

食物种类和浓度对壶状臂尾轮虫实验 种群动态的影响^{*}

席贻龙 黄祥飞

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

摘要 使用浓度为0.3mg/mL的椭圆小球藻、尖细栅藻和两者以1:1(湿重比)组成的混合藻在 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 下对壶状臂尾轮虫进行单个体培养研究。结果表明,虽然三类食物对轮虫的胚胎发育时间和平均寿命无显著影响,但投喂小球藻时轮虫的生殖前期明显比投喂栅藻或混合藻时短,投喂小球藻时轮虫的生殖期明显比投喂栅藻时长;轮虫的生殖后期历时以栅藻组最长,混合藻组次之,小球藻组最短,三者间具显著差异。轮虫的繁殖率、产卵量和种群内禀增长率均以小球藻组最高,混合藻组次之,栅藻组最低。由此可见,小球藻是该种轮虫培养的最适饵料。

以浓度为 $0.375, 0.75, 1.5, 3.0$ 和 5.0×10^6 cells/mL的椭圆小球藻为食物在 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 下对壶状臂尾轮虫进行单个体培养研究发现, 0.75×10^6 cells/mL是其生存和繁殖的最低浓度阈值;食物浓度对轮虫的胚胎发育时间和生殖后期历时无显著影响;食物浓度为 1.5×10^6 cells/mL和 3.0×10^6 cells/mL时,轮虫各主要发育阶段的历时和产卵量间也无显著差异;食物浓度高于 3.0×10^6 cells/mL或低于 1.5×10^6 cells/mL对轮虫的生殖前期无显著影响,但使轮虫的平均寿命和产卵量显著减小;食物浓度高于 3.0×10^6 cells/mL时,轮虫的生殖期显著缩短。轮虫种群的繁殖率、净生殖率和内禀增长率皆以 3.0×10^6 cells/mL组最高, 1.5×10^6 cells/mL组次之, 0.75×10^6 cells/mL和 5.0×10^6 cells/mL组较低。因此,轮虫种群增长的适宜食物浓度范围为 $1.5-3.0 \times 10^6$ cells/mL,最适食物浓度是 3.0×10^6 cells/mL。

关键词 壶状臂尾轮虫, 椭圆小球藻, 尖细栅藻, 种群动态, 食物种类, 食物浓度

壶状臂尾轮虫(*Brachionus urceolaris* Müller)是淡水轮虫中最常见的、体型较大的种类之一,分布很广,具有潜在的开发、利用价值。迄今为止,有关其种群动态方面,国内外研究极少。为此,作者对该种轮虫的实验种群动态的研究结果作一报道,供有关方面参考。

1 材料和方法

1.1 轮虫的来源和培养 实验用壶状臂尾轮虫由武汉东湖水体沉积物中的休眠卵孵化获得,并于 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、自然光照下进行“克隆”培养,培养液采用Gilbert的配方(pH7.3)^[14],所用饵料为HB-4培养基培养的、处于指数增长期的椭圆小球藻(*Chlorella ellipsoidea*

^{*} 中国科学院九五重大项目(编号:KZ95-1-A1-102-01)资助课题

Gern.)。培养时间在 2 个月以上,以轮虫所产休眠卵保种。

1.2 不同食物种类的培养实验

1.2.1 预培养 依食物种类的不同共设三组,分别为椭圆小球藻组、尖细栅藻(*Scenedesmus acuminatus* Chod.)组和两者以 1:1(湿重比)组成的混合藻组。预培养时,用轮虫培养基将各组食物的浓度调至 0.3mg/mL(约相当于 2.0×10^6 cells/mL 小球藻或 1.5×10^6 cells/mL 栅藻)。然后将轮虫置于各培养液中,在 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 下预培养 48h 以上,光照条件与上述相同。

1.2.2 单个培养实验 将携卵的非混交雌体单个培养于特制玻璃片的凹穴中,培养物体积为 0.5mL。实验时也设三组,各组的情况和培养条件与预培养时相同;每组 12 个重复。每间隔 2h 于解剖镜下检查卵的孵化情况,以刚孵化的幼体开始实验。实验时,每间隔 4—8h 检查、记录轮虫的产卵数、孵化出的幼体数及母体的存活数,并移去幼体;每间隔 24h 更换一次培养液。实验至全部个体死亡为止。

1.3 不同浓度小球藻的培养实验 实验共设五个浓度梯度,分别为 0.375、0.75、1.5、3.0 和 5.0×10^6 cells/mL。实验于 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、自然光照下进行单个体培养研究。实验前在同样条件下预培养一周以上。实验的方法与 1.2.2 的相同。

1.4 研究的参数和计算方法

1.4.1 各主要发育阶段的历时:

- (1) 胚胎发育时间:即卵的发育时间,指从卵的产出到幼体孵出所经历的时间;
- (2) 生殖前期:又称幼体阶段,指从幼体孵出到其产出第一枚卵所经历的时间;
- (3) 生殖期:指从第一枚卵产出到最后一枚卵产出所经历的时间;
- (4) 生殖后期:又称衰老期,指从轮虫产出最后一枚卵到其死亡所经历的时间;
- (5) 平均寿命:为生殖前期、生殖期和生殖后期之和。

以上各发育阶段的历时以及轮虫的平均寿命和其一生中的产卵量皆参照 Walz^[15]、Korstad^[6]和 Schmid-Araya^[7]等的方法,按实际观察值平均求得。

1.4.2 生命表参数的定义和计算方法与 Birch^[11]的相同:

- (1) 特定年龄存活率(I_x):X 年龄组开始时存活个体的百分数;
- (2) 特定年龄繁殖率(m_x):X 年龄组平均每个个体所产的雌性后代数;
- (3) 净生殖率(R_0):种群经过一个世代后的净增长率;
- (4) 内禀增长率(r_m):种群在特定实验条件下的最大增长率;
- (5) 周限增长率(λ):一段时间内种群的增长倍数;

r_m 的精确值是在粗略计算的基础上,根据方程 $\sum_{x=0}^{\infty} I_x m_x e^{-rx} = 1$,通过设置的程序用试算法在计算机中运算求得。

2 结果

2.1 食物种类对轮虫种群动态的影响

以三种类型的食物培养壶状臂尾轮虫的结果表明,食物类型的不同对该种轮虫的胚胎发育时间和平均寿命无显著影响($P > 0.05$)。小球藻组轮虫的生殖前期显著短于栅藻

组和混合藻组,小球藻组轮虫的生殖期显著长于栅藻组 ($P < 0.05$); 轮虫的生殖后期以栅藻组最长,混合藻组次之,小球藻组最短,三组间具有显著差异 ($P < 0.05$); 三组间轮虫的产卵量具极显著差异 ($P < 0.001$)。其中,小球藻组的产卵量最大,是其它各组的两倍多,栅藻组的产卵量最低(表 1)。

表1 不同藻类培养时壶状臂尾轮虫各主要发育阶段的历时(小时)和产卵量(个)
Tab.1 Duration(h) of principal developmental stages and number of eggs(ind.) of *Burceolaris* fed on different algae

项目 Item	椭圆小球藻 <i>C.ellipsoidea</i>	尖细栅藻 <i>S.acuminatus</i>	混合藻 Mixed algae
胚胎发育 (De) (Embryonic development)	16.2083±2.7258	17.8333±3.6546	17.3333±3.1140
生殖前期 (Dj) (Pre-reproductive period)	43.5000±3.0896	53.1667±7.2915	50.8750±11.5847
生殖期 (Dr) (Productive period)	128.3333±61.1902	69.0833±35.6127	89.4167±75.4121
生殖后期 (Dp) (Post-productive period)	27.4167±17.9163	56.5833±42.6667	28.7500±12.5562
平均寿命 (L) (Mean lifespan)	199.2500±53.5539	178.9167±43.0928	169.0417±83.0259
产卵量 (Ne) (Number of eggs)	15.5833±6.7751	4.4167±2.6097	6.4167±4.5619

2.1.1 轮虫的存活率和繁殖率

在三种类型的食物培养下,轮虫的存活率和繁殖率如图 1 所示。各类食物中,轮虫的存活率开始下降的时间不同。小球藻组在 124h,而栅藻组和混合藻组分别在 140h 和 84h。存活时间以混合藻组最长,达 324h; 栅藻组最短,仅 292h。轮虫的繁殖率以小球藻组最高,其中平均每个雌体所产幼体数在 2.0 以上的天数占繁殖时间的 63.64%,在 1.0—2.0 之间的天数占 27.27%; 混合藻组轮虫的繁殖率依次为 18.18% 和 54.55%; 栅藻组轮虫的繁殖率最低,始终在 1.1 以下。

2.1.2 轮虫的主要种群增长参数

以三种类型的食物培养时,轮虫种群 r_m 、 λ 、 R_0 和 T 值列于表 2。由表中可见,椭圆小球藻组轮虫的 r_m 和 R_0 最大,其次为混合藻组,栅藻组的最小。

表2 不同藻类培养时轮虫的种群增长参数
Tab.2 Parameters of population growth of *Burceolaris* fed on different algae

食物种类 Food species	$r_m(h^{-1})$	$\lambda(h^{-1})$	$R_0(ind.)$	T (h)
椭圆小球藻 <i>C.ellipsoidea</i>	0.02489	1.0252	15.5498	110.2470
尖细栅藻 <i>S.acuminatus</i>	0.01343	1.0135	4.4258	110.7556
混合藻 Mixed algae	0.01748	1.0176	6.0019	102.5213

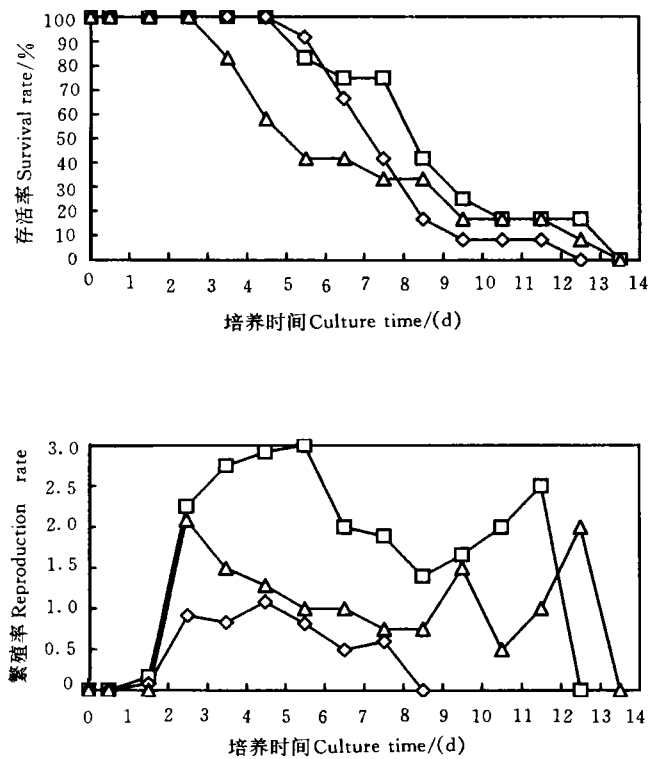


图1 不同藻类培养时壶状臂尾轮虫的存活率和繁殖率

Fig.1 The reproduction and survival rate of populations of *Burceolaris* fed on different algae

□ 小球藻 ◇ 栅藻 △ 混合藻

2.2 小球藻浓度对轮虫种群动态的影响

预培养结果表明,壶状臂尾轮虫在小球藻浓度为 0.375×10^6 cells/mL 的培养液中生存时间较短且不能繁殖,可以认为, 0.75×10^6 cells/mL 是该轮虫存活和繁殖的最低浓度阈值。

2.2.1 轮虫各主要发育阶段的历时和产卵量

以不同浓度的小球藻培养时,轮虫的胚胎发育时间和生殖后期历时无显著差异 ($P >$

表3 不同浓度食物培养时壶状臂尾轮虫各主要发育阶段的历时(小时)和产卵量(个)

Tab.3 Duration (h) of principal developmental stages and number of eggs (ind.) of *Burceolaris* at different food concentrations

食物浓度 (cells/mL)	0.75×10^6	1.5×10^6	3.0×10^6	5.0×10^6
胚胎发育 (De)	17.3333 ± 6.2823	19.22727 ± 3.8625	19.5455 ± 3.8174	14.5865 ± 8.0293
生殖前期 (Dj)	70.2857 ± 8.6740	57.2273 ± 18.5989	45.4583 ± 4.6243	56.0000 ± 5.9084
生殖期 (Dr)	88.7143 ± 35.1490	179.2273 ± 63.0370	198.2273 ± 36.1548	88.2500 ± 49.5619
生殖后期 (Dp)	31.8571 ± 29.7163	36.2273 ± 13.4227	44.3636 ± 27.4181	26.9583 ± 19.4778
平均寿命 (L)	142.0833 ± 122.0869	261.625 ± 81.1225	288.7273 ± 57.3892	162.0000 ± 44.9727
产卵量 (Ne)	9.7143 ± 9.2685	16.7273 ± 6.8278	21.3636 ± 5.6084	8.1667 ± 4.9144

0.05); 食物浓度为 $1.5 \times 10^6\text{cells/mL}$ 和 $3.0 \times 10^6\text{cells/mL}$ 时, 轮虫各主要发育阶段的历时和产卵量间也无显著差异 ($P > 0.05$)。食物浓度高于 $3.0 \times 10^6\text{cells/mL}$ 或低于 $1.5 \times 10^6\text{cells/mL}$ 对轮虫的生殖前期无显著影响 ($P > 0.05$), 但使轮虫的平均寿命和产卵量显著减小 ($P < 0.05$); 食物浓度高于 $3.0 \times 10^6\text{cells/mL}$ 时, 轮虫的生殖前期显著缩短 ($P < 0.05$), 但低于 $1.5 \times 10^6\text{cells/mL}$ 时则无显著影响 ($P > 0.05$) (表 3)。

2.2.2 轮虫的存活率和繁殖率

图 2 所示不同浓度小球藻培养时轮虫的存活率和繁殖率。不同食物浓度下, 轮虫存活率开始下降的时间有所不同。 $3.0 \times 10^6\text{cells/mL}$ 组在第 144h, 1.5 和 $5.0 \times 10^6\text{cells/mL}$ 组皆在第 96h, $0.75 \times 10^6\text{cells/mL}$ 组在第 48h。轮虫的存活时间以 $5.0 \times 10^6\text{cells/mL}$ 组最短, 仅 240h; 其它各组皆是 336h。轮虫的繁殖率以 $3.0 \times 10^6\text{cells/mL}$ 组最高, 其中平均每个雌体所产幼体数在 2.0 以上的天数占繁殖时间的 54.55%, 在 1.0—2.0 之间的天数占 36.36%。 $5.0 \times 10^6\text{cells/mL}$ 组的繁殖率最低, 始终在 1.75 以下。

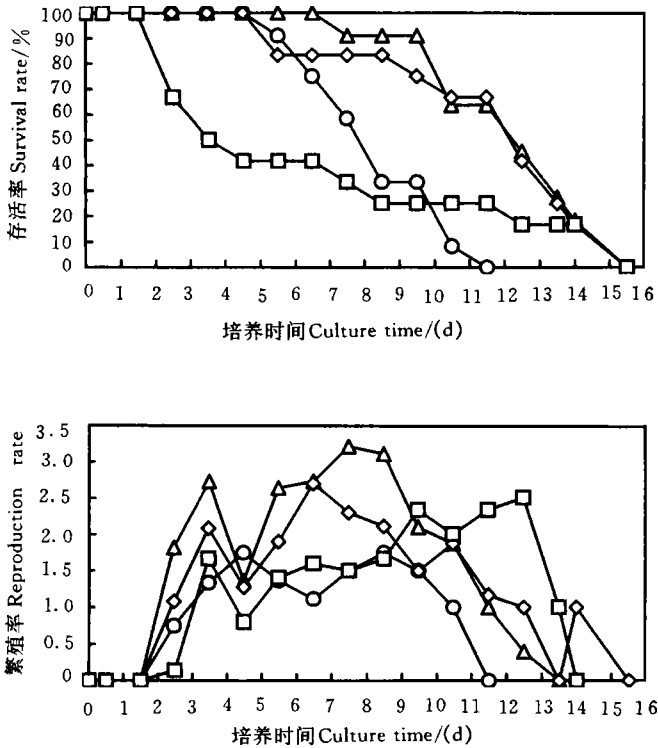


图2 不同食物浓度下壶状臂尾轮虫种群的存活率和繁殖率

Fig.2 The reproduction and survival rate of population of *Burceolaris* at different food concentrations

□ 0.75×10^6 ◇ 1.5×10^6 △ 3.0×10^6 ○ 5.0×10^6

2.2.3 轮虫的主要种群增长参数

不同食物浓度下, 轮虫的种群增长参数见表 4。由表中可见, $3.0 \times 10^6\text{cells/mL}$ 组轮虫种群的内禀增长率最大, 其次是 $1.5 \times 10^6\text{cells/mL}$ 组, $0.75 \times 10^6\text{cells/mL}$ 组最低。

表4 不同食物浓度下壶状臂尾轮虫的种群增长参数
Tab.4 Parameters of population growth of *Burceolaris* at different food concentrations

食物浓度 (cells/mL)	r_m (h ⁻¹)	λ (h ⁻¹)	R_0 (ind.)	T(d)
0.75×10^6	0.0108	1.0109	5.6789	6.6773
1.5×10^6	0.0217	1.0219	15.6843	5.2936
3.0×10^6	0.0255	1.0258	20.9206	4.9762
5.0×10^6	0.0182	1.0184	7.9528	4.7400

3 讨论

3.1 食物种类和浓度对轮虫发育的影响

有关食物类型对轮虫各主要发育阶段历时等影响的研究,已有一些报道,但结果颇不一致。Pourriot、King 和黄祥飞等研究发现,食物类型对轮虫的胚胎发育无显著影响^[1, 2, 16, 17]。而 Ruttner-kolisko、Yufera 和 Korstad 等的研究表明,不适宜于轮虫种群增长的藻类使轮虫的胚胎发育时间延长,生殖期缩短^[3-7]。本研究结果表明,与椭圆小球藻相比,尖细栅藻对轮虫的胚胎发育时间无显著影响,但使轮虫的生殖期明显缩短。

至于食物浓度对轮虫各主要发育阶段的影响, Schmid-Araya等研究发现,低浓度的食物使中吻轮虫 (*Encentrum linnhei*) 的胚胎发育时间延长,但对褶皱臂尾轮虫 (*B.plicatilis* Müller) 的胚胎发育无显著影响,对这两种轮虫的幼体阶段和生殖期长度也无显著影响^[7]。而 King 和 Pilarska 等的研究表明,低浓度的食物使大肚须足轮虫 (*Euchlanus dilatata* Ehrb) 和红臂尾轮虫 (*B.rubens* Ehrb) 的幼体阶段延长,生殖期缩短^[8, 16]。高浓度或低浓度的食物使萼花臂尾轮虫 (*B.calyciflorus* Pallas) 的寿命缩短^[9]。本研究结果显示,食物浓度对壶状臂尾轮虫的胚胎发育时间无显著影响,高浓度或低浓度的食物对轮虫的生殖前期(幼体阶段)也无显著影响,但使轮虫的平均寿命显著缩短;高浓度的食物还使轮虫的生殖期显著缩短。看来,食物浓度对轮虫各主要发育阶段历时的影响,可能存在着种间差异。

3.2 食物种类和浓度对轮虫繁殖的影响

轮虫的繁殖率受食物类型(质量)和浓度(数量)的影响^[11]。Korstad 等研究发现,食物的可得性影响褶皱臂尾轮虫的繁殖率^[6]。本研究结果表明,以尖细栅藻为食物时,壶状臂尾轮虫的繁殖率显著下降。实验过程中作者也注意到,轮虫每 24h 对尖细栅藻的摄食量显著低于椭圆小球藻,同时鉴于其细胞的大小和形状,作者认为,对于壶状臂尾轮虫而言,尖细栅藻的可得性较差。Schmid-Araya还证实,高浓度或低浓度的食物使中吻轮虫和褶皱臂尾轮虫的繁殖率显著下降^[7]。本研究结果与其一致。

3.3 食物种类和浓度影响轮虫发育和繁殖的原因

有关食物种类影响轮虫主要发育阶段的历时和产卵量的原因,Dumont 认为,由于轮虫的头冠型式和咀嚼器的结构,轮虫对食物具有选择性。食物的种类、形状、个体大小及营养成分的差异皆影响轮虫的生殖前期、生殖期和生殖后期的长短及轮虫的产卵量^[10]。Galindo 还指出,轮虫的最大生殖潜力的实现程度受环境因子的影响。由于绝大部分浮游性轮虫都是滤食性种类,他们通过头冠纤毛的运动激起水流来收集食物,因此食物的可得性和丰度

是轮虫实现其生殖潜力的首要条件^[12]。食物浓度过低时, 轮虫的摄食不能满足其生殖所需的能量; 过高时, 则使轮虫的摄食率下降^[13]。

3.4 特定条件下壶状臂尾轮虫培养的最适食物种类和浓度

本研究结果表明, 在 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 下, 以椭圆小球藻为食物时, 壶状臂尾轮虫的种群增长明显优于以尖细栅藻为食物时, 因此在所研究的三类食物中, 椭圆小球藻是壶状臂尾轮虫最适宜的藻类食物。

在 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 下, 以 $3.0 \times 10^6 \text{ cells/mL}$ 椭圆小球藻培养时, 壶状臂尾轮虫种群的内禀增长率最大, 因此该浓度是轮虫培养的最适食物浓度。同时, 鉴于以 $1.5 \times 10^6 \text{ cells/mL}$ 椭圆小球藻培养时轮虫的主要发育阶段历时和产卵量皆与 $3.0 \times 10^6 \text{ cells/mL}$ 培养时无显著差异, 因此作者认为, $1.5\text{—}3.0 \times 10^6 \text{ cells/mL}$ 是壶状臂尾轮虫种群增长的适宜浓度范围。

参 考 文 献

- [1] Pourriot R, et al. Recherches sur la biologie des rotifères. II. Influence de la température sur la durée du développement embryonnaire et post-embryonnaire. *Annls. Limnol.* 1971, 7:25—52
- [2] Pourriot R, et al. Dynamique d'une population expérimentale de *Brachionus dimidiatus* (Bryce) en fonction de la nourriture et de la température. *annls. limnol.* 1975, 11:125—143
- [3] Ruttner-Kolisko A. Der Einfluss von Quantität und Qualität des Futters auf Lebensparameter, Klonwachstum und Körpermasse einiger planktischer Rotatorienarten. *Jber. Biol. Stn. Lunz.* 1984, 7:181—191
- [4] Yufera M, et al. Influencia de la dieta sobre la puesta del rotífero *Brachionus plicatilis* en cultivo. *Inv. Pesq.* 1984, 48:549—556
- [5] Yufera M. Effect of algae diet and temperature on the embryonic development time of the rotifer *Brachionus plicatilis* in culture. *Hydrobiologia*, 1987, 147:319—322
- [6] Korstad J, et al. Life history of *Brachionus plicatilis* (Rotifera) fed different algae. *Hydrobiologia*, 1989, 186/187:43—50
- [7] Schmid-Araya J. et al. The effect of food concentration on the life histories of *Brachionus plicatilis* (O.F.M.) and *Encentrum linnhei* Scott. *Arch. Hydrobiol.* 1991, 121:87—102
- [8] Pilarska J. Eco-physiological studies on *Brachionus rubens* Ehrbg. (Rotatoria). *Pol. Arch. Hydrobiol.* 1977, 24:319—354
- [9] Halbach U, et al. Quantitative Beziehungen zwischen phytoplankton und der Population dynamik des Rotators *Brachionus calyciflorus* Pallas. Befunde aus Labortoriumsexperimenten und Freilanduntersuchungen. *Arch. Hydrobiol.* 1974, 73:273—309
- [10] Dumont H J. Biotic factors in the population dynamics of rotifers. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.*, 1977, 8:98—122
- [11] Awais A, et al. An investigation into the mass production of the freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas. 2. Influence of temperature on the population dynamics. *Aquaculture*, 1992, 105:337—344
- [12] Galindo M D. The reproductive biology of mictic females in *Brachionus calyciflorus* Pallas. *J. Plankt. Res.*, 1993, 15:803—808
- [13] Starkweather P L. Behavioral determinants of diet quantity and diet quality in *Brachionus calyciflorus*. In: King W C., ed, Evolution and ecology of zooplankton communities. New Hampshire: University Press of New England, 1980, 151—157
- [14] Walz N. Individual culture and experimental population dynamics of *Keratella cochlearis* (Rotatoria). *Hydrobiologia*, 1983, 107:35—45
- [15] Birch L C. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.* 1948, 17(1):15—26

- [16] King C. Food, age and the dynamics of a laboratory population of rotifers. *Ecology*, 1967, **48**:111—128
- [17] 黄祥飞。温度对萼花臂尾轮虫卵的发育、种群增长和生产量的影响。水生生物学报, 1985, **9**(3): .232—240

EFFECT OF FOOD SUPPLY IN BOTH FOOD QUALITY AND QUANTITY ON THE POPULATION DYNAMICS OF *BRACHIONUS URCEOLARIS*

Xi Yilong and Huang Xiangfei

(Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

Abstract The effect of food quality on the population dynamics of *B. urceolaris* was studied at temperature of $26 \pm 1^\circ\text{C}$ and food concentration of 0.3mg/ml. Rotifers were cultured individually and fed on *Chlorella ellipsoidea*, *Scenedesmus acuminatus* or a 1:1 mixture (wet weighty) of these two algae. There were no significant differences in embryonic developmental times and mean lifespans with the type of diet. Rotifers fed on *C. ellipsoidea* had the shortest pre-reproductive and postreproductive periods, the longest reproductive periods, the highest reproductive rate, and the increasing number of eggs and intrinsic rate of population. Among the three types of diet, *C.ellipsoidea* was the best for the growth of *B. urceolaris* population.

The effect of food quantity on the population dynamics of *B. urceolaris* was also studied in replicated individual cultures at temperature of $23 \pm 1^\circ\text{C}$ and at five concentrations (0.375, 0.75, 1.5, 3.0 and 5.0×10^6 cells/mL) of *C. ellipsoidea*. The lowest food concentration at which the rotifer survived and reproduced was 0.75×10^6 cells/mL. There were no significant differences in embryonic developmental times and post-reproductive periods at different food concentrations, nor were the duration of principal developmental stages and the number of eggs at the food concentrations of 1.5×10^6 cells/mL and 3.0×10^6 cells/mL. The rotifers had shorter mean lifespans and produced fewer eggs when fed with the algae concentration of above 3.0×10^6 cells/mL or below 1.5×10^6 cells/mL; At the food concentration of above 3.0×10^6 cells/mL, the rotifers had shorter reproductive periods. The rotifers fed on the algae at the concentration of 3.0×10^6 cells/mL had the highest reproductive rate. Net reproductive rate and intrinsic rate of population increased among all the food concentration. The population growth of the rotifer was better at the food concentration from 1.5×10^6 cells/mL to 3.0×10^6 cells/mL, and 3.0×10^6 cells/mL was the best food concentration.

Key words *Brachionus urceolaris*, *Chlorella ellipsoidea*, *Scenedesmus acuminatus*
Population dynamics, Food species, Food concentration.