镜湖常见臂尾轮虫（*Brachionus*）种群周年动态及生活史对策

温新利，席贻龙*

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：对镜湖臂尾轮虫种群的周年动态进行了研究，测量和分析了它们的个体大小、卵大小和相对卵大小及其与水温和叶绿素 a浓度等生态因子间的关系。结果表明，镜湖常见的 7 种臂尾轮虫中，仅萼花臂尾轮虫（*Brachionus calyciflorus*）、角突臂尾轮虫（*B. angularis*）、裂足臂尾轮虫（*B. diversicornis*）和剪形臂尾轮虫（*B. forficula*）的种群密度和出现频率较高；前两者种群密度高峰期均出现在 2～3 月份，4 月份后均较低；后两者种群密度在 6～9 月份较高，而在 10 月份后很快下降。除剪形臂尾轮虫外，其它 3 种臂尾轮虫的个体体积均与水温间具有显著的相关性，平均卵体积均与各自的平均被甲长度呈显著的正相关关系。角突臂尾轮虫和萼花臂尾轮虫个体大小与水体叶绿素 a 浓度间呈显著的负相关关系，它们的卵体积分别与水温和叶绿素 a 浓度之间具有显著的负相关性，且水温是影响它们卵体积的主要因子。4 种臂尾轮虫中，仅角突臂尾轮虫的相对卵体积与水温间表现出显著的正相关关系。

关键词：镜湖；常见臂尾轮虫；个体大小；卵大小

文章编号：1000-0933（2007）10-3956-08　**中图分类号**：Q145，Q178，Q959.181　**文献标识码**：A

Population dynamics and life history strategy of the common *Brachionus* species (Rotifera) in Lake Jinghu

WEN Xin-Li, XI Yi-Long*

College of Life Sciences, Anhui Normal University, Key Laboratory of Biotic Environment and Ecological Safety in Anhui Province; Wuhu, Anhui 241000, *China*

***Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(0): 3956 ~ 3963.**

Abstract: The annual dynamics of *Brachionus* (Rotifera) populations in Lake Jinghu of Anhui Province, China was studied in the year 2003, and the relationships between their body volumes, egg volumes as well as relative egg volumes and the ecological factors including water temperature, Chl-a concentration were regressively analyzed. Seven *Brachionus* species in Lake Jinghu were found, of which *Brachionus calyciflorus*, *B. angularis*, *B. diversicornis* and *B. forficula* were determined as common species due to their higher population densities and occurrence frequency. The population density of both *B. calyciflorus* and *B. angularis* reached the peak in February and March and decreased rapidly after April, while that of both *B. diversicornis* and *B. forficula* remained high during June-September and decreased sharply after October. The body

基金项目：国家自然科学基金资助项目（30499341，30270221）；安徽省优秀青年基金资助项目（04043050）；安徽省高校省级重点实验室专项科研基金项目（2004SYS003）；“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资助项目

收稿日期：2006-08-04；**修订日期**：2007-05-19

作者简介：温新利（977～），男，安徽桐城人，硕士，主要从事浮游动物生态学研究. E-mail: Wenxinli1977@Yahoo.com.cn

* **通讯作者** Corresponding author. E-mail: ylxi1965@yahoo.com.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30499341, 30270221), Excellent Youth Foundation in Anhui Province (No. 04043050), the foundation of provincial key laboratory of colleges in Anhui (No. 2004SYS003) and the foundation of Provincial Key Laboratory of Conservation and Utilization for Important Biological Resource in Anhui

Received date: 2006-08-04; **Accepted date**: 2007-05-19

Biography: WEN Xin-Li, Master, mainly engaged in zooplankton ecology. E-mail: Wenxinli1977@Yahoo.com.cn

volumes of the four common *Brachionus* species excluding *B. forficula* were significantly correlated to water temperature, and their mean body size was positively correlated with their mean egg volume. The body volumes of *B. calyciflorus* and *B. angularis* were both negatively correlated with Chl-a concentration, and their egg volumes were negatively associated with water temperature and Chl-a concentration, respectively, with water temperature being the greatest effect. The relative egg volume of only *B. angularis* was positively correlated with water temperature.

Key Words: Lake Jinghu; common *Brachionus* species; body volume; egg volume

臂尾轮虫是一类广温性轮虫,广泛分布于各类水体中,在水质监测和水体的营养水平评价中具有重要的意义[1],在淡水生态系统的结构组成、物质循环和能量传递过程中也具有重要的作用。国内外学者曾就臂尾轮虫的分布、种群动态和个体大小及卵大小等进行了大量的的研究,但国内对臂尾轮虫个体大小及卵大小等的研究主要集中在实验室培养的萼花臂尾轮虫、角突臂尾轮虫和红臂尾轮虫[2~6],而对野外种群的研究尚未见报道。

镜湖地处芜湖市中心,属亚热带浅水型、半封闭内陆城市湖泊。至 20 世纪末,该湖富营养化严重,为此芜湖市有关部门于 1999~2000 年对其进行了清淤、截流和换水等治理工作。2003 年,以对该湖泊的营养状态进行生态学评价等为目的,作者对其中的轮虫群落结构和优势种类等的周年动态进行了研究[7]。尽管包括萼花臂尾轮虫等在内的几种臂尾轮虫并非优势种类,但它们易于在实验室内进行克隆培养为我们研究轮虫种群遗传结构及其季节变化提供了基本保障。张雷等[8]已通过研究发现镜湖萼花臂尾轮虫夏季种群是由生化遗传和生态特征均存在差异的克隆群组成,但轮虫种群遗传结构随着季节的演替会发生怎样的变化却尚未得知,而对此问题的研究必须以全面掌握该轮虫种群周年动态和有关生活史对策等为前提。为此,作者对它们的种群周年动态进行了分析,并尝试从它们的个体大小和卵大小等的变化及其与环境因子之间的关系等方面探讨种群随季节变化所采取的个体大小对策和卵大小对策。

1　材料与方法

1.1　轮虫的采集和计数以及水体叶绿素 a 浓度和水温的测定

2003 年逐月定时分别于大、小镜湖中央共两个采样点进行采样。定性样品用孔径为 64μm 的浮游生物网作大范围的拖捞获得;定量样品用 2.5 L 的采水器,分别于采样点的每个深度(0m,0.5m,1m)采集 10 L 水样(共 30 L),经孔径为 30μm 的浮游生物网过滤、收集后立刻用 5% 的福尔马林溶液固定。臂尾轮虫种类鉴定参照 Koste 分类体系[9],定量样品采用全计数;个别样品当臂尾轮虫密度很高时,则采用抽样计数,过程同温新利等[7]。

2003 年镜湖水体叶绿素 a 浓度及水温的测定方法和结果见温新利等[7]。

1.2　虫体和卵的测量及有关参数的计算方法

利用 Olympus BH-2 显微镜分别测量带 1 个、2 个、3 个、4 个或大于 4 个非混交卵的轮虫个体的体长和卵的长轴与短轴的长度。轮虫个体大小和卵体积的计算分别参照章宗涉和黄祥飞[10]和 Sarma & Rao[11]的方法。应用 STATISTICA 和 Excel 软件,对带 1 个非混交卵的轮虫的卵体积与其被甲长度之间、个体体积、卵体积和相对卵体积(卵体积/个体体积)以及种群密度与水温、叶绿素 a 浓度等之间的关系作回归分析;应用 SPSS11.5 统计软件,采用 3 因素方差分析(three-way analysis of variance)方法分析水温、水体叶绿素 a 浓度和携卵量对镜湖臂尾轮虫卵大小的影响。

2　结果与分析

2.1　镜湖常见臂尾轮虫的种群动态

通过对定性和定量样品的实验室鉴定,发现在镜湖中共有臂尾轮属轮虫 7 种[7],其中萼花臂尾轮虫、角突臂尾轮虫、裂足臂尾轮虫和剪形臂尾轮虫等 4 种臂尾轮虫的种群密度和出现频率较高。萼花臂尾轮虫与角突

臂尾轮虫、裂足臂尾轮虫与剪形臂尾轮虫种群密度的季节变化趋势分别相似;前两者中,萼花臂尾轮虫主要出现在冬季(、2 月份)、春季(、4 月份)和夏季(、8 月份),而角突臂尾轮虫主要发生在冬季(、2 月份)、春季(、4 月份)和秋季(月份),它们的种群密度高峰期均为 2 ~ 3 月份,4 月份后种群密度均很低(除 7 月份的萼花臂尾轮虫和 9 月份的角突臂尾轮虫种群密度出现较短的高峰期外),5、6 月份几乎消失;后两者出现于 5 ~ 10 月份,其中 6 ~ 9 月份种群密度较高;裂足臂尾轮虫在 10 ~ 12 月份后种群密度很低,而剪形臂尾轮虫至 11 月份时几乎消失(图 1)。

回归分析结果显示,裂足臂尾轮虫()和剪形臂尾轮虫()种群密度与水温()、叶绿素 a 浓度间()均呈现显著的正相关关系($r_{dw}=0.65, P<0.01$; $r_{dc}=0.51, P<0.05$; $r_{fw}=0.50, P<0.05$; $r_{fc}=0.60, P<0.01$);而萼花臂尾轮虫和角突臂尾轮虫的种群密度与水温、叶绿素 a 浓度间均无显著的相关关系。

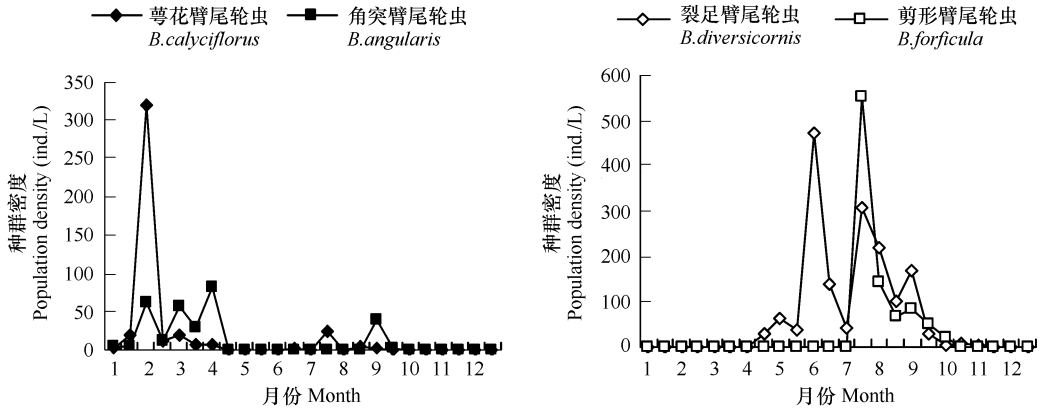

图 1 镜湖 4 种臂尾轮虫种群密度的周年变化

Fig. 1 Annual variations of the population density of four *Brachionus* species in Lake Jinghu

2.2 4 种常见臂尾轮虫的个体体积与环境因子间的关系

回归分析表明,角突臂尾轮虫和萼花臂尾轮虫个体体积(,μm^3)与水温(,℃)间均具有显著的负相关关系,裂足臂尾轮虫的个体体积(,μm^3)与水温(,℃)间呈曲线相关(图 2);而剪形臂尾轮虫的个体体积与水温间无显著的相关关系。

角突臂尾轮虫和萼花臂尾轮虫个体大小均与水体叶绿素 a 浓度间呈显著的负相关关系(图 3),而裂足臂尾轮虫和剪形臂尾轮虫的个体大小却无此特征。

2.3 4 种常见臂尾轮虫的卵体积与环境因子间的关系

3 因素方差分析表明,水温和叶绿素 a 浓度对镜湖 4 种常见臂尾轮虫的卵体积均有极显著的影响($P<0.001$)携卵量对萼花臂尾轮虫和角突臂尾轮虫的卵体积有极显著的影响($P<0.001$),但对裂足臂尾轮虫、剪形臂尾轮虫的卵体积无显著的影响($P>0.05$);水温与携卵量、叶绿素 a 浓度与携卵量的交互作用均对萼花臂尾轮虫、角突臂尾轮虫和剪形臂尾轮虫的卵体积有极显著的影响($P<0.001$),而水体叶绿素 a 浓度与携卵量的交互作用对裂足臂尾轮虫的卵体积无显著的影响($P>0.05$)(表 1)。

各因素中,水温对萼花臂尾轮虫和角突臂尾轮虫的卵体积影响最大,对裂足臂尾轮虫和剪形臂尾轮虫卵体积的影响却较小(图 3)。

回归结果表明,镜湖中萼花臂尾轮虫和角突臂尾轮虫的卵体积与水温、叶绿素 a 浓度间均存在显著的负相关关系(图 4),但裂足臂尾轮虫和剪形臂尾轮虫的卵体积与水温、叶绿素 a 浓度间均不呈显著的相关关系。

2.4 4 种常见臂尾轮虫卵体积的季节变异及其与个体大小间的关系

随着季节的更替,裂足臂尾轮虫和剪形臂尾轮虫个体体积及卵体积变异幅度较小,而角突臂尾轮虫和萼花臂尾轮虫的变异幅度均很大。冬季(,2 月份)萼花臂尾轮虫的个体平均体积与卵体积分别比夏季(,8 月份)高出 135% 和 91%;冬季(,2 月份)角突臂尾轮虫的个体平均体积与卵体积比秋季(月份)分别高出 353%

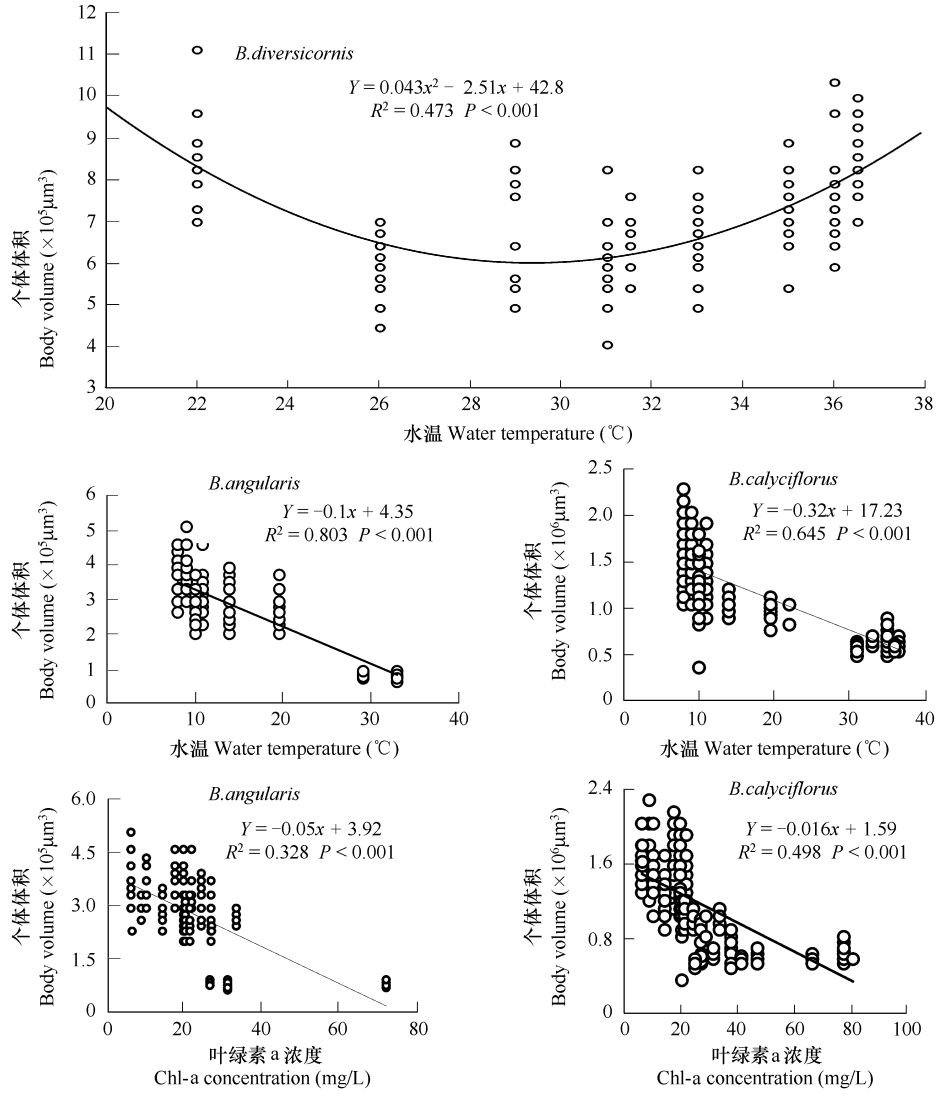

图 2　镜湖裂足臂尾轮虫(*B. diversicornis*)、萼花臂尾轮虫(*B. calyciflorus*)、角突臂尾轮虫(*B. angularis*)个体体积与水温和叶绿素 a 浓度间的关系

Fig. 2　The relationships between body volume of three *Brachionus* species and water temperature as well as Chl-a concentration in Lake Jinghu

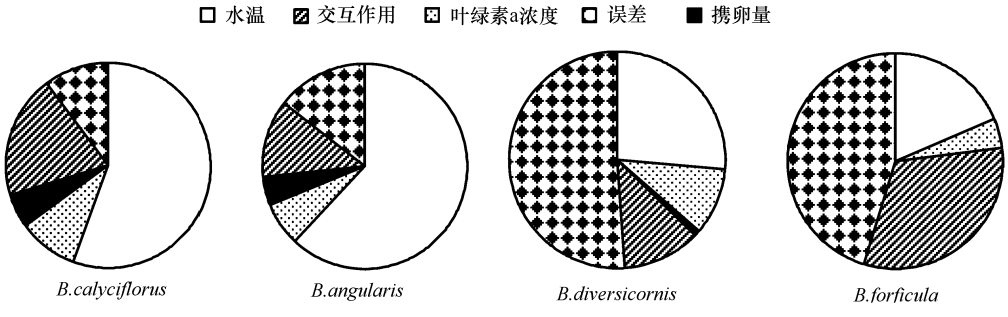

图 3　引起镜湖 4 种常见臂尾轮虫卵体积变异的各因素影响比例

Fig. 3　Proportion of the variance in egg volume for four *Brachionus* species accounted for by each factors

各因素影响比例 = 各因素的第 1 种类型的平方和/总平方和　Variance was calculated from Type Ⅰ sum of squares of each component divided by the total sum of squares

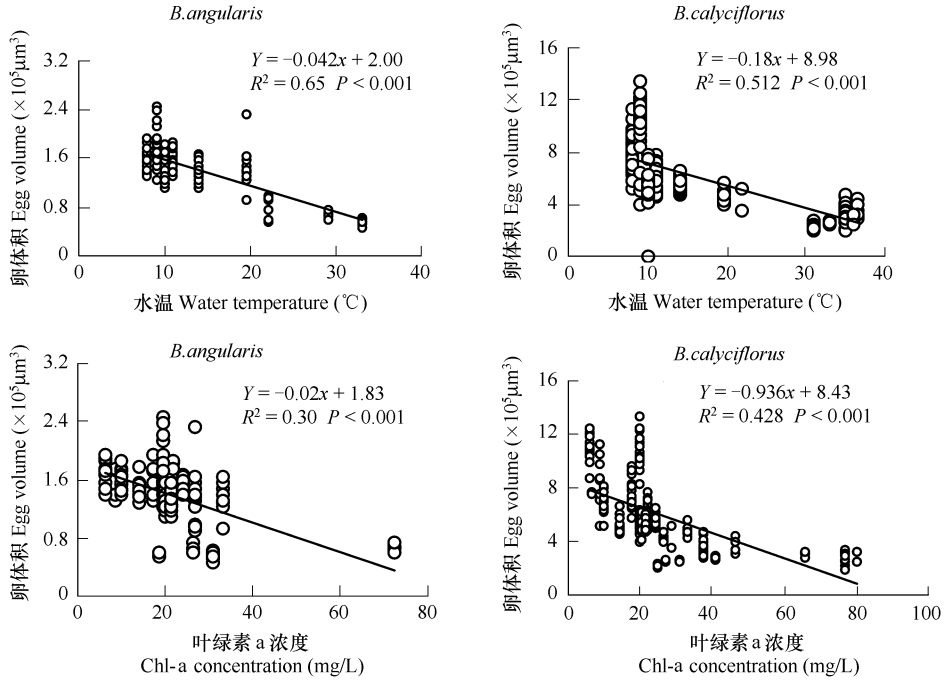

图 4 两种臂尾轮虫卵体积与镜湖水温和水体叶绿素 a 浓度间的关系

Fig. 4 The relationships between egg volume of two *Brachionus* species and water temperature as well as Chl-a concentration in Lake Jinghu

表 1 水温、叶绿素 a 浓度和携卵量对镜湖中四种臂尾轮虫卵大小的影响（因素方差分析）

Table 1 Three-way analyses of variance for the effects of water temperature, Chl-a concentration and clutch size on egg volume of four *Brachionus* species in Lake Jinghu

差异源 Source of variation	角突臂尾轮虫 *B. angularis*		萼花臂尾轮虫 *B. calyciflorus*		裂足臂尾轮虫 *B. diversicornis*		剪形臂尾轮虫 *B. forficula*	
	自由度 *df*	方差 *F*	自由度 *df*	方差 *F*	自由度 *df*	方差 *F*	自由度 *df*	方差 *F*
水温 (A) Water temperature	9	598.3	11	537.6	10	17.5	8	33.3
叶绿素 a 浓度 (B) Chl-a concentration	11	54.8	12	82.6	12	5.5	9	7.0
携卵量 (C) Clutch size	4	98.5	4	138.7	2	2.2*	2	0.1*
A × B	0	–	0	–	0	–	0	–
A × C	18	53.1	25	43.7	7	10.6	10	24.4
B × C	19	5.1	20	49.1	3	0.70*	8	4.08
标准误 Error	1264	1102	338	649				

* 表示 $P > 0.05$，其它参数 F 值的显著性皆为 $P < 0.001$；– 表示无结果 * indicates $P > 0.05$, while the significance of the other F values are showed as $P < 0.001$; The signal of – means no result

和 167%。

萼花臂尾轮虫、角突臂尾轮虫和裂足臂尾轮虫的卵体积（Y, μm^3）均与各自的被甲长度（X, μm）呈显著的正相关（图 5），而剪形臂尾轮虫的卵体积与其被甲长度之间无显著的相关关系。

2.5 4 种常见臂尾轮虫相对卵大小与环境因子间的关系

方差分析表明，水温和叶绿素 a 浓度仅对萼花臂尾轮虫和角突臂尾轮虫的相对卵体积有显著的影响（$P < 0.001$）。回归分析显示，萼花臂尾轮虫的相对卵体积均有随水温和叶绿素 a 浓度的升高而减小的趋势，但两者间的相关性并不显著（$r_1 = -0.12$, $P < 0.001$；$r_2 = -0.19$, $P < 0.001$）；而角突臂尾轮虫的相对卵体积与水温间呈显著的正相关关系（图 6），与叶绿素 a 浓度间仅具有正相关趋势（$r = 0.45$, $P < 0.001$）。

3　讨论

3.1　臂尾轮虫的发生及其与环境因子间的关系

多数学者认为,决定轮虫种类季节演替的主要环境因子是温度。根据不同温度下出现的种类,轮虫一般可分为广温性种类(全年分布,一般在水温 20℃左右出现高峰)、冷水性的种类(一般在低于 10℃的水体出现)和暖水性的种类(一般出现在水温高于 25℃的春、夏和秋季)①。本研究发现,萼花臂尾轮虫和角突臂尾轮虫在全年不同季节皆有分布,应属于广温性种类。裂足臂尾轮虫在不同水温下也有分布,但在水温低于 25℃时,种群密度很小,可能属于偏暖水性的种类;而剪形臂尾轮虫出现时的水温均大于 25℃,因而很可能属于暖水性的种类。Kirk [2] 发现实验室培养的梳状疣毛轮虫(*Synchaeta pectinata*)的卵大小几乎保持恒定,推测其可能属于疣毛轮属中的暖水性种类。而本研究的结果表明裂足臂尾轮虫和剪形臂尾轮虫卵大小的季节变异较小且水温对其影响相对较小,这可能是裂足臂尾轮虫和剪形臂尾轮虫喜暖水生活的另一佐证。不过,关于轮虫的发生与温度的选择问题,有必要对更多的湖泊进行长时间的研究。

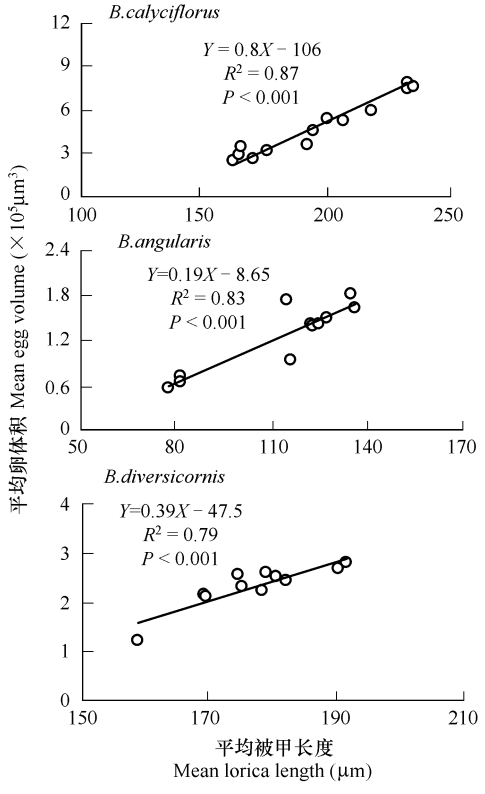

图 5　3 种臂尾轮虫平均卵体积与平均被甲长度的关系

Fig. 5　The relationships between mean egg volume of three *Brachionus* species and mean lorica length in Lake Jinghu

Roche & Kennedy [3] 认为,萼花臂尾轮虫一般出现在高于 13～15℃的水温、较低的氨浓度、较少的挥发性有机化合物和较高的溶解氧浓度的适宜环境中。本研究发现萼花臂尾轮虫种群密度高峰期出现在水温低于 10℃的冬季,这与 Roche & Kennedy [3] 的结论并不一致;看来,镜湖萼花臂尾轮虫种群密度的高低除了和水温具有密切的关系外,还可能与食物的密度等具有很大的关系。胡好远等 [6] 发现,采自芜湖市镜湖的角突臂尾轮虫在水温高于 30℃的实验室环境中不能生存;镜湖夏季每月水温皆高于 30℃ [7],其中的角突臂尾轮虫在夏季的消失很可能是由于夏季水温过高而导致的。

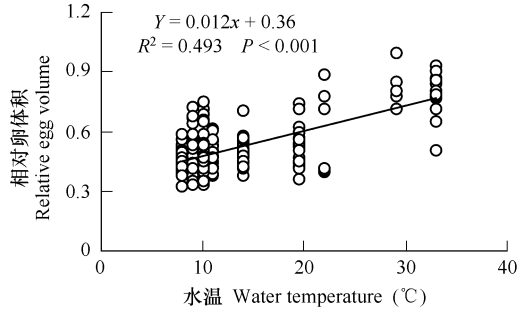

图 6　角突臂尾轮虫相对卵体积与镜湖水温间的关系

Fig. 6　The relationship between the relative egg volume of *B. angularis* and water temperature in Lake Jinghu

3.2　臂尾轮虫的个体大小及其与环境因子间的关系

镜湖萼花臂尾轮虫与角突臂尾轮虫个体体积的季节变异幅度很大,说明它们的个体体积可能不仅与水温和叶绿素 a 浓度等生态因子相关,而且也可能与它们的种群遗传结构有关。King 和 Serra [4] 发现,在具有季节性变化的浅水湖泊或池塘中,轮虫种群由具有不同基因型的克隆群组成,不同基因型的克隆群在不同季节的水体中具有共存或替代现象;张雷等 [8] 对镜湖夏季萼花臂尾轮虫种群遗传结构的等位酶分析结果也证实了上述观点;江东海等②对采自镜湖的萼花臂尾轮虫在实

① 席贻龙. 萼花臂尾轮虫休眠卵形成及其萌发的生态机理研究. 中国科学院理学博士论文,1999,7.

② 江东海,席贻龙,刘胜国. 镜湖萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)种群等位酶分析和生殖参数的季节变化. 水生生物学报(已接受).

验室内最终建立起的春季 24 个克隆和夏季 10 个克隆等所作的等位酶分析结果表明,两季节种群间,除了其中的两个克隆群的基因型相同以外,其它克隆群的基因型均不相同;而且同一基因型在种群内的发生频率也因季节的不同而异。这表明轮虫种群遗传结构在同一季节内和不同季节间均存在着变化。镜湖萼花臂尾轮虫和角突臂尾轮虫季节种群遗传结构间的差异可能是影响它们个体大小的重要内源性因素。

Pourriot [5] 研究了温度(7.5~25℃)对 4 个品系的萼花臂尾轮虫的影响,结果发现各品系的轮虫个体体积与温度之间有显著的负相关关系,直线斜率在 -4 ~ -8 之间;然而 Galindo [6] 等发现,萼花臂尾轮虫野外种群的个体体积随水温升高而升高;Galindo 等 [6] 和胡好远等 [6] 分别对角突臂尾轮虫的野外种群和实验室培养种群的个体体积与温度的关系进行了研究,均发现它的个体体积随水温升高而减小。本文作者对角突臂尾轮虫的研究结果进一步证实了 Galindo 等 [6] 和胡好远等 [6] 的结论;对萼花臂尾轮虫研究的结果同 Pourriot [5] 的结论基本一致,而与 Galindo [6] 的研究结果截然相反。至于本研究中剪形臂尾轮虫的个体体积与水温、叶绿素 a 浓度间均没有显著的相关关系,这可能与本研究的剪形臂尾轮虫主要发生于水温变化幅度较小的夏季、其个体大小的季节变异较小均有关。

本研究发现萼花臂尾轮虫和角突臂尾轮虫的个体体积均与水体叶绿素 a 浓度间呈显著的负相关关系;Green [7] 发现,同水体叶绿素 a 浓度低的贫营养湖泊相比,叶绿素 a 浓度高的富营养化湖泊中螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)的个体体积随水温升高而减小的趋势更明显;上述结果说明了水体叶绿素 a 浓度会影响部分种类轮虫的个体体积。

3.3 臂尾轮虫卵大小及其对策

Walz 等 [8] 认为,较大的轮虫产出的卵较大。本研究发现萼花臂尾轮虫、角突臂尾轮虫和裂足臂尾轮虫的卵体积均与各自的被甲长度呈显著的正相关,这显然与 Walz 等 [8] 的结论一致;然而胡好远等 [9~20] 的实验结果却显示角突臂尾轮虫的个体大小与卵大小间无显著相关性;本次实验发现剪形臂尾轮虫的卵体积与其被甲长度之间亦无显著的相关关系,这与胡好远等 [21~22] 的结果基本一致,此现象产生的原因需要经过实验进一步研究予以解决。

众多研究表明,温度、食物种类和浓度、携卵量等因素可以影响轮虫的卵大小 [2,4,6,11,15,21,22]。除携卵量对裂足臂尾轮虫、剪形臂尾轮虫的卵大小无显著的影响外,本研究的结果同前人的结论基本一致,且水温是影响镜湖萼花臂尾轮虫和角突臂尾轮虫卵大小的主要因子. 水温成为主要影响因子的原因可能是由于镜湖目前的营养水平较高 [1],食物已不是影响轮虫卵大小的限制性因子,食物因子可能只是加强了卵大小随水温的上升而减小的趋势。

卵大小的选择是轮虫采取的重要生殖对策 [21]。Xi 等 [2] 通过实验室研究发现,在不同的食物等条件下,萼花臂尾轮虫可以采取产生体积较大但数目相对较少或产生体积较小但数目相对较多的卵来最大限度地提高种群增长率。本研究中,角突臂尾轮虫的卵体积与水温具有显著的负相关性,但其一生中的产卵量与温度间的关系如何仍需进一步研究。

References:

[1] Sládeček V. Rotifers as indicators of water quality. Hydrobiologia, 1983, 100: 169-201.

[2] Xi Y L, Liu G Y, Jin H J. Population growth, body size, and egg size of two different strains of *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera) fed different algae. Journal of Freshwater Ecology, 2003, 17 (): 185-190.

[3] Hu H Y, Xi Y L, Geng H. Effects of food concentration on population growth, and body and egg volume in three strains of *Brachionus angularis*. Zoological Research, 2002, 23 (): 384-388.

[4] Liu G Y, Xi Y L. Effect of food level on population growth, body size, and egg size of two different strains of *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera). Journal of Freshwater Ecology, 2003, 18 (): 175-177.

[5] Geng H, Xi Y L, Hu H Y. Effect of food component and concentration on population growth, body size, and egg size of freshwater rotifer *Brachionus rubens*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14 (): 753-756.

[6] Hu H Y, Xi Y L, Geng H. Effects of temperature on life history strategies of three strains of *Brachionus angularis* Gosse. Acta Hydrobiologica

Sinica, 2004, 28(6): 284－287.

[7] Wen X L, Xi Y L, Zhang L, *et al*. Analysis of community structure of Rotifera and ecological assessment of water quality in Lake Jinghu in Wuhu city. Acta Hydrobiologica Sinica, 2006, 30(2): 152－158.

[8] Zhang L, Xi Y L, Dong L L, *et al*. Allozyme analysis on the summer population of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera) in Lake Jinghu and study on reproductive variation among clones. Acta Zoologica Sinica, 2005, 51(4): 678－684.

[9] Koste W. Rotatoria. Die R dertiere Mitteleuropas, Bd Ⅱ. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1978.

[10] Zhang Z S, Huang X F. Methods for study on freshwater plankton. Beijing: Science Press, 1991, 358－362.

[11] Sarma S S S, Rao T R. Effect of food level on body size and egg size in a growing population of the rotifer *Brachionus patulus* Muller. Arch Hydrobiol, 1987, 111(2): 245－253.

[12] Kirk K L. Egg size, offspring quality and food level in planktonic rotifers. Freshwater Biology, 1997, 37: 515－521.

[13] Roche, Kennedy F. Growth of the rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas in dairy waste stabilization ponds. Wat. Res., 1995, 29(10): 2255－2260.

[14] King C E, Serra M. Seasonal variation as a determinant of population structure in rotifers reproducing by cyclical parthenogenesis. Hydrobiologia, 1998, 387/388: 361－372.

[15] Pourriot R. Rapports entre la temperature, la faille des adultes, la longueuer desoeufs et taux de development embryonnaire chez *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotatoria). Ann. Hydrobiol., 1973, 4(): 103－115.

[16] Galindo M D, Guisande C, Toja J. Reproductive investment of several rotifer species. Hydrobiologia, 1993, 255/256: 317－324.

[17] Green J. Strategic variation of egg size in *Keratella cochlearis*. Hydrobiologia, 1998, 387/388: 301－310.

[18] Walz N, Sarma S S S, Benker U. Egg size in relation to body size in rotifers: an indication of reproductive strategy. Hydrobiologia, 1995, 313/314: 165－170.

[19] Hu H Y, Xi Y L, Geng H. Effects of food concentration on population growth, body size, and egg size of the freshwater rotifer *Brachionus angularis*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(7): 875－878.

[20] Hu H Y, Xi Y L. Effects of population growth phase and food concentration on body size strategy and reproduction strategy of *Brachionus angularis*. Journal of Anhui Normal University (Natural Science), 2004, 27(2): 179－183.

[21] Guisande C, Mazuelos N. Reproductive pattern of *Brachionus calyciflorus* Pallas at different food concentrations. J. Plankton Res., 1991, 13(2): 279－286.

[22] Walz N, Rothbucher F. Effect of food concentration on body size, egg size, and population dynamics of *Brachionus angularis* (Rotatoria). Verh. Int. Ver. Limnol., 1991, 24: 2750－2753.

参考文献:

[3] 胡好远, 席贻龙, 耿红. 食物浓度对三个地理品系角突臂尾轮虫种群增长、个体大小和卵体积的影响. 动物学研究, 2002, 23(5): 384~388.

[5] 耿红, 席贻龙, 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. 应用生态学报, 2003, 14(5): 753~756.

[6] 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. 水生生物学报, 2004, 28(3): 284~288.

[7] 温新利, 席贻龙, 张雷, 等. 芜湖市镜湖轮虫群落结构分析及水质生态学评价. 水生生物学报, 2006, 30(2): 152~158.

[8] 张雷, 席贻龙, 董丽丽, 等. 镜湖萼花臂尾轮虫夏季种群等位酶分析以及克隆间的生殖差异研究. 动物学报, 2005, 51(4): 678~684.

[10] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991. 364~367.

[19] 胡好远, 席贻龙, 耿红. 食物浓度对角突臂尾轮虫种群增长、个体大小和卵大小的影响. 应用生态学报, 2002, 13(7): 875~878.

[20] 胡好远, 席贻龙. 种群增长阶段和食物浓度对角突臂尾轮虫个体大小对策的影响. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2004, 27(2): 179~183.