

镜湖夏秋季节裂足臂尾轮虫卵率变化及影响因素

张兴安, 席贻龙*, 温新利

(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; 安徽芜湖 241000)

摘要: 调查了安徽省芜湖市镜湖中裂足臂尾轮虫的卵率, 分析了卵率与种群密度、食物资源、潜在捕食者和竞争者、水温、水体透明度、溶氧、pH 以及氨氮浓度等之间的关系。结果表明, 大湖区中, 裂足臂尾轮虫的卵率在 0.095—1.073 间变动, 均值为 0.293; 卵率与种群密度和透明度呈显著的负相关(r 值分别为 -0.346 和 -0.329), 与总叶绿素 a 含量和直径小于 $25\ \mu\text{m}$ 的藻类叶绿素 a 含量均呈显著的正相关(r 值分别为 0.457 和 0.417); 异尾轮虫密度对裂足臂尾轮虫卵率的影响具有明显的时滞效应($r = 0.382$); 在晶囊轮虫密度高峰期, 其密度是影响卵率的最主要因素($R^2 = 0.5074$)。小湖区中, 裂足臂尾轮虫的卵率在 0.0471—0.5455 间变动, 均值为 0.194; 卵率只与总叶绿素 a 含量呈显著的正相关($r = 0.356$)。研究结果提示影响裂足臂尾轮虫卵率的因素具有时空异质性。

关键词: 裂足臂尾轮虫; 卵率; 影响因子; 相关分析

Factors affecting egg-ratio of *Brachionus diversicornis* in Lake Jinghu during summer and autumn

ZHANG Xing'an, XI Yilong*, WEN Xinli

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

Abstract: The egg ratio of *Brachionus diversicornis* during summer and autumn in Lake Jinghu, Wuhu City, Anhui Province, was investigated, and the relationships between the egg ratio and its population density, food resource, potential predators and competitors, water temperature, transparency, dissolved oxygen, pH value as well as the N-NH_4^+ concentration in water column were also analyzed. The results showed that in the big region of the lake, the egg ratio of *B. diversicornis* ranged from 0.095 to 1.073, with an average of 0.293, and was negatively correlated with both the rotifer population density and water transparency (r was -0.346 and -0.329 , respectively), but positively correlated with both the total Chl-a content and the Chl-a content in water filtered through $25\ \mu\text{m}$ net (r was 0.457 and 0.417 , respectively). An obvious time-lag effect of *Trichocerca* density on the egg ratio of *B. diversicornis* was observed. *Asplanchna* density was a main factor affecting the egg ratio of *B. diversicornis* during the end of June and the beginning of September ($R^2 = 0.5074$). In the small region of the lake, the egg ratio of *B. diversicornis* ranged from 0.0471 to 0.5455, with an average of 0.194, and was positively correlated with only the total Chl-a content ($r = 0.356$). All the results stated above indicated that the factors affecting the egg ratio of *B. diversicornis* have spatial and temporal heterogeneity.

Key Words: rotifer; *Brachionus diversicornis*; egg ratio; affecting factor; correlation analysis

作为重要的生活史参数之一, 卵率是指种群中平均每个雌体所携带的非混交卵数目^[1-2]。由于卵是潜在的后代, 因此卵率已经被广泛用于理解并预测浮游轮虫自然种群的增长模式^[3]。

通常认为, 种群密度和卵率之间有着负相关关系。在种群密度较低的情况下, 当食物和空间等资源不受

基金项目: 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资助项目(2004sys003); 重要生物资源的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: 2009-09-09; 修订日期: 2009-12-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ylx1965@yahoo.com.cn

限制时,浮游轮虫种群中的每个雌体每天产生 3—5 个卵^[4-5];而当资源有限时,种群增长达到一个静止期,非混交卵产量下降,最终导致了种群密度和卵率之间的负相关关系^[6]。然而,也有一些野外调查发现,轮虫自然种群密度和卵率间没有相关性^[7]。

除了种群密度外,光周期、温度和盐度等非生物因素也可以影响轮虫卵的产生、孵化和种群的增长,从而引起卵率与种群密度关系的改变^[3];而水体 pH、溶解氧、氨氮浓度等非生物因素通常不会对轮虫的卵率产生强烈的影响^[8]。生物因素中,食物资源通常与轮虫的卵率存在着明显的正相关^[9-12],桡足类和肉食性轮虫会选择性地以携卵雌体和卵为食^[13-16];竞争作用不但会引起轮虫卵的丢失,而且会影响携卵雌体的生存^[3]。

卵率对于预测自然种群数量变动具有重要的意义。目前对于自然水体中轮虫卵率的动态变化及其影响因素研究国外已有一些报道,而国内至今还未见报道。裂足臂尾轮虫(*Brachionus diversicornis*)是芜湖市镜湖中轮虫常见种,其发生周期较长^[17]。为此,作者分析了夏秋季裂足臂尾轮虫的卵率动态变化及其影响因素,为阐明浅水湖泊中轮虫种群变动机理积累资料。

1 材料和方法

1.1 镜湖的地理概况及采样站的设置

镜湖所在的安徽省芜湖市地处东经 119°21′,北纬 31°20′,属于亚热带湿润季风气候。春季和秋季时间较短,夏季时间较长。年平均温度 15.7—16℃;极高温 41℃,极低温 -15℃。年降水量 1198.1—1413.2 mm,以 6 月份最多,平均 200—300 mm;12 月份最少,仅 35—60 mm。镜湖位于芜湖市中心,处于人为管理下,是一个典型的城市湖泊。镜湖分大小两个湖区,中间以长约 20 m、宽约 10 m 的水道相连;整个水域面积 0.15 km²,大湖区约是小湖区面积的 2 倍;湖水平均深度 2 m。由于镜湖水域面积相对较小,根据实验需要,调查时分别在大小两个湖区的中央各置一个采样站(图 1)。

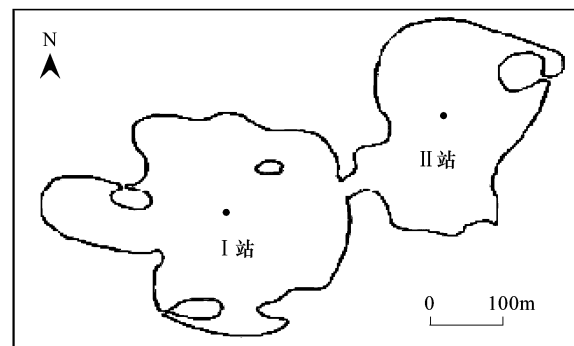


图 1 镜湖轮虫采样点分布图

Fig. 1 Sampling stations in Lake Jinghu

1.2 轮虫样品的采集与计数

2008 年 5 月初到 10 月末,每间隔 3—4 d 采集浮游动物样品 1 次。采样时,用 2.5 L 采水器在 3 个深度(0、0.5、1 m)各取水 5 L,用孔径为 25 μm 的筛绢过滤收集后,立即用 4% 的蔗糖-福尔马林溶液固定^[18],实验室内静置后浓缩成 30 ml。样品分析前小心摇匀浓缩液,取 1 mL 于计数框内,在 OLYMPUS 显微镜下全片计数,取 3 次重复的均数。与 Walz^[19]观察的结果相似,镜湖中裂足臂尾轮虫的卵相对于其它轮虫的卵来说较大,呈椭圆形,混交卵(休眠卵)相对于非混交卵来说颜色更深、更致密。因此,本研究中母体携带的卵(包括休眠卵)和从母体脱落的卵均被计数以便较准确地计算卵率,脱落卵通过它们的形状、大小及轮虫母体所携带的卵的比较来鉴定^[20-21]。

1.3 水体理化因子测定

浮游动物样品采集的同时,同步测定水体的理化因子。用 2.5 L 的采水器于 3 个深度(0、0.5、1 m)各取水 5 L,混合均匀后取水 1 L 直接用于总叶绿素 a 含量的测定,另取水 1 L 经孔径为 25 μm 的筛绢过滤后用于直径小于 25 μm 的藻类(可食性食物资源)叶绿素 a 含量的测定。叶绿素 a 含量的测定用丙酮分光光度法^[22]。

采样时,用水银温度计测定水温,塞奇氏圆盘测定透明度,HANNA-HI-9143 型溶氧仪测定溶氧值,pH-2c 型数显酸度计测定水体 pH 值,WT-1 型氨氮仪测定氨氮浓度。

1.4 数据分析

应用 SPSS 11.5 统计软件对两湖区中裂足臂尾轮虫的卵率与该种轮虫的种群密度、叶绿素 a 含量、其他

种类的轮虫密度、轮虫总密度、潜在的捕食者密度、潜在的竞争者密度、水温、透明度、溶氧、pH 值及氨氮浓度等进行有时滞和无时滞的相关分析。在所有分析中,皮尔森相关系数在 $P < 0.05$ 被采用。

2 结果和分析

2.1 裂足臂尾轮虫的环境状况

镜湖两湖区间,裂足臂尾轮虫的部分环境参数存在着一定的差异,但总体变化基本一致(表 1)。无论大湖区还是小湖区,鱼类的密度很低;桡足类的密度也较低,并非每次采样都可得到;因此,裂足臂尾轮虫的捕食者主要是晶囊轮虫,其密度见表 2。

镜湖内,无节幼体和枝角类的密度均小于 1.0 个/L;因此,裂足臂尾轮虫的竞争者可能主要是其它轮虫优势种类,它们的种群密度如表 2 所示。

表 1 镜湖裂足臂尾轮虫的环境状况

Table 1 Environmental condition of *Brachionus diversicornis* in Lake Jinghu

参数 Parameters	大湖区 Big region	小湖区 Small region
总叶绿素 a 含量 Total Chl-a content / ($\mu\text{g/L}$)	8.19—79.72	10.92—70.434
过滤水样中叶绿素 a 含量 Chl-a content in water filtered through 25 μm net / ($\mu\text{g/L}$)	6.56—70.43	8.19—59.514
水温 Water temperature / $^{\circ}\text{C}$	20.6—33.5	20.6—34
透明度 Transparence / cm	50—91	45—90
溶氧 DO / (mg/L)	4.14—9.09	3.48—9.38
pH	7.3—8.2	7.26—8.33
氨氮浓度 N-NH_4^+ Concentration / (mg/L)	0.48—1.36	0.42—1.45

表 2 镜湖常见轮虫的密度

Table 2 Densities of frequent rotifers in Lake Jinghu

常见轮虫密度 Density of frequent rotifers	大湖区 Big region	小湖区 Small region
剪形臂尾轮虫密度 <i>Brachionus forficula</i> density / (个/mL)	0.7—55.3	0.7—22.7
角突臂尾轮虫密度 <i>B. angularis</i> density / (个/mL)	2.3—72.7	2.7—100.3
长肢多肢轮虫密度 <i>Polyarthra dolichoptera</i> density / (个/mL)	46.3—2434.3	116.7—1164.3
裂痕龟纹轮虫密度 <i>Anuraeopsis fissa</i> density / (个/mL)	52.3—530.7	38.0—530.3
长三肢轮虫密度 <i>Filinia longiseta</i> density / (个/mL)	8.7—524.7	2.3—1114.7
异尾轮虫密度 <i>Trichocerca</i> density / (个/mL)	28.3—506.7	24.0—450.3
疣毛轮虫密度 <i>Synchaeta</i> density / (个/mL)	4.7—320.0	2.3—338.7
晶囊轮虫密度 <i>Asplanchna</i> density / (个/mL)	4.2—97.7	2.7—78.2
轮虫总密度 Total rotifer density / (个/mL)	266.0—3254.3	538.0—2690.7

2.2 裂足臂尾轮虫种群密度和卵率的变化

大湖区中,裂足臂尾轮虫的种群密度在 3.9—297.33 个/L 间变动,5 月中上旬和 9 月中下旬出现两个高峰,5 月末和 10 月中旬出现两个低谷;卵率在 0.095—1.073 间变动,均值为 0.293,在 5 月末出现 1 个高峰,8 月下旬和 9 月中旬出现次高峰。小湖区中,裂足臂尾轮虫的种群密度在 7.33—257.33 个/L 间变动,5 月上旬和 9 月末到 10 月初出现 2 个峰值,在 5 月末和 7 月中下旬出现 2 个低谷;卵率在 0.0471—0.5455 间变动,均值为 0.194,在 6 月初出现 1 个峰值,7 月末、9 月初和 9 月下旬出现 3 个次高峰(图 2)。

2.3 影响裂足臂尾轮虫卵率的相关因子分析

相关分析表明,大湖区中,裂足臂尾轮虫的种群密度和其卵率之间具有显著的负相关性($r = -0.346$);但小湖区中两者间却没有显著的相关性($r = -0.136$)。两个湖区中裂足臂尾轮虫的种群密度对其卵率的影响都没有时滞效应。

两湖区中,裂足臂尾轮虫卵率与总叶绿素 a 含量间均呈显著的正相关,且都无明显的时滞效应。大湖区中,裂足臂尾轮虫卵率与过滤水样中的叶绿素 a 含量呈显著的正相关,与水体透明度间存在着显著的负相关,

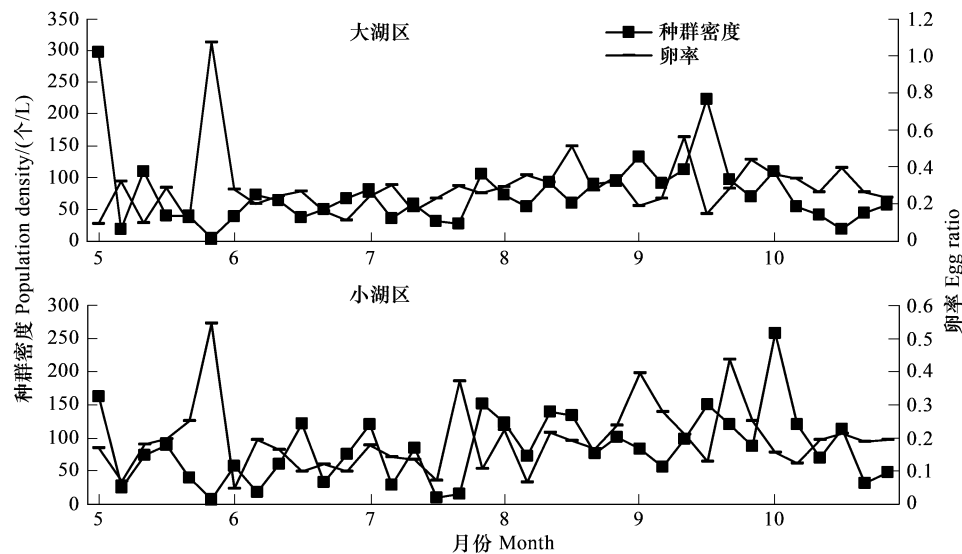


图2 镜湖裂足臂尾轮虫种群密度与卵率的动态变化

Fig.2 Dynamics of *B. diversicornis* density and egg ratio in Lake Jinghu

但都无明显的时滞效应;与异尾轮虫密度间具有显著的正相关性,且这种相关性具有明显的时滞效应。而在小湖区中,裂足臂尾轮虫卵率与过滤水样中的叶绿素 a 含量、水体透明度以及异尾轮虫密度间均无显著的相关性(表 3)。

表 3 镜湖裂足臂尾轮虫卵率和生态因子间的相关性分析(*r* 值)

环境因子 Environmental factors	小湖区 Small region		大湖区 Big region	
	有时滞	无时滞	有时滞	无时滞
	With time lag	Without time lag	With time lag	Without time lag
总叶绿素 a 含量 Total Chl-a content	0.158	0.356 *	0.078	0.457 **
过滤水样中叶绿素 a 含量 Chl-a content in water filtered through 25 μm net	0.155	0.287	0.102	0.417 *
水温 Water temperature	-0.255	-0.086	-0.179	-0.129
透明度 Transparence	-0.129	-0.206	-0.036	-0.329 *
溶氧 DO	0.108	-0.085	-0.090	-0.073
剪形臂尾轮虫密度 <i>B. forficula</i> density	-0.127	0.338	-0.028	0.101
角突臂尾轮虫密度 <i>B. angularis</i> density	-0.138	-0.257	0.173	0.114
长肢多肢轮虫密度 <i>P. dolichoptera</i> density	0.105	-0.071	-0.043	-0.019
裂痕龟纹轮虫密度 <i>A. fissa</i> density	0.004	0.068	0.052	0.043
长三肢轮虫密度 <i>F. longiseta</i> density	-0.193	-0.017	-0.172	-0.170
异尾轮虫密度 <i>Trichocerca</i> density	0.130	-0.197	0.382 *	0.048
疣毛轮虫密度 <i>Synchaeta</i> density	0.294	0.127	0.174	0.049
晶囊轮虫密度 <i>Asplanchna</i> density	0.024	0.192	-0.120	0.178
轮虫总密度 Total rotifer density	0.073	-0.035	0.061	-0.027

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上具有显著的相关性

两个湖区中的裂足臂尾轮虫卵率与水温、溶氧、pH、氨氮浓度、桡足类密度、其他轮虫的密度以及轮虫总密度间均没有显著的相关性(表 3)。

整个采样期间,大湖区中总叶绿素 a 含量、过滤水样中叶绿素 a 含量以及水体透明度两两间均存在相关性,因此分别应用三次多元回归分析方法分析了轮虫卵率(*Y*)与其种群密度(*X*₁)、总叶绿素 a 含量(*X*₂)、过滤水样中叶绿素 a 含量(*X*₂)、透明度(*X*₂)间的关系(表 4)。比较分析结果发现,只有总叶绿素 a 含量和过滤

水样中叶绿素 a 含量对卵率有显著的影响,标准化偏回归系数说明整个研究期间总叶绿素 a 含量与卵率的关系更密切。

表 4 大湖区中影响裂足臂尾轮虫卵率的各种因子与卵率的多元回归分析

Table 4 Multi-regression analysis on the relationships between egg ratio of *B. diversicornis* and each environmental factor in big region of Lake Jinghu

因素源 Source	标准化偏回归系数 Beta coefficient	方程决定系数 <i>R</i> ²
方程(a) Full Model (a)		
种群密度 Population density	-0.251	0.268 **
总 Chl-a 含量 Total Chl-a content	0.397 *	
方程(b) Full Model (b)		
种群密度 Population density	-0.248	0.231 **
过滤水样中叶绿素 a 含量 Chl-a content in water filtered through 30μm net	0.347 *	
方程(c) Full Model (c)		
种群密度 Population density	-0.304	0.199 *
透明度 Transparency	-0.285	

* $P < 0.05$ ** $P < 0.01$

大湖区中,晶囊轮虫高峰期时的密度与裂足臂尾轮虫卵率间存在显著的负相关(图 3,图 4);而小湖区中两者间却没有显著的相关性;而其它生态因子却与裂足臂尾轮虫卵率间没有显著的相关性,说明此阶段晶囊轮虫的种群密度是影响裂足臂尾轮虫卵率动态变化的主要因子。

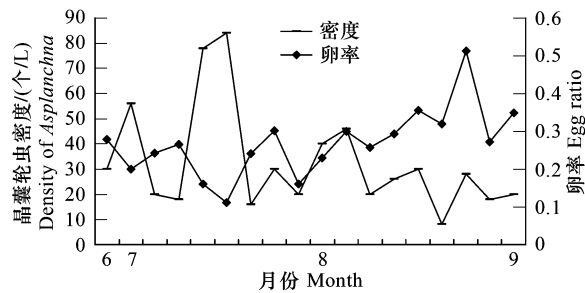


图 3 大湖区中晶囊轮虫高峰期时的密度与裂足臂尾轮虫卵率的变化

Fig. 3 Dynamics of *Asplanchna* density and egg ratio of *B. diversicornis* in big region of Lake Jinghu

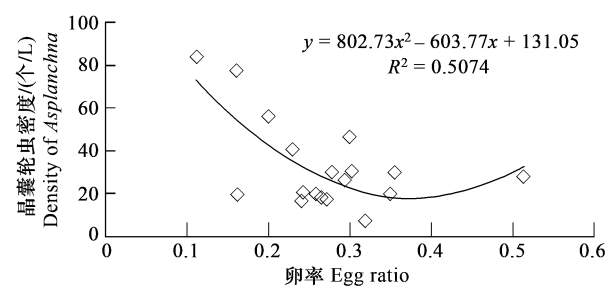


图 4 大湖区中晶囊轮虫高峰期时的密度与裂足臂尾轮虫卵率的关系

Fig. 4 Relationship between *Asplanchna* density during peak period and egg ratio of *B. diversicornis* in big region of Lake Jinghu

3 讨论

3.1 非生物因子和轮虫卵率

水体中,溶氧含量、pH 及氨氮浓度等正常范围内的改变,通常不会对包括轮虫在内的浮游动物卵率产生强烈的影响^[8]。本研究中,镜湖水体的溶氧、pH 及氨氮浓度的变化并未超过正常范围,因此它们与裂足臂尾轮虫卵率间也无显著的相关性。

水温对卵率的影响首先通过影响胚胎和胚后发育时间^[3]。在较低温度下,胚胎的发育和孵化比在较高温度下慢^[23],因而温度的改变可极大地改变卵率和种群密度的相互关系。本研究期间,相邻时间段内镜湖水温的波动不大,这可能是水温与裂足臂尾轮虫卵率没有显著相关性的主要原因。

在许多富营养化水体中,来自生物的悬浮物质和来自非生物的悬浮物质通常都与水体透明度有关^[24]。如果水的混浊度主要同浮游植物生物量(叶绿素 a)相关,那么透明度可能与卵率相关^[20]。镜湖是一个人工管理下的小型城市湖泊,透明度与浮游植物关系密切,这可能是大湖区中裂足臂尾轮虫卵率与透明度呈显著

负相关的原因。至于小湖区中裂足臂尾轮虫卵率与透明度之间无显著相关性的原因仍有待于进一步的研究。

3.2 食物资源和轮虫卵率

一般认为,水体中叶绿素 a 含量是反应水体中浮游动物的食物资源多少的一个重要指标^[22]。但由于浮游轮虫个体较小,其所能摄食的食物颗粒直径一般在 20 μm 以下^[25],故可将食物资源划分为总食物资源和可食性食物资源。本研究也将未经过滤的水体叶绿素 a 含量和过滤后的水体叶绿素 a 含量分别作为总食物资源和可食性食物资源丰度的指标。

本研究所发现的大湖区中裂足臂尾轮虫卵率与其种群密度之间显著的负相关性通常出现于被食物控制的自然种群或实验室种群中,并且表明了高度的种内相互作用^[6, 3]。在大多数情况下,食物资源对轮虫生存和繁殖都有重要的影响^[11];对大多数浮游动物来说,卵产量随着藻类密度的增加而增加是一个普遍的规律^[9, 12],卵率主要依赖于食物密度^[7],本研究结果与其一致;但比较裂足臂尾轮虫卵率与总食物资源的相关值和裂足臂尾轮虫卵率与可食性食物资源的相关值可以发现,卵率与总食物资源的相关性更强一些。这可能是由于一些较大的藻类虽不能直接被轮虫摄食,但可在细菌的作用下很快形成碎屑,再被轮虫摄食。

食物资源对裂足臂尾轮虫卵率没有明显的时滞效应,可能是由于本研究期间,镜湖水温较高,裂足臂尾轮虫寿命短、种群周转快。Urabe^[26]发现,大部分轮虫的野生种群开始繁殖时相对较年轻,但繁殖后雌体接近消失;另外,水温超过 20 $^{\circ}\text{C}$ 时卵成熟和孵化的时间都较短^[3]。

3.3 潜在捕食者密度和轮虫卵率

接近性成熟的桡足类和肉食性轮虫对卵与携卵雌体所具有的相似的选择性捕食能够影响有被甲轮虫的卵率^[13, 15-16],卵率和捕食者密度之间呈显著的负相关^[14]。本研究中,镜湖桡足类密度很低,且大多数时间内几乎没有发现桡足类成体,故在镜湖水体中只有晶囊轮虫能够对裂足臂尾轮虫等表现出捕食压力。在大湖区中,自 6 月底到 9 月初晶囊轮虫密度与裂足臂尾轮虫卵率呈显著的负相关表明捕食作用确实是影响卵率的一个重要因素。但在小湖区中,晶囊轮虫密度与裂足臂尾轮虫卵率始终未表现出显著的相关性。究其原因,可能与该湖区中晶囊轮虫密度相对低于大湖区而其它轮虫尤其是除了裂足臂尾轮虫以外的小型轮虫的密度相对高于大湖区具有一定的关系。因为当不同大小的轮虫处于同一生境时,捕食者首先选择个体小的轮虫^[27];由于裂足臂尾轮虫个体较大,受到的捕食压力小于其它小型轮虫;在晶囊轮虫密度相对较低的情况下,裂足臂尾轮虫受到的捕食压力更小。

3.4 潜在竞争者密度与轮虫卵率

竞争是可以影响池塘和湖泊中浮游动物卵率的另一重要因素^[28]。在各大类浮游动物之间,枝角类和轮虫密度之间往往呈负相关关系^[29]。镜湖中,枝角类和无节幼体数量较低,故它们对裂足臂尾轮虫卵率影响不大。理论上,在食物资源有限的情况下,食性相同或相似的轮虫种间可形成竞争关系。本研究中,异尾轮虫密度与裂足臂尾轮虫卵率具有显著的正相关性且这种相关性具有明显的时滞效应,这表明两者间不存在竞争关系。虽然两者的食性尚无从得知,但从其它各种潜在的竞争性轮虫密度及总轮虫密度与裂足臂尾轮虫卵率间均无显著的相关性可以推测,本研究期间所涉及的镜湖水环境中,非捕食性的轮虫各优势种类均与裂足臂尾轮虫间不存在竞争关系。

3.5 轮虫种群密度与其卵率

一般情况下,轮虫种群密度与其卵率之间常呈负相关性。在低种群密度下,当资源没有限制时浮游轮虫种群中的每个雌体每天产生 3—5 个卵^[4-5];然而当资源变得有限时,种群增长达到一个静止期,非混交卵产量下降,最终导致了种群密度和卵率之间的负相关关系^[6];本研究中,大湖区中的裂足臂尾轮虫种群密度与其卵率间的确呈显著的负相关性。但也有一些野外研究表明,轮虫种群密度和卵率之间无显著的相关性^[7];本研究中,小湖区中的裂足臂尾轮虫种群密度与其卵率间也无显著的相关性。

3.6 显著相关因子的相对强度

整个研究阶段中,影响镜湖裂足臂尾轮虫卵率的最关键因子是食物资源;但 6 月底到 9 月初,大湖区中

影响卵率变化的最主要因子却是晶囊轮虫密度;这说明影响卵率的生态因子可能不仅存在着相互作用,而且其作用的相对重要性也随着时空的变化而变化。有关各种生态因子对卵率的影响还有待于对更多的湖泊进行较长时间的研究。

References:

- [1] Edmondson W T. Reproductive rates of rotifers in natural populations. *Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia*, 1960, 12: 21-77.
- [2] Edmondson W T. Reproductive rates of planktonic rotifers as related to food and temperature in nature. *Ecological Monographs*, 1965, 35: 61-111.
- [3] Sarma S S S, Gulati R, Nandini S. Factors affecting egg-ratio in planktonic rotifers. *Hydrobiologia*, 2005, 546: 361-373.
- [4] Duncan A. Factors influencing the composition, body size and turnover rate of zooplankton in Parakarama Sumudra, an irrigation reservoir in Sri Lanka. *Hydrobiologia*, 1984, 113: 210-215.
- [5] Sarma S S S, Rao T. The combined effects of food and temperature on the life history parameters of *Brachionus patulus* Muller (Rotifera). *International Revue Gesamten Hydrobiologie*, 1991, 76: 225-239.
- [6] Ooms-Wilms A L, Postema G, Gulati R D. Population dynamics of planktonic rotifers in Lake Loosdrecht, the Netherlands, in relation to their potential food and predators. *Freshwater Biology*, 1999, 42: 77-97.
- [7] Devetter M, Sed'a J. Rotifer fecundity in relation to components of microbial food web in a eutrophic reservoir. *Hydrobiologia*, 2003, 504: 167-175.
- [8] Saunders P A, Porter K G, Taylor B E. Population dynamics of *Daphnia* spp. and implications for trophic interactions in small, Monomictic lake. *Journal of Plankton Research*, 1999, 21: 1823-1845.
- [9] Dumont H, Sarma S S S. Laboratory studies on the population dynamics of *Anuraeopsis fissa* (Rotifera) in relation to food density. *Freshwater Biology*, 1995, 33: 39-46.
- [10] Weithoff G, Walz N. Influence of the *Planktothrix agardhii* on population growth and reproduction pattern of the rotifer *Brachionus calyciflorus*. *Hydrobiologia*, 1995, 313/314: 381-386.
- [11] Merriman J, Kirk K. Temporal patterns of resource limitation in natural population of rotifers. *Ecology*, 2000, 81: 141-149.
- [12] Nandini S, Sarma S S S. Population growth of *Lepadella patella* (Muller O. F., 1786) at different algal (*Chlorella vulgaris*) densities and in association with *Philodina roseola* Ehrenberg, 1832. *Hydrobiologia*, 2001, 446/447: 63-69.
- [13] Conde-Porcuna J, Sarma S S S. Prey selection by *Asplanchna girodi* (Rotifera): the importance of prey defense mechanisms. *Freshwater Biology*, 1995, 33: 341-348.
- [14] Conde-Porcuna J, Declerck S. Regulation of rotifers species by invertebrate predators in a hypertrophic lake: selective predation on egg-bearing females and induction of morphological defenses. *Journal of Plankton Research*, 1998, 20: 605-618.
- [15] LeBlanc J, Taylor W, Johannsson O. The feeding ecology of the cyclopoid copepod *Diacyclops thomasi* in Lake Ontario. *Journal of Great Lakes Research*, 1997, 23: 369-381.
- [16] Ramos-Rodríguez E, Conde-Porcuna J. Impact of copepod predation on the fecundity of *Keratella cochlearis* (Rotifera). *Archiv für Hydrobiologie*, 2004, 161: 541-552.
- [17] Wen X L, Xi Y L, Zhang L, Lu X J. Analysis of community structure of rotifera and ecological assessment of water quality in Lake Jinghu, Wuhu City. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(2): 152-158.
- [18] Haney J, Hall D. Sugar-coated *Daphnia*: a preservation technique for Cladocera. *Limnology & Oceanography*, 1973, 18: 331-333.
- [19] 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.
- [20] López C, Soto L M, Dávalos-Lind L, Lind O. Summer dynamics of egg-ratio of the rotifer *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851) in a eutrophic reservoir: a field study on affecting factors. *Hydrobiologia*, 2007, 589: 175-185.
- [21] Li Y H, Zhang D S. Morphology and distinguish of common resting eggs of rotifers in ponds. *Journal of Dalian Fisheries University*, 1991, (1): 1-11.
- [22] Huang X F. Survey, Observation and Analysis of Lake Ecology. Beijing: Science Press, 1999: 77-79.
- [23] Herzig A. Comparative studies on the relationship between temperature and duration of embryonic development of rotifers. *Hydrobiologia*, 1983, 104: 237-246.

- [24] Lind O. The effect of non-algal turbidity on relationship of Secchi depth to chlorophyll a. *Hydrobiologia*, 1986, 140: 27-35.
- [25] Zhu G Y, Huang X F. Species composition of rotifera with reference to some taxonomic aspects in lake Donghu, Wuhan. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1993, 12: 347-356.
- [26] Urabe J. Midsummer succession of rotifer plankton in a shallow eutrophic pond. *Journal of Plankton Research*, 1992, 14:851-866.
- [27] Yang Y F, Huang X F. The influence of silver carp and bighead on the zooplankton community structure. *Journal of Lake Sciences*, 1992, (3): 78-86.
- [28] Gilbert J. Suppression of rotifer populations by *Daphnia*: a review of the evidence, the mechanism, and the effects on zooplankton community structure. *Limnology & Oceanography*, 1988, 33: 1286-1303.
- [29] Gilbert J, Stemberger R S. *Asplanchna*-induced polymorphism in the rotifer *Keratella slacki*. *Limnology & Oceanography*, 1984, 29:1309-1316.

参考文献:

- [17] 温新利, 席貽龙, 张雷, 陆星家. 芜湖市镜湖轮虫群落结构分析及水质的生态学评价. *水生生物学报*, 2006, 30(2):152-158.
- [21] 李永函, 张东升. 池塘习见轮虫休眠卵的形态和鉴定. *大连水产学院学报*, 1991, (1):1- 11.
- [22] 黄祥飞. 湖泊生态调查观测与分析. 北京:科学出版社, 1999: 77-79.
- [25] 诸葛燕, 黄祥飞. 武汉东湖轮虫种类组成及其分类讨论. *水生生物学报*, 1993, 12: 347-356.
- [27] 杨宇峰, 黄祥飞. 鲢鳙对浮游动物群落结构的影响. *湖泊科学*, 1992, (3):78-86.