 684-688.

[14] 赵文, 宋青春, 高放. 大连近海两种桡足类摄食生态的初步研究[J]. *大连水产学院学报*, 2002, 17(1): 8-14.

[15] 刘俊鹏, 赵文, 王珊, 等. 短角异剑水蚤胚胎发育和幼体发育的研究[J]. *大连水产学院学报*, 2007, 22(4): 239-245.

[16] O'Bryen P J, Lee C. Culture of copepods and applications to marine finfish larval rearing workshop discussion summary[M]. USA: Blackwell Publishing, 2005, 245-255.

- [17] Lee K, Dahms H, Park H G, et al. Population growth and productivity of the cyclopoid copepods *Paracyclopina nana*, *Apocyclops royi* and the harpacticoid copepod *Tigriopus japonicus* in mono and polyculture conditions: a laboratory study[J]. *Aquaculture Research*, 2012, 1:5-10.
- [18] 张文柄. 桡足类短角异剑水蚤之生理生态学研究[D]. 台北: 台湾大学, 1992.
- [19] 许家兴. 食物及温度对短角异剑水蚤生长及生殖的影响[D]. 高雄: 中山大学, 1988.
- [20] 刘敏, 陈世杰. 短角异剑水蚤的培养试验[J]. *福建水产*, 1995(9): 19-22.
- [21] 许登玮. 不同食物对桡足类短角异剑水蚤族群成长及脂肪酸组成之影响[D]. 台北: 台湾大学, 2008.
- [22] 孟振, 张学成, 时艳侠. 光照与温度对紫外筛选盐生杜氏藻藻株的生长及色素积累的影响[J]. *海洋科学*, 2008, 32(7): 20-29.
- [23] 成永旭. 生物饵料培养学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [24] 大森信, 池田勉. 海洋浮游动物生态学的研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1990:355.
- [25] Roman M R, Ashton K A, Gauzens A L. Day/night differences in the grazing impact of marine copepods[J]. *Hydrobiologia*, 1988, 167-168(1): 21-30.
- [26] 王培磊, 张学成, 孟振, 等. 乙酸对两种杜氏藻生长和细胞生化组成的影响[J]. *海洋科学*, 2005, 29(6): 22-27.
- [27] 刘光兴, 李松. 厦门港瘦尾胸刺水蚤体长、体重与摄食率的季节变化[J]. *海洋学报*, 1998, 20(3): 104-109.
- [28] 高亚辉, 李松. 瘦尾胸刺水蚤摄食率的观察实验[J]. *热带海洋*, 1990, 9(3): 59-65.
- [29] 蔡屏玉. 桡足类(*Apocyclops royi* 与 *Pseudodiaptomus annandalei*)在流体作用下之摄食研究[D]. 基隆: 台湾海洋大学, 2005.

## Effects of environmental factors on the feeding of *Apocyclops royi*

MENG Zhen<sup>1</sup>, WANG Guo-dong<sup>1</sup>, LIU Xin-fu<sup>1</sup>, LIU Bin<sup>1</sup>, JIA Yu-dong<sup>1</sup>, BAO Ying<sup>2</sup>, ZHANG He-sen<sup>3</sup>

(1. Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China; 2 Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3 Qingdao General Aquaculture Co. Ltd, Qingdao 266404, China)

**Received:** Jul., 8, 2012

**Key words:** *Apocyclops royi*; filtering rate; grazing rate; index of selecting rate

**Abstract:** To develop the intensive culture technology of *Apocyclops royi*, the filtering rate ( $F$ ) and grazing rate ( $G$ ) on *Dunaliella salina* OUC38 under different water temperature, illumination, pH, cell density and gender, and the selective feeding on three common diet microalgae of *D. salina* OUC38, *Isochrysis galbana* and *Chlorella* sp., were assessed by single-factor experiments. As a result, there are no significant difference between filtering rates and grazing rates of *A. royi* at 3 test temperatures (20, 25 and 30 °C), and the highest filtering rates and grazing rates are (0.049±0.014) mL ind.<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> and (1.393±0.369)×10<sup>4</sup> cell ind.<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> at 25°C, respectively. The filtering rate and grazing rate increase with the increase of illumination intensity. The highest filtering rates and grazing rates are (0.053±0.012) mL ind.<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> and (1.295±0.303)×10<sup>4</sup> cell ind.<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> respectively under 9 800 lx illumination. Both the filtering rate and grazing rate at pH 9.0 are significantly higher than those under pH 7.0, 8.0 and 10.0. The grazing rate rises with increasing cell density of the *D. salina*, while the filtering rate increases to the highest level and declines thereafter. There is sexual dimorphism in filtering rate and grazing rate of *A. royi*. The filtering rate and grazing rate of female are both 16% higher than those of male. Among the 3 tested diet microalgae, *I. galbana* is the most favorite diet of *A. royi*.

(本文编辑: 梁德海)