

张凯雷,马慧娟,李茹梦,等. 2 种海水臂尾轮虫品系生活史特征[J]. 江苏农业科学,2020,48(22):169-173.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.22.032

2 种海水臂尾轮虫品系生活史特征

张凯雷,马慧娟,李茹梦,杨家新

(南京师范大学,江苏南京 210046)

摘要:应用单个体和种群培养方法,研究在一定温度(20 ℃)下,以浓度为 0.25×10^6 、 0.5×10^6 、 1×10^6 、 2×10^6 、 4×10^6 、 8×10^6 cells/mL 的海水小球藻(*Chlorella* sp.)为食,比较射阳褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*,SY)和玛雅臂尾轮虫(*Brachionus manjavacas*,BM)的生活史特征。研究表明,SY 品系和 BM 品系的种群增长率均保持先增长后缓慢下降的趋势。BM 品系和 SY 品系在初期食物浓度为 4×10^6 cells/mL 时的种群增长率始终高于其他浓度处理;在后期,食物浓度为 8×10^6 cells/mL 的种群增长率才最高。BM 品系的种群数量与种群增长率变化趋势一样;而 SY 品系在食物浓度为 8×10^6 cells/mL 时的种群数量一直高于其他浓度。2 个品系轮虫的生殖前期都随食物浓度升高而降低。在(0.25×10^6 、 0.5×10^6 cells/mL)时,BM 品系的生殖前期比 SY 品系的生殖前期要长;在(4×10^6 、 8×10^6 cells/mL)时,SY 品系的生殖前期比 BM 品系长;在(1×10^6 、 2×10^6 cells/mL)时,2 个品系轮虫生殖前期无显著差异。2 个品系褶皱臂尾轮虫的子代数均随食物浓度增大而变多,在低浓度时,SY 品系子代数高于 BM 品系;在中高浓度时,BM 品系子代数高于 SY 品系。2 个品系轮虫的寿命随着食物浓度升高先增长后缩短,都在食物浓度为 4×10^6 cells/mL 或 8×10^6 cells/mL 时的寿命最长。

关键词:褶皱臂尾轮虫;品系;食物浓度;生殖前期;子代数;寿命

中图分类号:S963.21⁺4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)22-0169-05

褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)作为海水人工育苗的一种轮虫,其繁殖状况的不同都会在生产上带来不同的效益。当然,生殖前期越短,轮虫在前期就会繁殖越快;寿命越长,维持种群高密度的时间就越长;子代数越高,密度繁殖越快。在不同食物浓度条件下,种群增长率、种群数量的变化以及生殖前期、寿命、子代数也会不同。已有研究表明,温度和食物浓度的不同会对轮虫生殖期产生影响^[1-2],品系的不同也会对蓴花臂尾轮虫的生活史产生影响^[3]。也有研究发现,蓴花臂尾轮虫的姐妹种和它们的地理位置并没有显著差异^[4]。Rehberg-Haas 等也研究了不同巴芙藻对褶皱臂尾轮虫的影响^[5]。Cheng 等研究了盐度和食物浓度对圆形臂尾轮虫种群动态的影响^[6]。除了藻种,还有轮虫品系、温度、盐度、光照和食物浓度等都对褶皱臂尾轮虫生长都具有影响,由于环境因子的多样

性,褶皱臂尾轮虫的生殖发育也会发生不同改变。

本试验以褶皱臂尾轮虫(SY)和玛雅臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*,BM)这 2 个品系轮虫为研究对象,探讨在不同食物浓度下 2 个品系轮虫的生长状况及生态学参数(生殖前期、寿命、子代数)的差异。为寻找 2 个品系轮虫在不同生长阶段最适的食物浓度范围,确认不同的食物浓度对轮虫的影响及是否与品系有关,本研究对中国射阳品系和美国品系的轮虫进行研究比较。美国 BM 品系之所以能够成为广泛的研究对象,是因为其具有稳定的特点,本研究想通过试验来确认中国 SY 品系轮虫是否也像 BM 品系一样具有稳定的特点,能否成为中国本土特有的品系,并能够成为一种广泛的试验对象。

1 材料与方法

1.1 轮虫的来源和预培养

1.1.1 轮虫来源 SY 和 BM 品系都是从冷冻休眠卵中孵化而来的,SY 品系休眠卵底泥是从射阳池塘中获取,BM 品系休眠卵是美国 Snell 教授所赠。轮虫休眠卵采用冯大庆的人工海水进行孵化,孵化温度为(20 ± 1) ℃,光照度为 4 000 lx,光:暗(L:D)=1:1^[7]。在实验室中对这 2 个品系轮虫进行单个体

收稿日期:2020-01-10

基金项目:江苏省现代渔业产业技术体系项目(编号:JFRS-01)。

作者简介:张凯雷(1995—),男,江苏启东人,硕士,从事水产养殖研究。E-mail:1755543007@qq.com。

通信作者:杨家新,男,教授,博士生导师,从事轮虫繁殖生物学研究。

E-mail:1063859395@qq.com。

克隆培养。轮虫培养所需饵料由 F2 培养基培养:将处于指数增长期的海水小球藻离心浓缩,再加海水培养基配制悬液喂养轮虫。F2 培养基(1 L 海水中所加的量):1 mL 7.5 g/100 mL NaNO_3 、1 mL 0.5 g/100 mL $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、1 mL 3 g/100 mL $\text{NaSiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 、1 mL 微量元素溶液、1 mL 维生素溶液。其中,100 mL 微量元素溶液含有 0.315 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、0.436 g $\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、0.98 mg $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、0.63 mg $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、2.2 mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、1.0 mg $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、18.0 mg $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 。50 mL 维生素溶液含有 0.05 mg 维生素 B_{12} 、0.05 mg 维生素 H、0.01 g 维生素 B_1 。

1.1.2 预培养 将 SY 和 BM 品系轮虫分别放置于 6 种食物浓度 (0.25×10^6 、 0.5×10^6 、 1×10^6 、 2×10^6 、 4×10^6 、 8×10^6 cells/mL) 中进行预培养,所用的容器为 50 mL 烧杯,环境温度为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$,光照度为 4 000 lx, L:D=1:1。预培养期间,使轮虫始终处于指数增长期,培养时间为 1 个星期以上。挑龄期小于 4 h 且活力充足的幼体进行试验。

1.2 试验方法

1.2.1 种群数量的测定 采用群体累积培养方法:通过预培养获得处于指数增长期的轮虫,按试验浓度将轮虫接种到 6 个不同浓度的六孔板中。试验变量为小球藻的浓度,分别为 0.25×10^6 、 0.5×10^6 、 1×10^6 、 2×10^6 、 4×10^6 、 8×10^6 cells/mL,依次记为处理 1、处理 2、处理 3、处理 4、处理 5、处理 6。每组设 6 个平行,接种密度为 1 ind/mL,每孔容积为 5 mL,各试验条件与预培养条件一样。试验期间,每 24 h 换 1 次轮虫培养液,直至轮虫种群密度开始下降,试验结束。记录每天的种群数量。

1.2.2 生殖前期、子代数及寿命的测定 采用单个体培养方法:通过预培养获得处于指数增长期的轮虫,按试验浓度将轮虫接种到 6 个不同浓度的 24 孔板中,小球藻浓度分别为 0.25×10^6 、 0.5×10^6 、 1×10^6 、 2×10^6 、 4×10^6 、 8×10^6 cells/mL,依次记为处理 1、处理 2、处理 3、处理 4、处理 5、处理 6。每组设 12 个平行,接种密度为 1 ind/mL,每孔容积为 1 mL,其他试验条件均与预培养条件一样。试验期间,每 24 h 换 1 次轮虫培养液,记录第 1 次产卵的时间,每天把新生幼体挑除,直至母体死亡,试验结束。记录总共所产的后代数及一共所经历的时间。

1.3 种群增长指标及测定方法

培养结束后,通过所得数据,可以计算出种群

增长率(population growth rate, r)。

$$\text{种群增长率}(r) = (\ln N_t - \ln N_1) / t。$$

式中: t 代表试验时间,d; N_1 和 N_t 分别表示 1 d 和 t d 雌体的数目。

生殖前期指幼体到产生第 1 枚卵所经历的时间。后代数指一个轮虫一生所产的后代数。寿命表示从出生到死亡所经历的时间,h。

1.4 数据处理

应用软件 sigmaplot 12.5 作图,SPSS 22 对试验数据进行 t 检验。

2 结果与分析

2.1 2 个品系褶皱臂尾轮虫种群动态变化

由图 1 和图 2 可知,2 个品系褶皱臂尾轮虫在不同浓度下,种群增长率均随时间延长呈先快速增长后缓慢下降的趋势。单因素方差分析表明,6 d 之前,BM 品系处理 6 的种群增长率低于处理 4,且显著低于处理 5 的种群增长率($P < 0.05$,差异显著性分析未列出,下同);13 d 后,处理 6 的种群增长率才超过处理 5。8 d 以前,SY 品系处理 6 的种群增长率低于处理 5,10 d 后,处理 6 的种群增长率才超过处理 5。除了处理 6 的食物浓度下,BM 和 SY 品系的种群增长率差异不显著外($P > 0.05$),其他食物浓度下 SY 品系的种群增长率显著高于 SM 品系。

2.2 2 个品系褶皱臂尾轮虫种群数量变化

图 3 和图 4 为 2 个品系轮虫在不同浓度下的种群动态变化。在 5 mL 容量的孔板中,2 个品系轮虫的种群变化在不同浓度下均先增长后下降。在不同食物浓度下,褶皱臂尾轮虫所到达种群高峰所需要的时间不一样,BM 品系到达峰值所需时间随食物浓度的升高先减少后增加,处理 4 所需时间最短,只需 11 d。各食物浓度下,SY 品系到达峰值所需时间差不多。2 个品系种群增长率的最高值均出现在处理 5。单因素方差分析表明,6~13 d BM 品系处理 5 的种群数量要显著高于其他浓度,到 14 d 后处理 6 的种群数量才超过处理 5,与处理 5 的种群数量差异不显著。SY 品系在 3~10 d 时,处理 5 的种群数量要高于其他浓度的种群数量,与处理 6 不显著;11 d 后,处理 6 要显著高于其他浓度。

2.3 2 个品系褶皱臂尾轮虫生活史特征的变化

由表 1 可知,在 20°C 时,BM 品系的生殖前期随食物浓度的升高呈缩短的趋势,在 5 mL 容量的孔

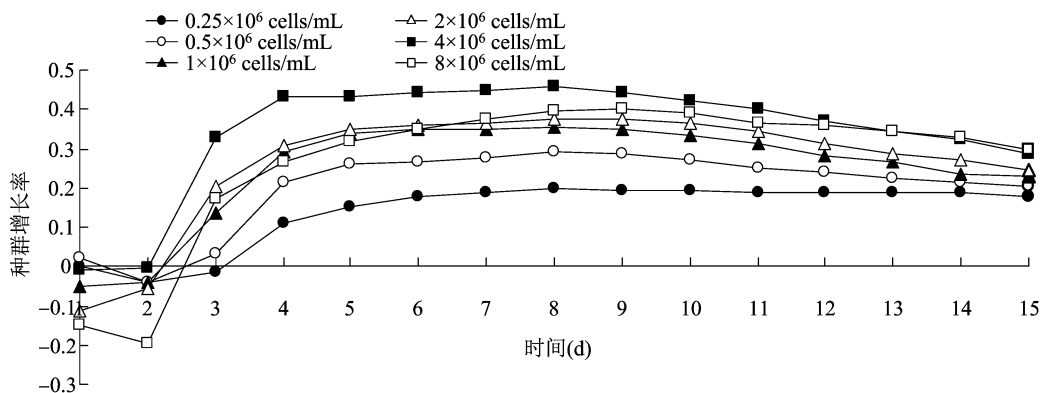


图1 BM 品系轮虫在不同食物浓度下的种群增长率(20 °C)

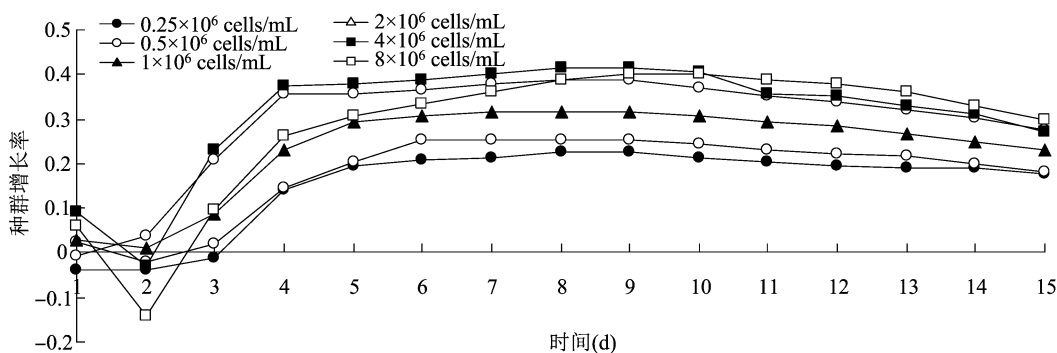


图2 SY 品系轮虫在不同食物浓度下的种群增长率(20 °C)

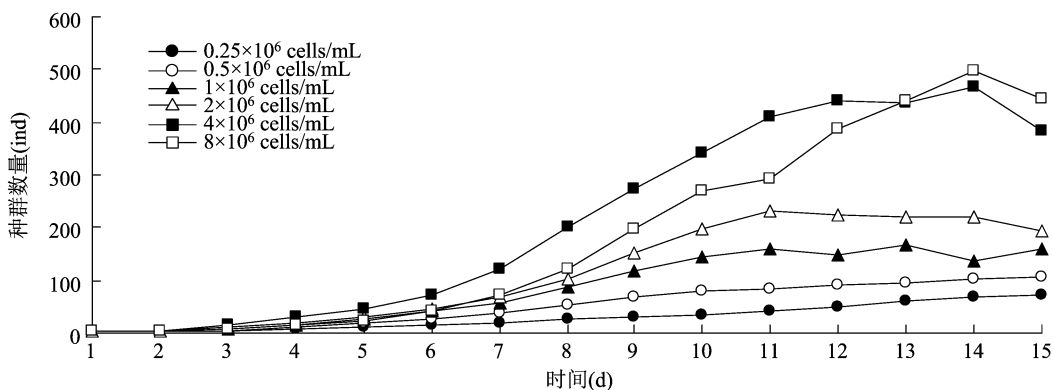


图3 BM 品系轮虫在不同浓度下的种群数量变化(20 °C)

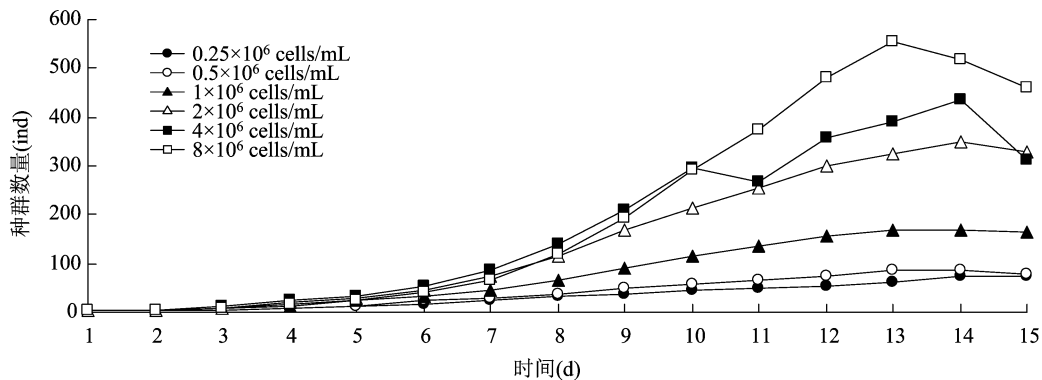


图4 SY 品系轮虫在不同浓度下的种群数量变化

板中,处理 1、处理 2、处理 3 之间没有显著差异,处理 5 和处理 6 之间差异显著。SY 品系的生殖前期随食物浓度的升高呈波浪变化,总体呈缩短趋势,2 个品系都是处理 1 所需的生殖前期最长,BM 品系在处理 6 所需生殖前期最短,而 SY 品系生殖前期最短所需浓度为处理 5。BM 品系的总子代数随食物浓度的升高呈上升的趋势,SY 品系的总子代数呈先下降后上升的趋势。2 个品系分别在处理 5 和处理 6 时

的总子代数最多,BM 品系在 0.25×10^6 个/mL 时总子代数最少,而 SY 品系子代数最少时所需浓度为 1×10^6 cells/mL。BM 品系轮虫的寿命随食物浓度的升高先延长后缩短,在处理 5 处寿命最长;SY 品系寿命不断延长,在处理 5 和处理 6 处寿命最长。在中低浓度时(处理 1、处理 2、处理 3 和处理 4),SY 品系的寿命要低于 BM 品系,在高浓度时(处理 5、处理 6)SY 品系的寿命要高于 BM 品系。

表 1 2 个品系褶皱臂尾轮虫的生活史特征(20 ℃)

食物浓度 ($\times 10^6$ 个/mL)	品系	生殖前期 (h)	总子代数 (个)	寿命 (h)
0.25	BM	58.00 \pm 0.89a *	9.67 \pm 2.16a **	264 \pm 22.98d *
	SY	55.30 \pm 1.03A **	12.83 \pm 2.04BCD *	246 \pm 18.00D *
0.5	BM	54.83 \pm 1.72a *	12.17 \pm 1.72b *	288 \pm 15.49c *
	SY	51.17 \pm 5.94AB *	12.00 \pm 2.90CD *	258 \pm 15.10CD **
1	BM	54.17 \pm 2.93ab *	14.17 \pm 2.40b *	304 \pm 16.49c *
	SY	54.17 \pm 3.25AB *	11.17 \pm 2.04D **	280 \pm 16.49C **
2	BM	49.17 \pm 2.04bc *	18.17 \pm 2.93c *	354 \pm 11.49ab *
	SY	51.00 \pm 2.45AB *	14.50 \pm 1.87BC **	322 \pm 21.26B **
4	BM	50.33 \pm 3.01b *	23.50 \pm 2.07cd *	364 \pm 20.40a *
	SY	50.00 \pm 5.29B *	15.00 \pm 1.79B **	388 \pm 21.54A *
8	BM	45.83 \pm 6.88c *	21.17 \pm 2.25d *	332 \pm 20.40b *
	SY	52.33 \pm 3.61AB *	20.33 \pm 2.48A *	388 \pm 17.89A **

注:不同小写字母表示 BM 品系不同浓度间差异显著;不同大写字母表示 SY 品系不同浓度之间的差异性;* 表示 2 个品系轮虫之间的差异性。

3 讨论与结论

3.1 BM 品系和 SY 品系种群增长率和种群数量的变化

已有多数研究显示,食物浓度、品系和温度等因素都对萼花臂尾轮虫、壶状臂尾轮虫有显著影响。席貽龙等对壶状臂尾轮虫的研究说明了高温会对壶状臂尾轮虫的发育产生负面影响,缩短轮虫寿命^[8]。本研究发现,在不同食物浓度下,2 种轮虫的种群增长率均呈先快速增长后缓慢下降的趋势,种群变化也是先增长后下降,这与耿红等在红臂尾轮虫的研究所得的结果^[9]一致。胡好远等对不同品系的角突臂尾轮虫进行了研究,发现不同品系角突臂尾轮虫之间的生活史特征存在着显著差异^[10]。本试验通过研究 2 种国内外的轮虫,发现 2 种轮虫的种群增长率并没有显著差异,这与之前的研究有所不同。BM 品系在处理 6 浓度处,13 d 后的种群增长率要大于处理 5,这有可能是因为 BM 品系在 13 d 前,处理 5 的浓度最适合 BM 品系生长;到了

13 d 后,由于种群密度变大,处理 6 更能适合高密度 BM 品系的生长。而在 SY 品系中,10 d 前处理 5 的种群增长率要高于处理 6,说明在初期高食物浓度对 SY 品系轮虫产生了抑制作用;10 d 后,处理 6 处的种群增长率才开始慢慢超过处理 5。2 种品系在前期都受到高食物浓度的抑制,从 2 个品系种群变化可以看出,SY 品系在前期高浓度处理的种群数量要高于其他浓度,BM 品系在前期其他浓度处理的种群数量要低于处理 5,说明了高食物浓度对 BM 品系的抑制要大于 SY 品系。姚久祥等认为,在前期低浓度会促进轮虫的生长,食物浓度过高,会产生毒素,抑制轮虫生长^[11],本研 究所得到的结论与之基本一致。

3.2 BM 品系和 SY 品系生殖前期、总子代数和寿命的比较

BM 品系的生殖前期随食物浓度的升高而缩短,食物浓度低于处理 4 时,生殖前期没有显著差异,这与席貽龙等在壶状臂尾轮虫所得到的食物浓度低于 1.5×10^6 cells/mL 对轮虫的生殖前期无显

著影响的结论^[8]相一致;SY 品系虽然也是呈缩短的趋势,但是变化并没有 BM 品系那么大,只有处理 1 与处理 5 的生殖前期存在显著差异,其他浓度并无显著差异。

SY 的子代数随浓度的升高呈上升的趋势;BM 的总子代数随浓度的升高先上升后下降,在处理 5 处达到了最多,这说明 BM 的最适生长浓度有可能在处理 5 处,SY 品系要比 BM 品系更能适应高浓度。

2 个品系在处理 5 处的寿命要显著长于低浓度,SY 在处理 6 处与处理 5 处寿命相比基本保持不变,BM 品系相比明显下降,表明 BM 品系在处理 5 处的生长发育要更好,更适合 BM 生长。董丽丽等对 3 个品系的萼花臂尾轮虫进行了研究,发现平均寿命随食物浓度升高先增加后减小,在 3×10^6 cells/mL 处,平均寿命最大^[12],与本研究 BM 品系褶皱臂尾轮虫所得到的结论相一致。但与 SY 品系的结论有所差别,有可能由于不同地理差异所产生的不同的影响。BM 品系和 SY 品系在生活史特征上有诸多异同,说明地理位置对褶皱臂尾轮虫的生活史有一定影响,这与吕林兰等所得到的不同品系萼花臂尾轮虫的发育和种群增长存在显著差异^[13]相一致。

BM 品系在处理 6 处的生殖前期和寿命要比处理 5 处短,子代数要少于处理 5;SY 品系在处理 6 处的生殖前期要比处理 5 长,BM 品系种群数量最高值出现在处理 5。综合本研究可知,在 20 ℃ 下,国内 SY 品系要比美国 BM 品系对高浓度海水小球藻的耐受性强,在低于处理 5 的食物浓度下,BM 品系适合大规模培养,高于处理 5 浓度时,SY 品系更适合大规模培养。本研究只对海水小球藻不同浓度进行了试验,李磊等研究了不同的微藻对褶皱臂尾轮虫的影响,认为轮虫的摄食率与饵料类型有关^[14]。有人认为,轮虫依靠纤毛滤食,所以食物细胞的大小和密度影响轮虫的摄食情况^[15]。也有研究说明,由于藻类细胞大小不一,通过几种藻类的换用能够更好地促进轮虫的生长^[16]。轮虫食物浓度低,繁殖率降低,寿命缩短,这与 Yoshinaga 等得到的结论^[17]相一致。

参考文献:

[1] 葛雅丽,席貽龙,陈芳,等. 食物浓度和品系对萼花臂尾轮虫生

殖期历时和混交雌体形成的影响[J]. 生态学报,2005,25(8): 3-9.

[2] Pérez - legaspi I A, Rico - martínez R. Effect of temperature and food concentration in two species of littoral rotifers [J]. Hydrobiologia, 1998,387/388:341-348.

[3] 冯拉克,席貽龙. 三个地理品系萼花臂尾轮虫生活史特征的比较[J]. 动物学杂志,2004,39(1):12-15.

[4] Xiang X, Xi Y, Wen X, et al. Patterns and processes in the genetic differentiation of the *Brachionus calyciflorus* complex, a passively dispersing freshwater zooplankton [J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2011,59(2):386-398.

[5] Rehberg - Haas S, Meyer S, Lippemeier S, et al. A comparison among different *Pavlova* sp. products for cultivation of *Brachionus plicatilis* [J]. Aquaculture, 2015,435:424-430.

[6] Cheng S H, Ka S, Kumar R, et al. Effects of salinity, food level, and the presence of microcrustacean zooplankters on the population dynamics of rotifer *Brachionus rotundiformis* [J]. Hydrobiologia, 2011,666(1):289-299.

[7] 冯大庆. 人工海水的简易制法[J]. 生物学通报,1986(10):37-39.

[8] 席貽龙,黄祥飞. 温度对壶状臂尾轮虫实验种群动态的影响[J]. 海洋与湖沼,2000,31(1):23-28.

[9] 耿红,席貽龙,胡好远. 食物种类和浓度对红臂尾轮虫种群增长、个体大小及卵大小的影响[J]. 应用生态学报,2003,14(5):753-756.

[10] 胡好远,席貽龙,耿红. 三个品系角突臂尾轮虫生长和发育的比较研究[J]. 应用生态学报,2003,14(4):565-568.

[11] 姚久祥,彭敏. 藻类食物对轮虫群体增殖的影响[J]. 广西水产科技,2001(4):21-25.

[12] 董丽丽,席貽龙,刘桂云,等. 温度和食物浓度对三品系萼花臂尾轮虫实验种群动态的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(11):2165-2169.

[13] 吕林兰,董学兴,董斯明,等. 两品系萼花臂尾轮虫的生活史特征和受精率研究[J]. 大连海洋大学学报,2012,27(5):401-410.

[14] 李磊,朱小明,吴洪喜. 营养强化时褶皱臂尾轮虫对饵料微藻的摄食[J]. 生态学杂志,2011(9):2019-2025.

[15] Rothhaupt K O. Differences in particle size - dependent feeding efficiencies of closely related rotifer species [J]. Limnology and Oceanography, 1990,35(1):16-23.

[16] Viayeh R M, Mohammadi H, Shafiei A B. Population growth of six Iranian *Brachionus rotifer* strains in response to salinity and food type [J]. Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 2010,95(6):461-470.

[17] Yoshinaga T, Hagiwara A, Tsukamoto K. Life history response and age - specific tolerance to starvation in *Brachionus plicatilis* of Muller (Rotifera) [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2003,287(2):261-271.