第 11 卷 第 2 期
1999 年 6 月
湖 泊 科 学
JOURNAL OF LAKE SCIENCES
Vol.11, No.2
Jun., 1999

水质酸化对双棘臂尾轮虫种群动态的影响*

席贻龙 黄祥飞
(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要 用人工酸化的东湖水为培养液对双棘臂尾轮虫进行室内单个体培养研究. 结果表明, 与用未酸化的东湖水培养结果相比, 轮虫非混交雌体的平均产卵量在 pH6.5、5.5 和 4.5 时增加, 而在 pH3.5 时减少. 在 pH5.5 和 3.5 时轮虫种群的内禀增长率增大, 种群中无混交雌体出现; 而在 pH6.5 和 4.5 时内禀增长率减小, 混交雌体百分率增大. 在本实验 pH 范围内, 双棘臂尾轮虫具有耐酸性.

关键词 水质酸化 双棘臂尾轮虫 种群动态
分类号 X517 Q959.181

酸雨是当今全球关注的跨国界污染危害之一, 由其引起的淡水湖泊和河流酸度增加, 已是北欧和北美水生态系统的主要环境问题[1]. 在我国, 环境监测结果表明, 酸雨在一些城市比较严重[2]. 有关酸雨对水生生物影响的研究, 国内外皆有许多报道[1]; 对轮虫影响的研究, 主要是通过比较酸性湖泊与邻近的非酸性湖泊中轮虫群落结构的差异[3]以及通过原位中宇宙酸化实验等方法[4,5]进行的. 对单个种群的存活和繁殖影响的研究则较少. 国内外学者 Mitchell[6,7]、王金秋[8]等曾从轮虫培养的角度研究了培养液 pH 值的不同对萼花臂尾轮虫(*B. calyciflorus*)存活、繁殖或种群增长等方面的影响.

双棘臂尾轮虫(*Brachionus bidentata* Anderson)为武汉东湖轮虫新记录种类[9], 属暖水、窄温性动物[10]. 有关其种群生态学方面的研究, 至今未见报道. 本文以其为受试动物, 通过实验室内人工酸化天然东湖水, 研究了水体不同酸度对双棘臂尾轮虫存活和繁殖的影响, 旨在探明水质酸化对轮虫种群动态的影响, 以丰富水质酸化对水生生物影响的研究内容; 同时为轮虫的种群生态学研究积累资料.

1 材料和方法

1.1 实验材料的培养

实验用双棘臂尾轮虫由武汉东湖底泥中的休眠卵孵化所得. 实验室内于 28℃、自然光照(光照强度约 500lx, 昼长比 L:D = 18:6)下进行培养, 培养液采用经孔径为 0.45μm 微孔滤膜过滤的东湖水(pH8.4), 饵料为 HB-4 培养基[11]培养的、处于指数增长期的蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*). 酸化实验前, 随机挑选由第一代非需精雌体产生的带卵雌体置于各相应 pH 的培养液中进行预培养. 培养液为过滤后的东湖水经 1M 硫酸化而成. 喂食时, 将小球藻经各相应 pH 的培养液反复离心 2-3 次后使用. 预培养时的其它条件与上述相同. 每间

* 中国科学院"九五"重大项目资助.
收稿日期: 1998-3-15; 收到修改稿日期: 1998-6-15. 席贻龙, 男, 1965 年生, 博士生, 副教授.

隔 1-2h 观察一次卵的孵化情况，取刚孵化的幼体用于酸化实验.

1.2 酸化实验

将刚孵化出的幼体单个培养于特制的玻璃凹穴培养皿中，培养物的体积为 0.5mL，酸度分别与预培养时的相同. 培养时的温度、光照和食物条件也与预培养时相同. 实验时共设 5 组，各组 pH 值分别为 8.4(作对照组)、6.5、5.5、4.5 和 3.5，每组 12 个重复. 实验过程中，每隔 12h(混交雌体间隔 6h)计数轮虫的产卵数及所孵化出的幼体数和母体存活数，之后移去幼体；参照 Mitchell 等的方法[6]每隔 12h 更换一次含浓度约 $6.0\times10^{6}\mathrm{cell\cdot mL^{-1}}$ 蛋白核小球藻的培养液. 实验至轮虫全部死亡为止.

1.3 研究的参数

根据 Birch 的定义和计算方法[12]，本文研究的主要参数有：

(1) 特定年龄存活率(l_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 年龄组平均每个体所产的雌性后代数；

(3) 净生殖率(R_0)：种群在经过一个世代以后的净增长率(每个体一生中所产的雌性后代数)；

(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；

(6) 世代时间(T)：从亲代出生到子代出生所经历的时间.

r_m 的精确值是在粗略计算的基础上，根据方程 $\sum l_x m_x e^{-rx}=1$，通过特制的程序用试算法在计算机中运算求得.

2 结果

2.1 水质酸化对双棘臂尾轮虫种群中混交、非混交雌体百分率及其产卵量的影响

表 1 显示水质酸化程度的不同对轮虫种群中混交、非混交雌体百分率及其产卵量的影响. 在 pH5.5 和 3.5 组中非混交雌体百分率最大，皆为 100%；而 pH6.5 和 4.5 组的非混交雌体百分率皆小于对照组. 非混交雌体一生中的产卵量以 pH6.5 组最大；除 3.5 组外，其它各组的产卵量皆大于对照组；而混交雌体所产雄卵平均数则皆小于对照组.

表 1 不同酸度水体中双棘臂尾轮虫统计群中混交、非混交雌体百分率和产卵量

Tab.1 The percentage of mictic and amictic females of *B. bidentata* and numbers of their eggs in each cohort under various pHs

pH	非混交雌体		混交雌体	
	百分率/%	产卵量($X\pm SD$)	百分率/%	产卵量($X\pm SD$)
8.4	91.67	13.909± ±6.0902	8.33	24
6.5	75	18.778±6.4377	25	16±1.732
5.5	100	18.167±5.2131	0	0
4.5	83.33	15.5±4.8473	16.67	17.5±2.1213
3.5	100	12.083±5.0314	0	0

2.2 水质酸化对双棘臂尾轮虫存活率和繁殖率的影响

实验结果表明，水质酸化程度的不同对双棘臂尾轮虫的存活率和繁殖率影响不同. 在

pH6.5组中,轮虫60h后开始死亡,pH5.5和4.5组中,轮虫36h后开始死亡,pH3.5组中的轮虫24h后即开始死亡,而对照组则在48h时开始死亡.轮虫存活的最长时间皆比对照组(96h)长,依次为108h、132h、156h和108h.各组中,非混交雌体的繁殖率峰值出现的时间也不相同.其中pH6.5、5.5和4.5组为第60h,与对照组相同,而pH3.5组为第36h(图1).

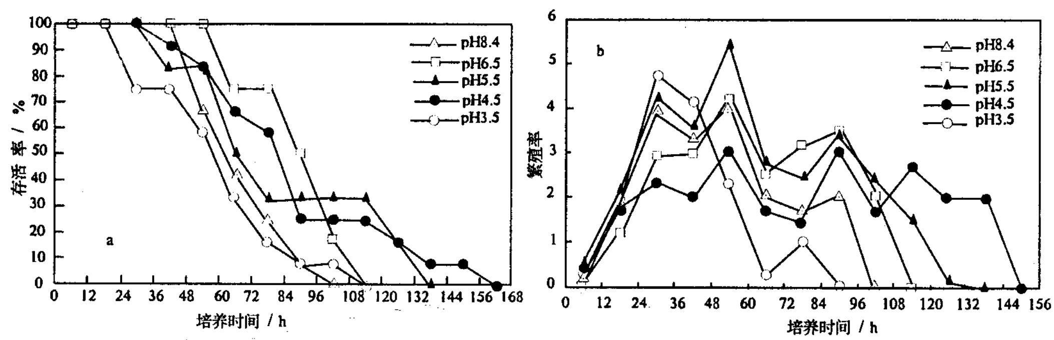

图1　不同酸度水体中双棘臂尾轮虫种群的存活率(a)和繁殖率(b)

Fig.1　The survival and reproductive rate of population of *B. bidentata* under various pHs

2.3　水质酸化对双棘臂尾轮虫种群增长参数的影响

不同酸度的水体中,双棘臂尾轮虫种群的 r_m, λ, R_0 和 T 值的计算结果如表2所示.可以看出,与对照组相比,当水体酸化至pH6.5时,轮虫种群的 r_m 最小, T 值最大,表明对种群增长最为不利,水体酸化至pH4.5时也不利于种群的增长;而当水体酸化至pH5.5和3.5时,种群的 r_m 比对照组增大, T 值减小,表明对种群的增长有利,其中以pH5.5时最为显著.

表2　不同酸度水体中双棘臂尾轮虫的种群增长参数

Tab.2　The parameters of population growth of *B. bidentata* under various pHs

pH	r_m/h^{-1}	λ/h^{-1}	R_0/ind.	T/h
8.4	0.076015	1.078979	12.89805	33.6391
6.5	0.069259	1.071714	18.06668	41.7862
5.5	0.08901	1.093092	17.694405	32.2801
4.5	0.07354	1.076312	13.00000	34.8783
3.5	0.079684	1.082945	10.08332	29.0006

3　讨论

3.1　关于双棘臂尾轮虫培养条件的选择

前已述及,有关双棘臂尾轮虫种群生态学研究,至今未见报道.目前仅知,该种为暖水性种类.有鉴于此,作者选择28℃作为实验的温度.至于该轮虫的饵料,鉴于与之同属的其他种类如萼花臂尾轮虫(*B. calyciflorus*)、红臂尾轮虫(*B. rubens*)和角突臂尾轮虫(*B. angularis*)等皆可摄食蛋白核小球藻[13],加之双棘臂尾轮虫与上述种类具有同类型的头冠和咀嚼器,故选择蛋白核小球藻作为饵料.总之,有关双棘臂尾轮虫培养的最适条件有待于深入研究.

3.2 水质酸化与双棘臂尾轮虫种群增长及混交雌体的形成

已有研究结果表明，培养液 pH 值的不同对萼花臂尾轮虫的种群增长具有不同的影响[6-8].本研究结果也表明，与用天然湖水作培养液培养双棘臂尾轮虫时相比，当水体酸化至 pH5.5 和 3.5 时，轮虫种群的 r_m，有利于种群的增长；而当水体酸化至 pH6.5 和 4.5 时，r_m 增大，有利种群的增长；而当水体酸化至 pH6.5 和 4.5 时，r_m 减小，不利于种群的增长.

关于轮虫混交雌体形成原因的研究，国内外已有许多报道.已知温度、光照和 pH 等非生物因子以及饵料和种群密度等生物因子皆可影响轮虫混交雌体的形成. Mitchel 通过提高萼花臂尾轮虫培养液的 pH 值后发现，不同碱性条件下，混交雌体百分率也不相同[6].本研究结果表明，当水体酸化至 pH5.5 和 3.5 时，种群中无混交雌体形成；而在 pH8.4、6.5 和 4.5 的水体中，皆有混交雌体形成.可见，该种轮虫混交雌体形成的数量随培养液 pH 的不同而异；这与 Mitchell 等对萼花臂尾轮虫的研究结果[6]相似.混交雌体形成条件的研究对于休眠卵的诱导等具有一定的指导意义.

培养液 pH 值的不同对萼花臂尾轮虫和双棘臂尾轮虫等的种群增长和生殖的影响的机理，目前尚不清楚.有关此方面的问题有待进一步研究.

3.3 关于轮虫对酸的敏感性

有关轮虫对酸的敏感性问题的研究最初是通过比较酸性湖泊及其邻近的非酸性湖泊中轮虫种类组成的差异进行的[3]，对这一问题的实验研究主要是 Havens 等人采用的原位中宇宙酸化实验[4].他们通过观察水体酸化过程中轮虫种群的丰度变化而得出能在各种不同酸性水体中存活的种类，并将轮虫分为酸敏感种类、耐酸性种类和嗜酸性种类.其中，酸敏感种类是指在 pH6.0 – 4.5 水体中相继消失的种类，耐酸性种类如螺形龟甲轮虫（*Keratella cochlearis*）等是指能在 pH6.0 以下的水体中生存的种类；而嗜酸性种类如 *Lecane luna* 等是指能在 pH5.0 或 4.5 的水体中成为优势种群的种类.本研究表明，双棘臂尾轮虫能在水质酸化至 pH3.5 的水体中生存和繁殖，据此，作者推测，在上述 pH 范围内，双棘臂尾轮虫具有耐酸性.

与萼花臂尾轮虫的研究结果[6-8]相比，双棘臂尾轮虫在种群存活和增长等方面对水质酸化所作出的反应皆有所不同.可以推测，在上述几个方面，轮虫对水质酸化所产生的反应因种而异.

参 考 文 献

1 王德铭等.酸雨对水生生物影响的研究.生态学报，1989，**9**(1):77 – 83

2 纪斌，程振华.我国的酸雨污染.环境保护，1982，**12**:24 – 27

3 Roff J C *et al*. Zooplankton and zoobenthos communities of selected northern Ontario lakes of different acidities. *Can J Zool*, 1997, **55**:899 – 911

4 Havens K E *et al*. Freshwater plankton community succession during experimental acidification. *Arch Hydrobiol*, 1987, **111** (1):37 – 65

5 王德铭等.水质酸化对水生生物影响的研究.环境科学学报，1992，**12**(1):91 – 96

6 Mitchell S A et al. The effect of elevated pH on the survial and reproduction of *Brachionus calyciflorus*. *Aquaculture*, 1986, **55**:215 – 220

7 Mitchell S A. The effect of pH on *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera). *Hydrobiologia*, 1992, **245**:87 – 93

8 王金秋等.pH 值对萼花臂尾轮虫种群增长及繁殖的影响.应用生态学报，1997，**8**(4):435 – 438

9 诸葛燕，黄祥飞.东湖浮游轮虫的种类演替和数量动态.见:刘建康主编，东湖生学研究(二)，北京:科学出版社，1995.207

-234
10 Koste W. Rotatoria I. Textband. Gebruder Borntraeger. Berlin. Stuttgart, 1978.75-76
11 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
12 Birch L C. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J Anim Ecol*, 1948, **17**(1): 15-26
13 Rothhaupt K O. Changs of the functional responses of the rotifer *Brachionus rubens* and *Brachionus calyciflorus* with particle size. *Limnol Oceanogr*, 1990, **35**(1):24-32

Effects of Water Acidification on the Dynamics of Population Growth of *Brachionus bidentata*

XI Yilong HUANG Xiangfei
(*Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan* 430072)

Abstract

A study was carried to investigate the effects of precipitation-acidified water of Donghu Lake on the survival and reproduction of *Brachionus bidentata* under the condition of individual culture. The experiment was conducted at 28℃ in a photoperial (L:D=18:6) with light intensity about 500 lx. The rotifers were fed with *Chlorella pyronoidosa* at a density of 6.0×10^{6} cells·mL^{-1}, and the mediums were exchanged once twelve hours. The results show that when the rotifers were cultured in unacidified water (pH8.4) of Donghu lake, the percentage of mictic females and the mean number of amictic eggs were 8.33% and 13.909, respectively; The intrinsic rate of the population was 0.076015 h^{-1}. Compared with the above results, when the media was acidified to pH 6.5, 5.5 or 4.5, the numbers of amictic eggs increased to 18.778, 18.167 and 15.5 ind., respectively; but decreased to 12.083 ind. at pH 3.5. The intrinsic rates of the populations at pH 5.5 and 3.5 increased to 0.08901 and 0.079684 h^{-1}, and no mictic females appeared, respectively. At pH 6.5 and 4.5, the intrinsic rates decreased to 0.069258 and 0.07354 h^{-1}, but the percentages of mictic females increased to 25% and 16.67%, respectively. Between pH 6.5 and pH 3.5, *Brachionus bidentata* was acid tolerant.

Key Words Water acidification, *Brachionus bidentata*, population dynamics