

## 不同地理区域湖泊中萼花臂尾轮虫的生活史特征\*

胡柯, 席贻龙\*\*, 王金霞

(安徽师范大学生命科学学院, 安徽省高校生物环境与生态安全省级重点实验室, 芜湖 241000)

**摘要:** 以  $3.0 \times 10^6$  cells/ml 的斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*) 为食物, 应用生命表统计学等方法比较研究了于 2008 年冬季采自芜湖市汀棠湖和广州市荔湾湖的萼花臂尾轮虫 (*Brachionus calyciflorus*) 在不同温度 (10°C、15°C 和 20°C) 下的生活史特征。结果显示, 10°C 下, 芜湖种群除内禀增长率外的其他各生命表统计学参数均显著大于广州种群。15°C 下, 芜湖种群仅世代时间和后代混交率显著大于广州种群。20°C 下, 芜湖种群的世代时间和后代混交率显著大于广州种群, 而总生殖率、净生殖率和内禀增长率则相反。两地理种群轮虫出生时的生命期望、世代时间和平均寿命均随温度的升高而逐渐显著地缩短, 内禀增长率随温度的升高而逐渐显著地增大; 但缩短或增大的速率在两地理种群间存在着差异。芜湖种群的总生殖率和净生殖率不受温度的显著影响; 而广州种群的总生殖率随温度升高而逐渐显著地增大, 净生殖率在 20°C 和 15°C 下无显著差异, 但都显著高于 10°C 下。芜湖种群的后代混交率在 10°C 下显著高于 20°C 下, 但均与 15°C 间无显著性差异; 广州种群的后代混交率随温度的升高而逐渐显著地增大。两地理种群内禀增长率间的差异可能与各自对所栖息的水环境年平均温度的长期适应有关, 而后代混交率间的差异则是它们对水温季节变化长期适应的结果。

**关键词:** 萼花臂尾轮虫; 地理种群; 温度; 生活史特征; 汀棠湖; 荔湾湖

### Life history characteristics of rotifer *Brachionus calyciflorus* from two lakes situated in different geographic regions

HU Ke, XI Yilong & WANG Jinxia

(College of Life Sciences, Anhui Normal University, Provincial Key Laboratory of Biotic Environment and Ecological Safety in Anhui, Wuhu 241000, P. R. China)

**Abstract:** The characteristics of life history of rotifer *Brachionus calyciflorus* collected respectively from Lake Tingtang in Wuhu City and Lake Liwan in Guangzhou City in winter, which was cultured at three statuses of temperatures (10°C, 15°C and 20°C) with  $3.0 \times 10^6$  cells/ml of alga *Scenedesmus obliquus* as their food, was studied by means of life-table demography. The results showed that, at 10°C all the life-table demographic parameters of Wuhu population, except for the intrinsic rate of population growth, were larger than those of Guangzhou population. At 15°C, only the generation time and the proportion of sexual offspring of Wuhu population were larger than those of Guangzhou population. At 20°C, both the generation time and the proportion of sexual offspring of Wuhu population were larger than those of Guangzhou population, but the reverse were also true for the gross reproductive rate, the net reproductive rate and the intrinsic rate of population growth. With the rise of temperature, the life expectancy at hatching, the generation time and the mean lifespan of the two geographic populations of *B. calyciflorus* decreased, and the intrinsic rate of population increased, but the rates of decrease or increase were different between the two geographic populations. The gross reproductive rate and the net reproductive rate of Wuhu population were both not significantly affected by the temperatures. However, the gross reproductive rate of Guangzhou population gradually increased with increasing temperature, and the net reproductive rates at 20°C and 15°C were similar and higher than that at 10°C. The proportion of sexual offspring of Wuhu population at 10°C was higher than that 20°C, but both of them were similar to that at 15°C. The proportion of sexual offspring of Guangzhou population increased with

\* 国家自然科学基金资助项目 (30770352, 30499341)、安徽省优秀青年基金资助项目 (08040106904)、安徽省高校生物环境与生态安全省级重点实验室专项基金项目 (2004-sys003) 和重要生物资源保护和利用研究安徽省重点实验室专项基金项目联合资助。2009-07-24 收稿; 2009-11-12 收修改稿。胡柯, 女, 1985 年生, 硕士研究生; E-mail: ahhuke@yahoo.com.cn.

\*\* 通讯作者; E-mail: ylx1965@yahoo.com.cn.

increasing temperature. The differences in the intrinsic rate of population growth between the two geographic populations might be attributed to their long-term adaptation to the annually mean temperatures, but that in the proportion of sexual offspring between them might result from their long-term adaptation to the seasonal variations of temperatures in their aquatic habitats.

**Keywords:** *Brachionus calyciflorus*; geographic population; temperatures; life history characteristics; Lake Tingtang; Lake Liwan

轮虫是水体浮游动物的重要类群之一,在维持水生态系统的结构和功能等方面具有重要的作用.分布于不同地理区域的轮虫由于经历了长期的自然选择,往往在形态和生态特征等方面存在着显著的差异.迄今为止,有关轮虫种群生态特征的空间分化研究目前主要集中于不同地理品系的角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis*)、褶皱臂尾轮虫(*B. plicatilis*)和萼花臂尾轮虫(*B. calyciflorus*)等<sup>[1-18]</sup>,且常以一个或者少数几个克隆为对象,并不能真正代表各自的种群特征. Ma 等<sup>[19-20]</sup>首次在种群水平上研究了萼花臂尾轮虫的生殖和生活史等特征的空间变化,但仅涉及夏季采于我国不同地理区域的轮虫.冬季是我国从南到北各地平均温差最大的季节,多年出现在不同地理区域的冬季湖泊内的轮虫在生态特征等方面可能具有较大的差异;但具体情况如何仍不得而知.为此,本文应用生命表统计学等方法,比较研究了于冬季采自芜湖和广州的萼花臂尾轮虫种群(共40个克隆)的生活史特征及其对温度变化的响应等方面的差异,揭示它们对所栖息的水环境的适应.

## 1 材料与方法

### 1.1 轮虫的来源

实验用萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)采于2008年2月.芜湖种群采自芜湖市汀棠湖,广州种群采自广州市荔湾湖.采样时汀棠湖水温为15℃,荔湾湖水温为13℃.

采回轮虫于实验室内在恒温、自然光照下进行“克隆”培养.参照采样时的水温,培养温度设置为 $15 \pm 1^\circ\text{C}$ ;轮虫培养液采用 Gilbert<sup>[21]</sup>配方(pH 7.3),所用的饵料为 HB-4 培养基<sup>[22]</sup>培养、处于指数增长期的斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*).最终建立的芜湖18个克隆和广州22个克隆用于本实验研究.

### 1.2 生活史特征研究

根据轮虫样品采集时的水温和两地的年平均温度,实验共设置10℃、15℃和20℃共3个温度梯度.实验前,将两地理种群的所有轮虫克隆分别置于温度为10℃、15℃和20℃的3个恒温培养箱内进行为期1周的预培养.预培养时,以5ml玻璃杯为培养器皿,以密度为 $3.0 \times 10^6$  cells/ml的斜生栅藻为轮虫的食物,培养体积为3ml.预培养过程中,每天更换轮虫培养液并投喂饵料1次,同时通过去除一部分个体以使轮虫种群始终处于指数增长期.实验时,分别由预培养的各玻璃杯中吸取大量带卵的非混交雌体置于另一玻璃杯中,并加入含有与预培养时密度相同的斜生栅藻培养液,之后每间隔4h于解剖镜下检查轮虫卵的孵化情况,待幼体孵出后,取10个龄长小于4h的幼体置于5ml玻璃杯中进行实验.实验所用的食物密度和光照等条件均与预培养时相同.实验过程中,每12h观察1次,记录轮虫母体的存活情况及孵化出的幼体数,并将孵化出的幼体移入另一玻璃杯内继续培养,待其产卵后确定雌体类型,用于计算轮虫的后代混交率;实验过程中每间隔24h更换1次培养液并投喂藻类食物.实验至全部个体死亡时为止.

### 1.3 生命表参数的定义和计算方法

在实验所得数据的基础上算得各生命表参数,包括特定年龄存活率和繁殖率、平均寿命、总生殖率、净生殖率、世代时间和种群内禀增长率.特定年龄存活率( $l_x$ ): $x$ 年龄组开始时存活个体百分数;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;出生时的生命期望:每个个体出生时能活多久的估计值;平均寿命:所有个体平均能活多久的观察值;总生殖率:每个个体一生所产的雌性后代数, $G_0 = \sum m_x$ ;净生殖率:种群经过一个世代后的净增长率, $R_0 = \sum l_x m_x$ ;世代时间:完成一个世代所需要的时间, $T = \sum l_x m_x x / R_0$ ;内禀增长率:种群在特定试验条件下的最大增长率,根据方程 $r = \ln R_0 / T$ 在粗略计算的基础上,再根据方程 $\sum_{x=0}^n e^{-rx} l_x m_x = 1$ 在Excel中试算求得内禀增长率的精确值;后代混交率:所有雌性后代中混交雌体所占的比率.

1.4 数据的分析与处理

采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)法分析温度对各生命表参数的影响,对样本均数间的差异显著性进行多重比较(最小显著差数法,LSD);对同一温度下轮虫两地理种群的各生命表参数的差异显著性进行 *t*-检验;显著性标准均设置为  $P < 0.05$ . 所有数据的统计处理和分析均在统计软件 SPSS 11.5 中进行.

2 结果

2.1 轮虫的存活率和繁殖率

随着温度的逐渐升高,两地理种群轮虫存活率开始下降的时间均逐渐前移,下降速度也逐渐加快;轮虫的繁殖率逐渐增大,繁殖期逐渐缩短. 10℃下,芜湖种群的存活率和繁殖率显著高于广州种群;15℃和20℃下,两地理种群间的存活率均无显著差异,而芜湖种群的繁殖率均显著低于广州种群(图1).

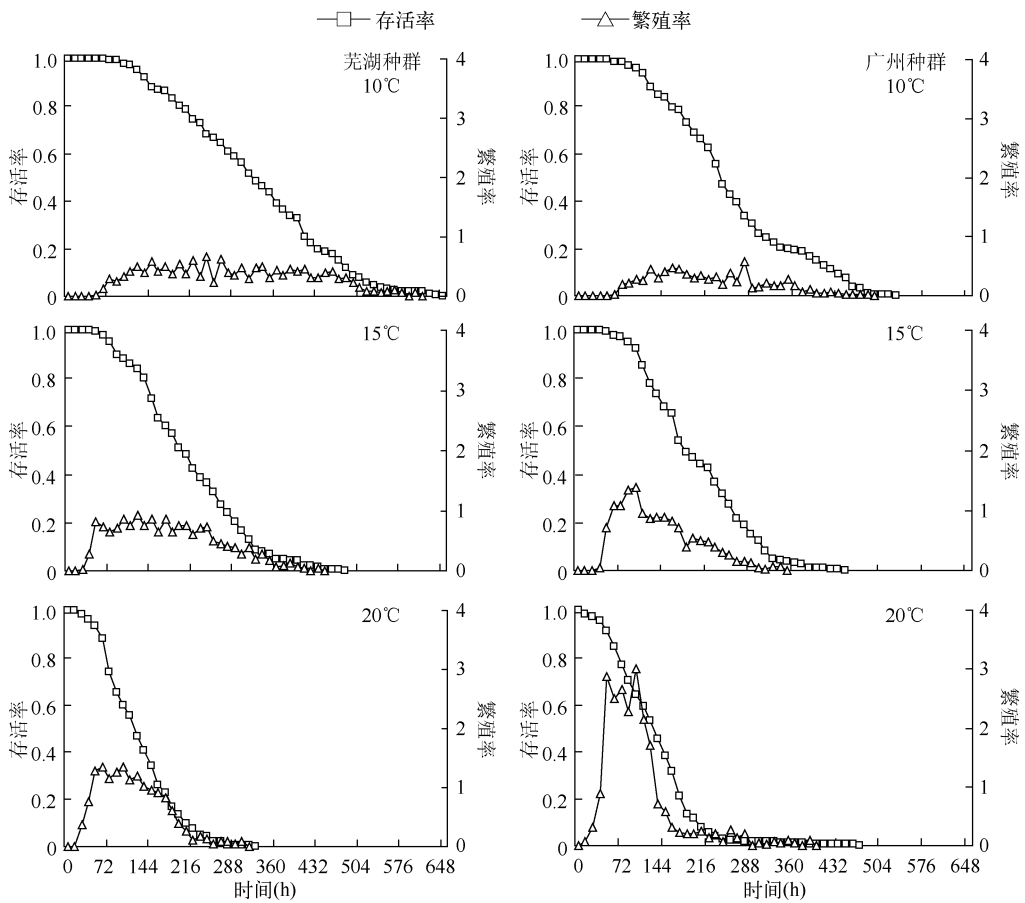


图1 不同温度下萼花臂尾轮虫两地理种群的存活率和繁殖率

Fig. 1 Survivorships and fecundities of *B. calyciflorus* collected respectively from Lake Tingtang in Wuhu City and Lake Liwan in Guangzhou City and cultured at three temperatures

2.2 生命表统计学参数

10℃下,除内禀增长率外,芜湖种群的其他各生命表统计学参数均显著大于广州种群( $P < 0.05$ ). 15℃下,芜湖种群仅世代时间和后代混交率显著大于广州种群( $P < 0.05$ ). 20℃下,芜湖种群的世代时间和后代混交率显著大于广州种群( $P < 0.05$ ),而总生殖率、净生殖率和内禀增长率均小于广州种群( $P < 0.05$ )(表1).

两地理种群轮虫出生时的生命期望、世代时间和平均寿命均随温度的升高而逐渐显著地缩短 ( $P < 0.05$ ), 内禀增长率随温度的升高而逐渐显著地增大 ( $P < 0.05$ ). 温度从 10℃ 升高到 20℃ 时, 芜湖和广州种群出生时的生命期望、世代时间和平均寿命依次分别缩短了 2.55 和 1.96 倍、3.03 和 2.25 倍、2.72 和 2.06 倍, 而内禀增长率分别增加了 3.68 和 4.95 倍. 温度对芜湖种群的总生殖率和净生殖率无显著影响 ( $P > 0.05$ ); 而广州种群的总生殖率随温度升高而逐渐显著地增大 ( $P < 0.05$ ), 净生殖率在 20℃ 和 15℃ 下无显著差异, 但都显著高于 10℃ 下. 芜湖种群的后代混交率在 10℃ 下显著高于 20℃ 下, 但均与 15℃ 间无显著性差异; 广州种群的后代混交率随温度的升高而逐渐显著地增大 ( $P < 0.05$ ) (表 1).

表 1 不同温度下萼花臂尾轮虫两地理种群的生命表统计学参数\*

Tab. 1 Life-table demographic parameters of *B. calyciflorus* collected respectively from Lake Tingtang in Wuhu City and Lake Liwan in Guangzhou City and cultured at three temperatures

参数	地理种群	10℃	15℃	20℃
出生时生命期望(h)	芜湖	320.2 ± 12.9 <sup>c</sup>	204.4 ± 14.3 <sup>b</sup>	125.6 ± 9.1 <sup>a</sup>
	广州	252.3 ± 12.8 <sup>c</sup>	196.3 ± 12.7 <sup>b</sup>	128.5 ± 8.9 <sup>a</sup>
世代时间(h)	芜湖	220.3 ± 5.5 <sup>c</sup>	129.8 ± 6.0 <sup>b</sup>	72.6 ± 9.4 <sup>a</sup>
	广州	132.7 ± 3.4 <sup>c</sup>	112.0 ± 5.5 <sup>b</sup>	59.1 ± 4.8 <sup>a</sup>
平均寿命(h)	芜湖	308.5 ± 12.9 <sup>c</sup>	192.4 ± 14.3 <sup>b</sup>	113.6 ± 9.1 <sup>a</sup>
	广州	240.3 ± 12.8 <sup>c</sup>	184.3 ± 12.7 <sup>b</sup>	116.5 ± 8.9 <sup>a</sup>
总生殖率(ind.)	芜湖	15.5 ± 1.5 <sup>a</sup>	15.9 ± 1.0 <sup>a</sup>	17.1 ± 0.9 <sup>a</sup>
	广州	7.7 ± 1.8 <sup>a</sup>	14.25 ± 1.4 <sup>b</sup>	22.3 ± 0.6 <sup>c</sup>
净生殖率(ind.)	芜湖	9.4 ± 1.1 <sup>a</sup>	10.0 ± 1.0 <sup>a</sup>	8.5 ± 0.7 <sup>a</sup>
	广州	4.6 ± 1.6 <sup>a</sup>	12.0 ± 1.2 <sup>b</sup>	14.9 ± 0.6 <sup>b</sup>
内禀增长率(d <sup>-1</sup> )	芜湖	0.3089 ± 0.0079 <sup>a</sup>	0.5600 ± 0.0196 <sup>b</sup>	1.1403 ± 0.0536 <sup>c</sup>
	广州	0.3064 ± 0.0220 <sup>a</sup>	0.06033 ± 0.0291 <sup>b</sup>	0.1519 ± 0.0840 <sup>c</sup>
后代混交率	芜湖	0.66 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.56 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.46 ± 0.03 <sup>a</sup>
	广州	0.01 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.08 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.15 ± 0.00 <sup>c</sup>

\* 多重比较(SNK-q 检验法): 同行具有相同字母表示组间无显著性差异.

双因素方差分析表明, 温度、地理种群以及两者间的交互作用对轮虫的生命期望、世代时间、平均寿命和内禀增长率均有极显著的影响 ( $P < 0.01$ ); 温度以及温度与种群间的交互作用对轮虫的总生殖率和净生殖率有极显著的影响 ( $P < 0.01$ ); 地理种群以及地理种群与温度间的交互作用对轮虫后代混交率有极显著的影响 ( $P < 0.01$ ). 轮虫的生命期望、世代时间和平均寿命均随温度的升高而逐渐缩短, 总生殖率和内禀增长率随温度的升高而逐渐增大, 净生殖率在 20℃ 与 15℃ 间无显著的差异, 但均显著高于 10℃ 下的净生殖率. 两地理种群间, 芜湖种群的生命期望、世代时间、平均寿命和后代混交率均大于广州种群, 而内禀增长率则相反.

### 3 讨论

遗传因素是影响轮虫存活和发育的重要内源性因素, 而温度则是重要的环境因子之一. 遗传因素的影响表现为同一温度下不同种类或同种不同地理品系或克隆间轮虫的存活时间或发育速率存在着差异<sup>[9, 11-12, 14, 23-25]</sup>. 与其相似的是, 本研究中, 10℃ 下, 芜湖种群的生命期望、世代时间和平均寿命均显著长于广州种群; 15℃ 和 20℃ 下, 芜湖种群的世代时间均显著长于广州种群; 双因素分析和多重比较发现, 芜湖种群的生命期望、世代时间和平均寿命均长于广州种群. 温度的影响总体上表现为轮虫的生命期望、平均寿命和世代时间随着温度的升高而缩短<sup>[4, 10, 12, 14, 26-32]</sup>, 本研究结果亦然. 但生命期望、世代时间和平均寿命对温度升高的反应不仅因轮虫品系的不同而存在着差异<sup>[5, 10, 12, 14]</sup>, 不同季节的萼花臂尾轮虫克隆间、甚至同一季节种群内不同克隆间也不尽相同<sup>[23-33]</sup>. 本研究中, 萼花臂尾轮虫芜湖种群出生时的生命期望、世代时间和平均寿命随温度的升高而缩短的速率均大于广州种群.

Fanestil and Barrow 和 Meadow and Barrows<sup>[34-35]</sup> 认为, 理论上, 变温动物的净生殖率应不随温度的变化而

变化. 但已有的研究表明, 温度对多种轮虫的净生殖率均有显著的影响, 且因轮虫种类、品系等的不同影响也不相同<sup>[5,8,10,12,14,17,23-24,29,31-33]</sup>. Xi 等报道芜湖品系的萼花臂尾轮虫的净生殖率在 20℃、25℃ 和 30℃ 之间无显著差异, 而广州品系为 25℃ 下最大, 20℃ 下最小<sup>[14]</sup>. 与其相似的是, 本研究中, 采自芜湖的萼花臂尾轮虫种群的净生殖率同样不受温度变化的影响; 广州种群的净生殖率在 15℃ 和 20℃ 下虽无显著的差异, 但 10℃ 下最低.

种群内禀增长率是综合了所有的生命表参数的一个综合性参数<sup>[4]</sup>, 因此它可以敏感地反映出环境条件的细微变化, 人们可以视之为特定种群对环境质量反应的一个优良指标. 本研究中, 10℃ 和 15℃ 下, 芜湖和广州种群的内禀增长率均无显著的差异; 但 20℃ 下, 芜湖种群的内禀增长率显著小于广州种群的内禀增长率; 当温度从 10℃ 升高到 20℃ 时, 虽然两地理种群的内禀增长率均显著增大, 但广州种群的内禀增长率增大的速率大于芜湖种群. 这可能与各自对所栖息的水环境平均温度的长期适应有关, 与芜湖和广州两地的年平均温度(分别为 15-16℃ 和 22℃)相一致.

混交雌体的产生是轮虫有性生殖的开始, 是轮虫对不适宜的环境条件的响应. 众多的研究表明, 混交雌体的产生是由遗传因素决定的, 环境因子对其具有调节作用<sup>[13,36-38]</sup>. 本研究也表明, 各温度下, 芜湖种群的后代混交率显著大于广州种群; 这可能与各自对所栖息的水环境温度的季节变化的长期适应有关. 广州地处亚热带, 横跨北回归线, 年平均温差较小; 长期的适应使该地的萼花臂尾轮虫具有较低的后代混交率. 而芜湖地处亚热带北缘, 四季分明, 对季节性变化较大的水温的长期适应使该地的萼花臂尾轮虫具有较高的后代混交率.

#### 4 参考文献

- [ 1 ] Snell TW, Kelly Carrillo. Body size variation among strains of the rotifer *Brachionus plicatilis*. *Aquaculture*, 1984, **37**: 359-367.
- [ 2 ] Snell TW, Hoff FH. The effect of environmental factors on resting egg production in rotifer *Brachionus plicatilis*. *J World Maricult Soc*, 1985, **16**: 484-497.
- [ 3 ] Serra M, Miracle MR. Biometric variation in three strains of *Brachionus plicatilis* as a direct response to abiotic variables. *Hydrobiologia*, 1987, **147**: 83-89.
- [ 4 ] Miracle MR, Serra M. Salinity and temperature influence in rotifer life history characteristics. *Hydrobiologia*, 1989, **186/187**: 81-102.
- [ 5 ] Ricci C. Comparison of five strains of a parthenogenetic species, *Macrotrachela quadricornifera* (Rotifera, Bdelloidea). I. Life history traits. *Hydrobiologia*, 1991, **211**: 147-155.
- [ 6 ] Ricci C. Growth pattern of four strains of a Bdelloid rotifer species: egg size and number. *Hydrobiologia*, 1995, **313/314**: 157-163.
- [ 7 ] Hagiwara A, Kotani T, Snell TW. Morphology, reproduction, genetics, and mating behavior of small, tropical marine *Brachionus plicatilis* strains (Rotifera). *J Exp Mar Biol Ecol*, 1995, **194**: 25-37.
- [ 8 ] Pérez-Legaspi IA, Rico-Martínez R. Effect of temperature and food concentration in two species of littoral rotifers. *Hydrobiologia*, 1998, **387/388**: 341-348.
- [ 9 ] 胡好远, 席贻龙, 耿 红. 三个品系角突臂尾轮虫生长和发育的比较研究. *应用生态学报*, 2003, **14**: 565-568.
- [ 10 ] 胡好远, 席贻龙, 耿 红. 温度对三品系角突臂尾轮虫生活史策略的影响. *水生生物学*, 2004, **28**: 284-288.
- [ 11 ] 冯粒克, 席贻龙. 三个地理品系萼花臂尾轮虫生活史特征的比较. *动物学杂志*, 2004, **39**: 12-15.
- [ 12 ] 董丽丽, 席贻龙, 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. *应用生态学报*, 2004, **15**: 2165-2169.
- [ 13 ] Xi YL, Dong LL, Ge YL *et al.* Resting egg production of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera) at the different water temperatures. *Journal of Freshwater Ecology*, 2004, **19**: 567-573.
- [ 14 ] Xi YL, Ge YL, Chen F *et al.* Life history characteristics of three strains of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera) at different water temperatures. *Journal of Freshwater Ecology*, 2005, **20**: 707-713.
- [ 15 ] Hu HY, Xi YL. Differences in population growth and morphometric characteristics of three strains of *Brachionus angularis*. *Journal of Freshwater Ecology*, 2006, **21**: 101-108.

- [16] Hu HY, Xi YL. Demographic parameters and mixis of three *Brachionus angularis* Gosse (Rotifera) strains fed on different algae. *Limnologia*, 2008, **38**: 56-62.
- [17] Yin XW, Zhao W. Studies on life history characteristics of *Brachionus plicatilis* O. F. Müller (Rotifera) in relation to temperature, salinity and food algae. *Aquatic Ecology*, 2008, **42**: 165-176.
- [18] 窦亚秋,殷旭旺,朱知龙等. 两品系褶皱臂尾轮虫种群增长及投喂河蟹苗效果的研究. 水产学报, 2005, **24**(9): 11-13.
- [19] Ma Q, Xi YL, Zhang JY *et al.* Differences in asexual and sexual reproduction among eight geographic population of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera) from China. *Journal of Freshwater Ecology*, 2009, **24**(2): 273-278.
- [20] Ma Q, Xi YL, Zhang JY *et al.* Differences in life table demography among eight geographic population of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera) from China. *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters*, 2010, **40**(1): 16-22.
- [21] Gilbert JJ. Mictic female production in the rotifer *Brachionus calyciflorus*. *J Exp Zool*, 1963, **153**: 113-124.
- [22] 章宗涉,黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991: 410-411.
- [23] 董丽丽,席贻龙,张雷. 镜湖萼花臂尾轮虫夏季种群内不同克隆的生活史特征. 水生生物学报, 2007, **31**: 611-617.
- [24] 胡存兵,席贻龙,陶李祥. 红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫生活史特征的比较研究. 生态学报, 2008, **28**: 5957-5963.
- [25] 李化炳,席贻龙,程新峰. 萼花臂尾轮虫种复合体内三个姐妹种生活史特征的比较研究. 生态科学, 2008, **27**: 431-432.
- [26] Awaisi A, Kestemont P. An investigation into the mass production of the freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas. II. Influence of temperature on the population dynamics. *Aquaculture*, 1992, **105**: 337-344.
- [27] Sarma SSS, Rao TR. Population dynamics of *Brachionus patulus* Muller (Rotifera) in relation to food and temperature. *Proc Indian Acad*, 1990, **99**(4): 335-343.
- [28] Sarma SSS, Rao TR. The combined effects of food and temperature on the life history parameters of *Brachionus patulus* Muller (Rotifera). *Inter Rev Hydrobiol*, 1991, **76**: 225-239.
- [29] 席贻龙,黄祥飞. 温度对壶状臂尾轮虫实验种群动态的影响. 海洋与湖沼, 2000, **31**: 23-28.
- [30] Xi YL, Huang XF. Temperature effect on the life history of three types of *Brachionus calyciflorus* females. *Chinese Journal of Oceanography and Limnology*, 2004, **22**: 192-197.
- [31] Pavón-Meza EL, Sarma SSS, Nandini S. Combined effects of algal (*Chlorella vulgaris*) food level and temperature on the demography of *Brachionus havanaensis* (Rotifera): a life table study. *Hydrobiologia*, 2005, **546**: 353-360.
- [32] 陶李祥,席贻龙,胡存兵. 镰形臂尾轮虫和尾突臂尾轮虫的生活史特征比较. 应用生态学报, 2008, **19**: 1104-1109.
- [33] 江东海,席贻龙,刘胜国. 镜湖萼花臂尾轮虫种群内不同基因型克隆的生活史特征. 应用生态学报, 2007, **18**: 2883-2888.
- [34] Fanestil DD, Barrows CH Jr. Aging in the rotifer. *Journal of Gerontology*, 1965, **20**: 462-469.
- [35] Meadow ND, Barrows CH Jr. Studies on aging in a bdelloid rotifer. II. The effects of various environmental conditions and maternal age on longevity and fecundity. *Journal of Gerontology*, 1971, **26**: 302-309.
- [36] 席贻龙,黄祥飞. 食物种类和浓度对壶状臂尾轮虫实验种群动态的影响. 水生生物学报, 1999, **23**: 227-234.
- [37] 葛雅丽,席贻龙,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. 生态学报, 2005, **25**: 1831-1837.
- [38] 席贻龙,黄祥飞. 温度和食物浓度对萼花臂尾轮虫休眠卵形成的影响. 水生生物学报, 2000, **24**: 107-113.