

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

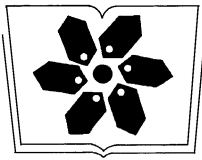
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 11 期 Vol.31 No.11 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 11 期 2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

微生物介导的碳氮循环过程对全球气候变化的响应·····	沈菊培, 贺纪正 (2957)
巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”·····	贾晓会, 施定基, 史绵红, 等 (2968)
我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动·····	文礼章, 张友军, 朱 亮, 等 (2978)
庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织特征映射网络分类与排序·····	张钦弟, 张金屯, 苏日古嘎, 等 (2990)
上海大莲湖湖滨带湿地的生态修复·····	吴 迪, 岳 峰, 罗祖奎, 等 (2999)
芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量·····	武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 等 (3009)
土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应·····	张圣喜, 陈法霖, 郑 华 (3020)
中亚热带几种针、阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响·····	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3027)
桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (3036)
重金属 Cd 胁迫对红树蚬的抗氧化酶、消化酶活性和 MDA 含量的影响·····	赖廷和, 何斌源, 范航清, 等 (3044)
海南霸王岭天然次生林边缘效应下木质藤本与树木的关系·····	乌玉娜, 陶建平, 奚为民, 等 (3054)
半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺·····	杨 磊, 卫 伟, 莫保儒, 等 (3060)
季节性干旱对中亚热带人工林显热和潜热通量日变化的影响·····	贺有为, 王秋兵, 温学发, 等 (3069)
新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝桉柳光合作用及水分利用的生态适应性·····	王珊珊, 陈 曦, 王 权, 等 (3082)
利用数字图像估测棉花叶面积指数·····	王方永, 王克如, 李少昆, 等 (3090)
野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应·····	薛忠财, 高辉远, 柳 洁 (3101)
水磷耦合对小麦次生根特殊根毛形态与结构的影响·····	张 均, 贺德先, 段增强 (3110)
应用物种指示值法解析昆崙山植物群落类型和植物多样性·····	孙志强, 张星耀, 朱彦鹏, 等 (3120)
基于 MSIASM 方法的中国省级行政区体外能代谢分析·····	刘 晔, 耿 涌, 赵恒心 (3133)
不同生态区烟草的叶面腺毛基因表达·····	崔 红, 冀 浩, 杨惠娟, 等 (3143)
B 型烟粉虱对 23 种寄主植物适应度的评估和聚类分析·····	安新城, 郭 强, 胡琼波 (3150)
杀虫剂啉虫脒和毒死蜱对捕食蜘蛛血细胞 DNA 的损伤作用·····	李 锐, 李生才, 刘 佳 (3156)
杀真菌剂咪鲜安对蓼花臂尾轮虫的影响·····	李大命, 陆正和, 封 琦, 等 (3163)
长、短期连续孤雌生殖对蓼花臂尾轮虫生活史和遗传特征的影响·····	葛雅丽, 席貽龙 (3170)
专论与综述	
区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展·····	赵 军, 杨 凯, 邵 俊, 等 (3180)
露水对植物的作用效应研究进展·····	叶有华, 彭少麟 (3190)
葡萄座腔菌科研究进展——鉴定, 系统发育学和分子生态学·····	程燕林, 梁 军, 吕 全, 等 (3197)
人工林生产力年龄效应及衰退机理研究进展·····	毛培利, 曹帮华, 田文侠, 等 (3208)
树木年轮在干扰历史重建中的应用·····	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (3215)
植物中逆境反应相关的 WRKY 转录因子研究进展·····	李 冉, 娄永根 (3223)
研究简报	
三江源地区高寒草原土壤微生物活性和微生物量·····	任佐华, 张于光, 李迪强, 等 (3232)
3 种黑杨无性系水分利用效率差异性分析及相关 <i>ERECTA</i> 基因的克隆与表达·····	郭 鹏, 夏新莉, 尹伟伦 (3239)
猕猴桃园节肢动物群落重建及主要类群的生态位·····	杜 超, 赵惠燕, 高欢欢, 等 (3246)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 298 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-06



封面图说: 盘锦市盘山县水稻田——盘锦市位于辽宁省西南部, 自古就有“鱼米之乡”的美称。这里地处温带大陆半湿润季风气候, 有适宜的温度条件和较长的生长期以供水稻生长发育, 农业以种植水稻为主, 年出口大米达 1 亿多公斤, 是国家级水稻高产创建示范区和重要的水稻产区。

彩图提供: 沈菊培博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: jpshe@reccs.ac.cn

长、短期连续孤雌生殖对萼花臂尾轮虫生活史和遗传特征的影响

葛雅丽, 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:应用单个体培养、聚丙烯酰胺凝胶垂直板电泳技术和特异性染色方法,以具有明显生化遗传差异的3个克隆萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)为对象,对长期(世代数大于200)和短期(世代数约为12)连续孤雌生殖后的轮虫进行了生活史特征和等位酶(PGM, GPI, MDH)分析。结果表明,除3个克隆轮虫的生殖后期历时和每个雌体一生中所产的后代数在长期和短期连续孤雌生殖后的个体之间均无显著的差异外($P>0.05$),其它生活史特征在长期和短期连续孤雌生殖后的个体之间的差异均因轮虫克隆的不同而异。克隆对轮虫的胚胎发育时间、幼体阶段历时、生殖期历时、平均寿命、轮虫每个雌体一生中所产的后代数、幼体大小和幼体的耐饥饿时间均有显著的影响($P<0.05$);连续孤雌生殖历期对轮虫幼体阶段历时、平均寿命、后代混交雌体百分率和幼体的耐饥饿时间均有显著的影响($P<0.05$);而克隆和连续孤雌生殖历期间的交互作用对轮虫的胚胎发育时间、生殖期历时、平均寿命、幼体大小和幼体的耐饥饿时间均有显著的影响($P<0.05$)。长期连续孤雌生殖后的轮虫幼体阶段历时和幼体的耐饥饿时间均显著短于短期连续孤雌生殖后的轮虫,平均寿命显著长于短期连续孤雌生殖后的轮虫,后代混交雌体百分率显著高于短期连续孤雌生殖后的轮虫。3个克隆轮虫在长期和短期连续孤雌生殖后其3种等位酶的酶谱均未出现明显的改变。

关键词:萼花臂尾轮虫;孤雌生殖;生活史特征;等位酶

Effects of long- and short-term successive parthenogenesis on life history and genetics characteristics of *Brachionus calyciflorus*

GE Yali, XI Yilong*

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

Abstract: Life history characteristics and patterns of genetic variation of three *Brachionus calyciflorus* clones with differently biochemical genetics and different durations of successive parthenogenesis were compared by means of individual culture and vertical polyacrylamide gel electrophoresis of isoenzymes (PGM, GPI, MDH). The results showed that the durations of post-reproductive period and the numbers of offspring produced by per female in her life of all the three rotifer clones after long-term successive parthenogenesis (the number of generations was over 200) were similar with those after short-term successive parthenogenesis (the number of generations was about 12) ($P>0.05$), but the differences in all the other life history characteristics differed with the rotifer clone. Of all the three rotifer clones, the embryonic developmental times of clone A and clone D were significantly affected by the duration of successive parthenogenesis ($P<0.05$), and the embryonic developmental time of clone A after long-term successive parthenogenesis was shorter than that after short-term successive parthenogenesis, but the reverse was also true for that of clone D. The durations of juvenile period of clone B and clone D were markedly affected by the duration of successive parthenogenesis ($P<0.05$), and their durations of juvenile period after long-term successive parthenogenesis were shorter than those after short-term successive parthenogenesis. The duration of reproductive period of clone D was significantly affected by the duration of successive parthenogenesis

基金项目:国家自然科学基金(30870369, 30499341);安徽省优秀青年基金(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(2004sy003);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;安徽师范大学青年基金(160-720674)

收稿日期:2010-10-20; 修订日期:2011-03-24

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

($P < 0.05$), and the duration of reproductive period after long-term successive parthenogenesis was longer than that after short-term successive parthenogenesis. The mean lifespans of clone A and clone D were markedly affected by the duration of successive parthenogenesis ($P < 0.05$), and their mean lifespans after long-term successive parthenogenesis were longer than those after short-term successive parthenogenesis. The percentages of mictic daughters of clone A and clone B were significantly affected by the duration of successive parthenogenesis ($P < 0.05$), and their percentages of mictic daughters after long-term successive parthenogenesis were higher than those after short-term successive parthenogenesis. The neonate volume of clone D was markedly affected by the duration of successive parthenogenesis ($P < 0.05$), and the neonate volume after long-term successive parthenogenesis were smaller than that after short-term successive parthenogenesis. The starvation times of neonate of clone A and clone D were significantly affected by the duration of successive parthenogenesis ($P < 0.05$), and their starvation times of neonate after long-term successive parthenogenesis were shorter than those after short-term successive parthenogenesis. Clone affected significantly embryonic developmental time, durations of juvenile and reproductive periods, mean lifespan, number of offspring produced by per female in her life, and volume and starvation time of neonate ($P < 0.05$), duration of successive parthenogenesis affected markedly duration of juvenile period, mean lifespan, percentage of mictic daughters and starvation time of neonate ($P < 0.05$), and the interaction between clone and duration of successive parthenogenesis influenced embryonic developmental time, duration of reproductive period, mean lifespan, and volume and starvation time of neonate ($P < 0.05$). Among the three rotifer clones, the embryonic developmental times, the durations of reproductive period and the numbers of produced offspring of clone A and clone D were all similar, but were shorter or less than those of clone B. The durations of juvenile period and the neonate volumes of clone B and clone D were all similar, but were shorter or larger than those of clone A. The mean lifespan and the starvation time of neonate of clone A were both the shortest, and those of clone B were the longest. Compared with the rotifer produced after short-term successive parthenogenesis, the rotifer produced after long-term successive parthenogenesis had a shorter juvenile period, a shorter starvation time of neonate, a longer mean lifespan, and a higher percentage of mictic daughters. Electromorphs of the three enzymes assayed for the three rotifer clones were the same between the individuals produced by the rotifers after long- and short-term successive parthenogenesis.

Key Words: *Brachionus calyciflorus*; parthenogenesis; life history characteristics; allozyme

生活史是指生物有机体一生中的生长和繁殖模式,其关键组合是个体大小、生长率、繁殖和寿命。不同种类生物有机体的生活史存在着较大的差异^[1],环境因素诱导的生活史的改变可以提高生物有机体的适应性^[2]。近年来,人们普遍关注生物有机体生活史特征的适应意义,并把它与环境的选择压力联系起来。生活史理论就是为了解释有机体进化过程中的生活史对策,因此研究生活史特征的变化是研究有机体适应和进化的重要内容之一。

轮虫是各类水体中广泛分布的一类浮游动物,在水生态系统的物质循环和能量传递过程中具有重要的作用。单巢目轮虫的生活史具有典型的世代交替过程。通常情况下,单巢目轮虫进行孤雌生殖;但是特定环境条件下则进行有性生殖,产生休眠卵。自然条件下,轮虫经过一段时间的孤雌生殖后会以休眠卵的形式避开不利的环境条件,待条件合适时休眠卵孵化重新建立轮虫种群。因此,孤雌生殖阶段是轮虫生活史的重要组成部分,对轮虫种群的适应和进化可能具有重要的作用。有研究发现,随着孤雌生殖累积世代数(1—4代)的增加,萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)后代中的混交雌体百分率呈减小的趋势,但是非混交雌体的平均产卵量并无显著的变化^[3];休眠卵孵化的第1代萼花臂尾轮虫非混交雌体产生混交雌体后代的倾向性最小,之后随着连续孤雌生殖世代数的增加其混交雌体后代的比率逐渐增大;连续孤雌生殖约达第12代时,其混交雌体后代的比率达到最大值,此后则不再增大^[4];角突臂尾轮虫(*B. angularis*)、锥尾水轮虫(*Epiphanes senta*)和前额犀轮虫(*Rhinoglena frontalis*)等混交雌体的产生也受连续孤雌生殖世代数的相似影响^[5]。

自然水体中,褶皱臂尾轮虫(*B. plicatilis*)一年中的孤雌生殖阶段可长达8个月^[6]。但在长期连续孤雌生殖过程中,轮虫的生活史特征和生化遗传特征是否会发生变化仍不得而知。为此,本文研究了短、长期连续孤雌生殖对3个具有明显生化遗传差异的萼花臂尾轮虫克隆的生活史和生化遗传特征的影响,为进一步阐明轮虫生活史变化的影响因素及轮虫孤雌生殖的意义积累资料。

1 材料与方法

1.1 轮虫的来源

实验用萼花臂尾轮虫于2004年7月采自芜湖市镜湖(31°20'N,119°21'E)。采样后,随机挑取样品中的单个轮虫非混交雌体于温度为(25±1)℃、自然光照(光照强度约30lx, L:D=14:10)条件下进行克隆培养,建立若干个克隆。所用的轮虫培养液采用 Gilbert 的配方^[7](pH=7.3),所用的饵料系由 HB-4 培养基^[8]培养的、处于种群指数增长期的斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*),藻密度为 3.0×10^6 个/mL。之后,利用等位酶技术对各克隆轮虫的生化遗传差异进行比较分析,最终筛选得到3个生化遗传差异显著的 A、B 和 D 克隆^[9]。之后,继续对3个克隆轮虫进行培养,培养条件与上述相同,培养时间长于1a,由此得到长期连续孤雌生殖(世代数大于200)的萼花臂尾轮虫。培养过程中,从培养轮虫的容器底部收集休眠卵并放于4℃下保存,实验前将休眠卵在室温下孵化获得轮虫雌体,之后进行克隆的扩大培养,培养条件仍与上述相同,培养时间为15d,由此获得短期连续孤雌生殖(世代数约为12)的萼花臂尾轮虫克隆。

1.2 轮虫的预培养

实验前,将长期和短期连续孤雌生殖的萼花臂尾轮虫共12个克隆分别进行预培养,预培养条件与1.1相同,以10 mL的玻璃刻度试管为培养器皿。预培养过程中,每12 h悬浮沉积于试管底部的藻类食物,每24h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使轮虫种群始终处于指数增长期。预培养的时间为7d。

1.3 轮虫的生活史研究

从预培养的各克隆轮虫中随机吸取足够多的带非混交卵的雌体并将其分成2组,将2组雌体分别置于培养皿中,对其中一组雌体投喂食物,另外一组雌体不投喂食物,其余培养条件见1.1。从投喂食物的各克隆轮虫中吸取龄长小于2h的幼体若干。其中,约60个幼体用5%的甲醛固定后,使用 Motic 3.0 图像采集系统对轮虫幼体的体长(c)进行测量,然后按公式 $V=0.13c^3$ 计算轮虫的幼体体积^[8];另外48个幼体置于2块特制的带孔塑料板(每板24个孔,每孔容积约为0.6 mL)上继续培养,轮虫培养液的体积约0.4 mL,培养条件见1.1。培养过程中,每间隔3h观察1次,记录轮虫的胚胎发育时间和幼体阶段历时。待第1个幼体孵出后每8h观察1次,记录每孔内孵化出的轮虫幼体数和母体的存活情况,并把幼体吸出分别进行单个体培养至产卵以便根据卵的大小和形态确定该幼体的类型。实验过程中,每间隔24h更换轮虫培养液,并投喂食物。实验至轮虫母体全部死亡为止。

从上述不投喂食物的各克隆轮虫中分别吸取龄长小于2h的幼体24个置于特制的带孔塑料板上继续培养,培养过程中仍然不投喂任何食物,其余培养条件见1.1。培养过程中,每间隔8h观察1次,记录幼体的存活情况。实验过程中,每间隔24h更换轮虫培养液。实验至轮虫幼体全部死亡为止。

1.4 轮虫等位酶分析

将各克隆轮虫培养至较高密度时进行收集。为避免轮虫体内的藻类等对等位酶分析的影响,收获前先让轮虫饥饿1d^[10],再用孔径为30μm的筛绢过滤,过滤后的轮虫先后用蒸馏水和 Tris-HCL(0.05mol/L, pH 8.0)缓冲液冲洗数次,然后放入塑料离心管中,于4℃下8000r/min离心10min,迅速弃去上清液并置于低温冰箱(-20℃)中保存待用。电泳前将样品取出,在冰浴下于玻璃匀浆器中匀浆,匀浆液移入塑料离心管中,再于4℃下10000r/min离心15min,取上清液立即进行垂直板聚丙烯酰胺凝胶连续电泳,然后对葡萄糖磷酸变位酶(PGM, EC2.7.5.1),葡萄糖磷酸异构酶(GPI, EC5.3.1.9)和苹果酸脱氢酶(MDH, EC1.1.1.37)等3种等位酶进行特异性染色^[10-12]。之后立即将凝胶放入1%的冰醋酸中固定、保存、拍照,并描绘出模式图。酶谱相对

迁移率参照 King 和 Zhao 计算^[13]。

1.5 数据的处理和分析

采用 SPSS 统计分析软件对上述数据进行统计分析。对所得的各生活史参数进行正态分布检验后,对符合正态分布的数据进行方差分析和多重比较。运用双因素方差分析的方法分析克隆、连续孤雌生殖历期以及两者间的交互作用对轮虫生活史特征的影响。对同一克隆在长期和短期连续孤雌生殖后的个体之间各生活史参数的差异显著性进行独立样本 *t*-检验。

2 结果与分析

2.1 轮虫的生活史特征

t-检验结果表明,除 3 个克隆轮虫的生殖后期历时和每个雌体一生中所产的后代数在长期和短期连续孤雌生殖后的个体之间均无显著的差异外($P>0.05$),其它生活史特征在长期和短期连续孤雌生殖后的个体之间的差异均因轮虫克隆的不同而异。3 个克隆中,A 和 D 克隆轮虫的胚胎发育时间受连续孤雌生殖历期的显著影响($P<0.05$),A 克隆轮虫长期连续孤雌生殖后的胚胎发育时间显著短于短期连续孤雌生殖后,而 D 克隆轮虫与 A 克隆相反;B 和 D 克隆轮虫的幼体阶段历时受连续孤雌生殖历期的显著影响($P<0.05$),且 2 个克隆轮虫长期连续孤雌生殖后的幼体阶段历时均显著短于短期连续孤雌生殖后;D 克隆轮虫的生殖期历时受连续孤雌生殖历期的显著影响($P<0.05$),且长期连续孤雌生殖后的生殖期显著长于短期连续孤雌生殖后;A 和 D 克隆轮虫的平均寿命受连续孤雌生殖历期的显著影响($P<0.05$),且 2 个克隆轮虫长期连续孤雌生殖后的平均寿命均显著长于短期连续孤雌生殖后;A 和 B 克隆轮虫的后代中混交雌体百分率受连续孤雌生殖历期的显著影响($P<0.05$),且 2 个克隆轮虫长期连续孤雌生殖后所产的后代中混交雌体百分率均显著高于短期连续孤雌生殖后;D 克隆轮虫的幼体体积受连续孤雌生殖历期的显著影响($P<0.05$),且长期连续孤雌生殖后所产的幼体体积显著小于短期连续孤雌生殖后;A 和 D 克隆轮虫的幼体耐饥饿时间受连续孤雌生殖历期的显著影响($P<0.05$),且 2 个克隆轮虫长期连续孤雌生殖后幼体的耐饥饿时间均显著短于短期连续孤雌生殖后(图 1 和表 1)。

表 1 连续孤雌生殖历期对 3 个克隆萼花臂尾轮虫生活史特征影响的独立样本 *t*-检验分析结果

Table 1 Independent-sample *t*-test for the effects of duration of successive parthenogenesis on the life history characteristics of three *Brachionus calyciflorus* clones

参数 Parameters	克隆 Clone	<i>t</i>	df	<i>P</i>
胚胎发育时间/h	A	-4.014	16.000	0.001
Embryonic developmental time	B	2.013	30.000	0.053
	D	4.136	25.484	0.000
幼体阶段历时/h	A	-1.426	88.201	0.157
Duration of juvenile period	B	-3.805	138.000	0.000
	D	-6.777	48.148	0.000
生殖期历时/h	A	0.970	20.915	0.343
Duration of reproductive period	B	-0.947	38.000	0.350
	D	2.511	25.962	0.019
生殖后期历时/h	A	1.317	39.000	0.196
Duration of post-reproductive period	B	0.780	38.000	0.440
	D	1.678	39.000	0.101
平均寿命/h	A	3.088	36.854	0.004
Mean lifespan	B	-0.812	39.000	0.421
	D	4.216	39.000	0.000
后代数/个	A	-0.126	38.000	0.900
Number of offspring	B	-0.176	41.000	0.861
	D	0.192	41.000	0.849

续表

参数 Parameters	克隆 Clone	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>P</i>
混交雌体百分率/%	A	2.450	22.325	0.023
Percentage of mictic daughters	B	2.150	41.000	0.037
	D	0.664	29.578	0.512
幼体体积/(×10 ⁵ μm ³)	A	0.872	60.000	0.387
Neonate volume	B	1.093	60.000	0.279
	D	-2.868	38.326	0.007
幼体耐饥饿时间/h	A	-18.998	46.000	0.000
Starvation time of neonate	B	-1.603	35.122	0.118
	D	-8.396	39.291	0.000

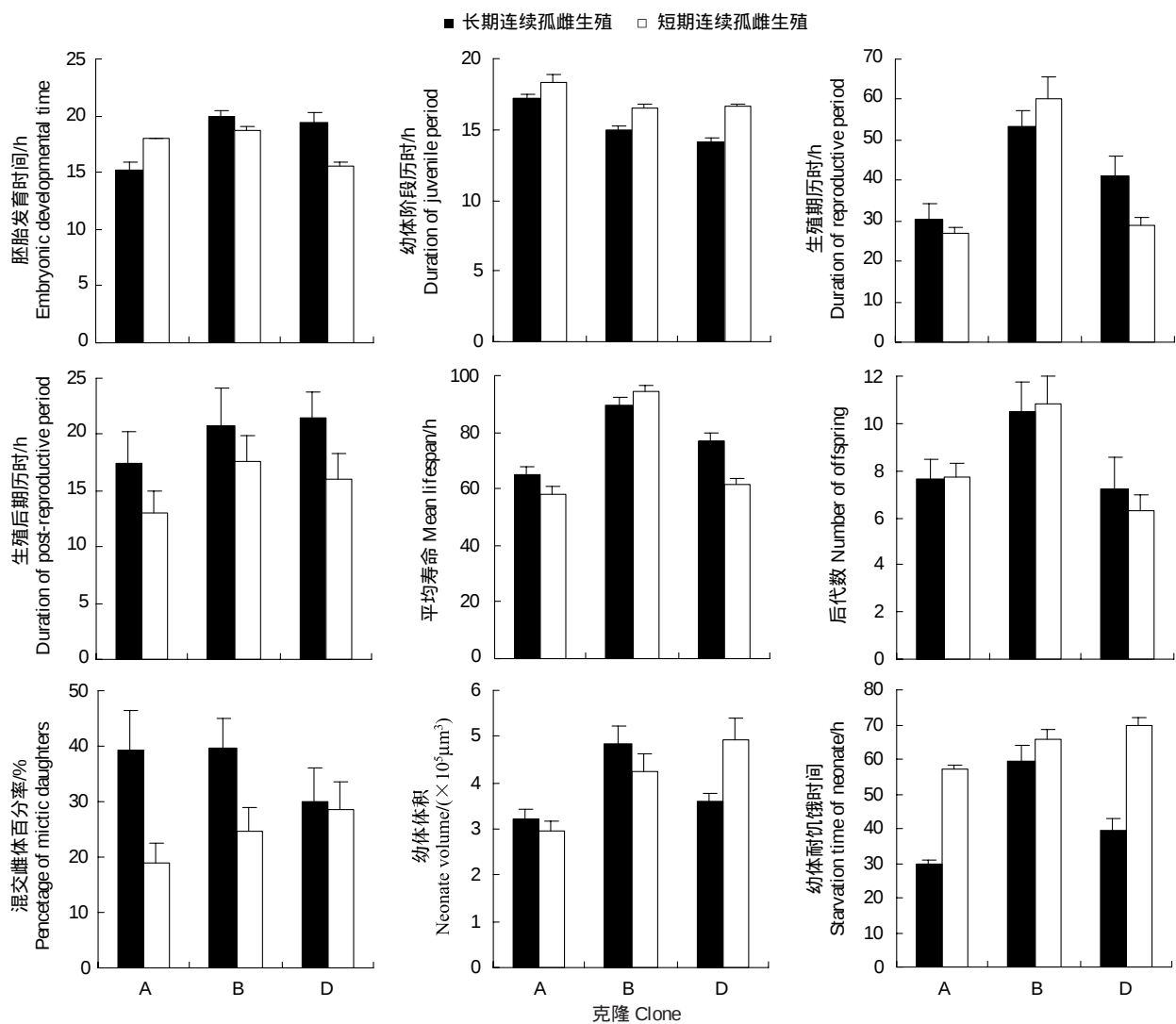


图1 3个克隆萼花臂尾轮虫在长期和短期连续孤雌生殖后的生活史特征

Fig. 1 Life history characteristics of three *Brachionus calyciflorus* clones after long- and short-term successive parthenogenesis

双因素方差分析结果表明,克隆对轮虫的胚胎发育时间、幼体阶段历时、生殖期历时、平均寿命、轮虫每个雌体一生中所产的后代数、幼体大小和幼体的耐饥饿时间均有显著的影响($P<0.05$);连续孤雌生殖历期对轮虫幼体阶段历时、平均寿命、后代混交雌体百分率和幼体的耐饥饿时间均有显著的影响($P<0.05$);而克隆和

连续孤雌生殖历期间的交互作用对轮虫的胚胎发育时间、生殖期历时、平均寿命、幼体大小和幼体的耐饥饿时间均有显著的影响($P<0.05$)。3 种克隆轮虫间,A 克隆和 D 克隆轮虫的胚胎发育时间、生殖期历时和每个雌体一生中所产的后代数均相似,但均显著短于和少于 B 克隆轮虫;A 克隆轮虫的幼体阶段历时和幼体体积均显著长于和小于 B 和 D 克隆轮虫,而后两者间均无显著的差异;A 克隆轮虫的平均寿命和幼体的耐饥饿时间均最短,而 B 克隆轮虫的均最长。长期和短期连续孤雌生殖后的轮虫间,长期连续孤雌生殖后的轮虫的幼体阶段历时和幼体的耐饥饿时间均显著短于短期连续孤雌生殖后的轮虫,平均寿命显著长于短期连续孤雌生殖后的轮虫,后代混交雌体百分率显著高于短期连续孤雌生殖后的轮虫(表 2)。

表 2 克隆和连续孤雌生殖历期对萼花臂尾轮虫生活史特征影响的双因素方差分析结果

Table 2 Two-way ANOVA of variance for the effects of clone and duration of successive parthenogenesis on the life history characteristics of *Brachionus calyciflorus*

参数 Parameters	影响因素 Influencing factors	df	SS	MS	F	P
胚胎发育时间/h Embryonic developmental time	连续孤雌生殖历期 Duration of successive parthenogenesis (D)	1	13.370	13.370	2.601	0.110
	克隆 Clone (C)	2	144.574	72.287	14.062	0.000
	C×D	2	187.907	93.954	18.777	0.000
幼体阶段历时/h Duration of juvenileperiod	连续孤雌生殖历期 Duration of successive parthenogenesis (D)	1	211.687	211.687	26.685	0.000
	克隆 Clone (C)	2	340.009	170.004	21.431	0.000
	C×D	2	25.108	12.554	1.583	0.207
生殖期历时/h Durations of reproductiveperiod	连续孤雌生殖历期 Duration of successive parthenogenesis (D)	1	316.698	316.698	1.198	0.276
	克隆 Clone (C)	2	17305.474	8652.737	32.732	0.000
	C×D	2	1811.387	905.693	3.426	0.036
生殖后期历时/h Duration of post-reproductive period/h	连续孤雌生殖历期 Duration of successive parthenogenesis (D)	1	573.485	573.485	4.438	0.057
	克隆 Clone (C)	2	381.377	190.688	1.476	0.233
	C×D	2	26.125	13.063	0.101	0.904
平均寿命 Mean lifespan/h	连续孤雌生殖历期 Duration of successive parthenogenesis (D)	1	1366.382	1366.382	5.797	0.018
	克隆 Clone (C)	2	19334.757	9667.379	41.015	0.000
	C×D	2	2939.268	1469.634	6.235	0.003
后代数/个 Number of offspring	连续孤雌生殖历期 Duration of successive parthenogenesis (D)	1	0.840	0.840	0.050	0.828
	克隆 Clone (C)	2	436.000	218.000	12.300	0.000
	C×D	2	12.300	6.130	0.350	0.708
混交雌体百分率/% Percentage of mictic daughters	连续孤雌生殖历期 Duration of successive parthenogenesis (D)	1	0.517	0.520	8.580	0.004
	克隆 Clone (C)	2	0.009	0.000	0.070	0.930
	C×D	2	0.135	0.070	1.120	0.331
幼体体积/($\times 10^5 \mu\text{m}^3$) Neonate volume	连续孤雌生殖历期 Duration of successive parthenogenesis (D)	1	1.362	1.362	0.436	0.510
	克隆 Clone (C)	2	72.794	36.397	11.662	0.000
	C×D	2	33.765	16.883	5.410	0.005
幼体耐饥饿时间/h Starvation time of neonate	连续孤雌生殖历期 Duration of successive parthenogenesis (D)	1	15018.667	15018.67	100.046	0.000
	克隆 Clone (C)	2	6226.424	3113.212	20.738	0.000
	C×D	2	3288.242	1644.121	10.952	0.000

2.2 轮虫的等位酶酶谱

3 个克隆轮虫在长期和短期连续孤雌生殖后的 3 种等位酶酶谱均相同。GPI 表现出 2 种酶型,其中 A 克隆和 D 克隆出现 1 条谱带,B 克隆出现 2 条谱带;MDH 表现出 3 种酶型,其中 A 克隆出现 4 条谱带,B 克隆出现 2 条谱带,而 D 克隆出现 5 条谱带;PGM 表现出 2 种酶型,其中 A 和 B 克隆出现 2 条谱带,D 克隆出现 3 条

谱带(图2)。

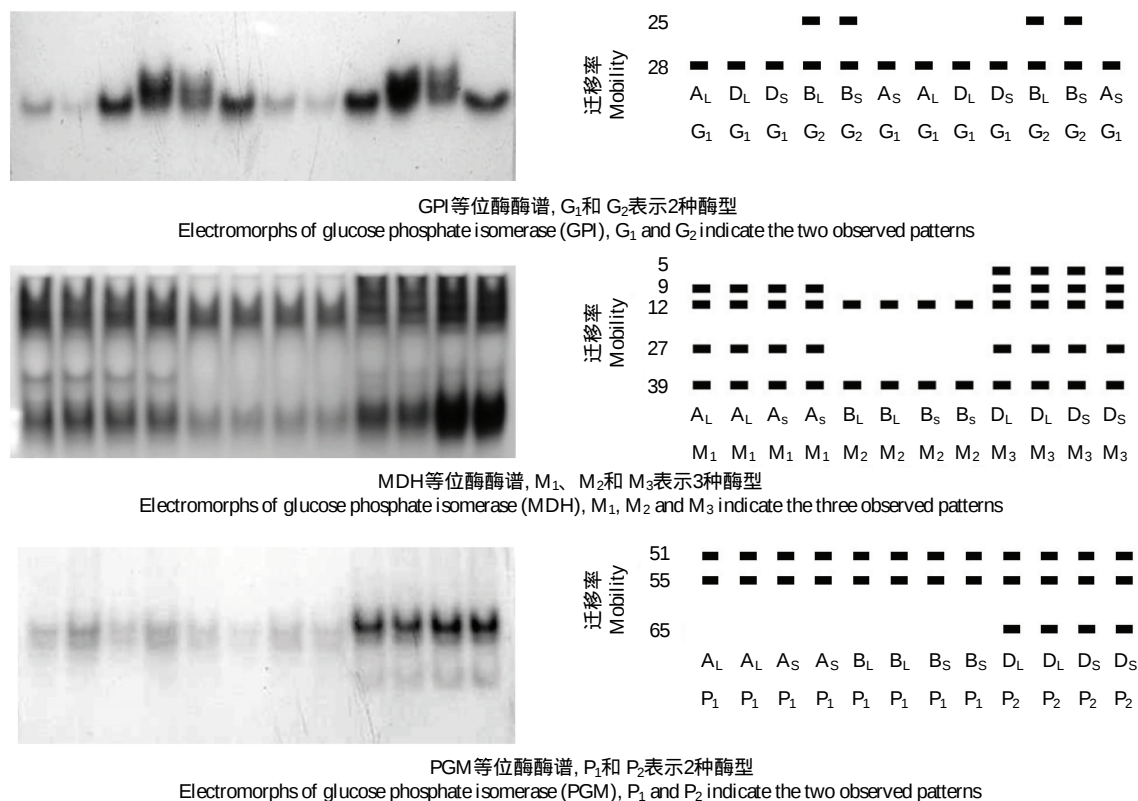


图2 3个克隆萼花臂尾轮虫在长期和短期连续孤雌生殖后的3种等位酶谱

Fig. 2 Electromorphs of three allozymes of three *Brachionus calyciflorus* clones after long- and short-term successive parthenogenesis

左为电泳图谱,右为模式图,A、B、D表示3克隆轮虫,L和S表示长期和短期连续孤雌生殖后的轮虫,相对迁移率以酶带迁移距离相对于指示剂迁移距离计算得到

3 讨论

3.1 遗传因素和连续孤雌生殖历期对轮虫生活史特征的影响

已有的研究表明,遗传因素(不同种类的轮虫、同种轮虫不同品系或克隆)是影响轮虫胚胎发育时间、幼体阶段历时、生殖期历时、平均寿命、每个雌体一生中所产的后代数、后代混交雌体百分率、幼体大小和幼体的耐饥饿时间等生活史特征的重要内源性因素之一^[14-26]。与上述结果相一致,本研究中,克隆对萼花臂尾轮虫的胚胎发育时间、幼体阶段历时、生殖期历时、平均寿命、每个雌体一生中所产的后代数、幼体大小和幼体的耐饥饿时间均有显著的影响。

有关连续孤雌生殖历期对轮虫生活史特征的影响研究相对较少,且主要集中于对混交雌体形成的影响。Athibai 和 Sanoamuang^[27]研究发现,连续孤雌生殖世代数(1—6代)对尾突臂尾轮虫(*B. caudatus* f. *apsteini*)的幼体阶段历时、生殖期历时、生殖后期历时、平均寿命和每个雌体一生中所产的后代数均无显著的影响。与其不同的是,本研究中,连续孤雌生殖历期对轮虫幼体阶段历时和平均寿命均有显著的影响,长期连续孤雌生殖后的轮虫幼体阶段历时显著短于短期连续孤雌生殖后的轮虫,而平均寿命显著长于短期连续孤雌生殖后的轮虫。两个结果间存在差异的原因是否与连续孤雌生殖世代数之间的差异有关值得进一步研究。此外,本研究还首次发现连续孤雌生殖历期对轮虫幼体的耐饥饿时间也有显著的影响,长期连续孤雌生殖后的轮虫幼体耐饥饿时间显著短于短期连续孤雌生殖后的轮虫。

3.2 遗传因素和连续孤雌生殖历期对轮虫用于繁殖和存活间能量分配的影响

所有生物都不得不在分配给当前繁殖的能量和分配给存活的能量之间进行权衡^[28]。本研究中,与经过

长期连续孤雌生殖后的轮虫相比,短期连续孤雌生殖后的 A 克隆和 D 克隆轮虫均分配较少的能量用于存活,分配较多的能量用于生殖;而短期连续孤雌生殖后的 B 克隆轮虫分配给存活和生殖的能量均无显著的差异。短期连续孤雌生殖后的 A 克隆轮虫将较多的用于生殖的能量用来产生具有较高质量(幼体耐饥饿时间较长)的后代,而 D 克隆轮虫则将较多的用于生殖的能量用来产生具有较大体积和较高质量(幼体耐饥饿时间较长)的后代。

Kirk^[29]认为,由较大的卵孵化出的幼体具有较大的耐饥饿能力,其主要原因在于这样的卵所孵出的幼体较大,较大的幼体具有较低的单位体重呼吸率和较高的能量储存。之后的研究表明,轮虫的幼体大小与耐饥饿时间之间的关系常因种类或克隆的不同而异^[17,30]。与上述研究结果相似,本研究中,A 克隆轮虫经过长期连续孤雌生殖后所产的幼体体积与经过短期连续孤雌生殖后所产的幼体体积无显著的差异,但后者的耐饥饿时间却长于前者;B 克隆轮虫经过长期和短期连续孤雌生殖后所产的幼体体积以及幼体的耐饥饿时间均无显著的差异;而 D 克隆轮虫经过长期连续孤雌生殖后所产的幼体体积以及幼体的耐饥饿时间均显著小于或短于经过短期连续孤雌生殖后所产的幼体。究其原因,则需要对各幼体的单位体重呼吸率和能量储存等作进一步研究后方可定论。

3.3 遗传因素和连续孤雌生殖历期对轮虫有性生殖的影响及其生态学意义

Gilbert^[4]研究发现,休眠卵孵化的第 1 代萼花臂尾轮虫非混交雌体产生混交雌体后代的倾向性最小,之后随着连续孤雌生殖世代数的增加其混交雌体后代的比率逐渐增大;但是连续孤雌生殖约达第 12 代时,其混交雌体后代的比率达到最大值,此后则不再增大。Schröder 和 Gilbert^[5]有关角突臂尾轮虫、锥尾水轮虫和额犀轮虫混交雌体的产生与连续孤雌生殖世代数的研究也得出了相似的结论。本研究中,长期连续孤雌生殖后的轮虫后代混交雌体百分率显著高于短期连续孤雌生殖后的轮虫。上述几例研究结果表明了由休眠卵孵化建立的轮虫种群在初期都存在着“延迟的有性生殖(delayed mixis)”现象。Schröder 和 Gilbert^[5]认为,延迟的有性生殖可能是有利的,因为它有利于轮虫种群的快速增长,并在一定时期增加休眠卵产量以抵御不利的环境;但它也可能是不利的,因为当有性生殖被抑制时,不可预测的环境变化也可能使轮虫种群在建立初期遭受“灭顶之灾”。然而,本研究中,虽然长期连续孤雌生殖可以诱导 A 和 B 克隆轮虫增大有性生殖的幅度,体现出“延迟的有性生殖”;而 D 克隆轮虫并未出现“延迟的有性生殖”。因此,自然水体中轮虫不同克隆及其有性生殖对连续孤雌生殖世代数的不同反应对于轮虫种群在水体中的持续存在具有重要的意义。

自然水体中,褶皱臂尾轮虫一年中的孤雌生殖阶段可长达 8 个月,而在孤雌生殖的最后阶段种群内克隆多样性显著减少,因此孤雌生殖阶段内存在克隆的选择^[6]。不同克隆轮虫的遗传、表型和生态位的多样性是克隆选择的决定因素^[13, 31-32];而水环境的多变也可以诱导轮虫表型和生态特征的适应性改变,从而影响克隆的选择。本研究结果证实,长期连续孤雌生殖也可以诱导轮虫生活史的改变,因此推测在自然水体中,长期连续孤雌生殖也可以影响轮虫克隆的选择。

3.4 连续孤雌生殖历期对萼花臂尾轮虫遗传特征的影响

在种群生物学研究中,等位酶可以作为遗传标记或者作为种群遗传学研究估算标准。通过等位酶分析,可以初步了解一个种分布范围内的各种群内的基因丰富程度,描述一个物种各种群内和种群间的等位基因的组成、分布情况和等位基因在时空上的变化^[33-34]。对于以孤雌生殖为主的轮虫种群,等位酶分析发现轮虫种群不仅是由生化遗传特征不同的克隆群组成的^[8, 11, 13, 35-36],而且克隆群组成还随着时间(季节)的推移而发生变化^[35]。克隆群组成随着时间(季节)的推移而发生变化的原因可能在于:(1)各不同基因型克隆的等位酶酶谱随着时间(季节)的推移而发生变化,(2)随着时间(季节)的推移,种群内原有的特定基因型克隆从水体中消失,新的基因型克隆随着休眠卵的萌发而出现在水体中。理论上,后一种可能性的存在是非常大的;至少部分地为前一种可能性的存在提供了质疑依据,因为所研究的 3 个克隆轮虫在长期和短期连续孤雌生殖后其 3 种等位酶的酶谱均未出现明显的改变。

References:

- [1] Stelzer C P. Evolution of rotifer life histories. *Hydrobiologia*, 2005, 546: 335-346.
- [2] Pigliucci M. Phenotypic plasticity: beyond nature and nurture. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2001.
- [3] Xi Y L, Hu H Y, Geng H, Jin H J, Huang X F. Effects of cumulative successive parthenogenetic generation and age of amictic female on the reproduction of rotifer *Brachionus calyciflorus*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13 (4): 435-438.
- [4] Gilbert J J. Endogenous regulation of environmentally induced sexuality in a rotifer: a multigenerational parental effect induced by fertilization. *Freshwater Biology*, 2002, 47: 1633-1641.
- [5] Schröder T, Gilbert J J. Transgenerational plasticity for sexual reproduction and diapause in the life cycle of monogonont rotifers: intracolonial, intraspecific and interspecific variation in the response to crowding. *Functional Ecology*, 2004, 18: 458-466.
- [6] Gómez A, Carvalho G R. Sex, parthenogenesis and genetic structure of rotifers: microsatellite analysis of contemporary and resting egg bank populations. *Molecular Ecology*, 2000, 9: 203-214.
- [7] Gilbert J J. Mictic female production in rotifer *Brachionus calyciflorus*. *The Journal of Experimental Zoology*, 1963, 153: 113-124.
- [8] Zhang Z S, Huang X F. Method for study on freshwater plankton. Beijing: Science Press, 1991: 340-344.
- [9] Zhang L, Xi Y L, Dong L L, Wen X L. Allozyme analysis on the summer population of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera) in Lake Jinghu and reproductive variation among clones. *Acta Zoologica Sinica*, 2005, 51 (4): 678-684.
- [10] Fu Y, Hirayama K, Natsukari Y. Genetic divergence between S and L type strains of the rotifer *Branchionus plicatilis* O. F. Müller. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1991, 151: 43-56.
- [11] King C E. Genetics of reproduction, variation and adaptation in rotifers. *Archiv für Hydrobiologie*, 1977, 8: 187-201.
- [12] Hu N S, Wan X G. Application of isozyme technique. Hunan: Science Technique Press, 1985.
- [13] King C E, Zhao Y. Coexistence of rotifer *Branchionus plicatilis* clones in Soda Lake Nevada. *Hydrobiologia*, 1987, 147: 57-64.
- [14] Schröder T, Howard S, Arroyo M L, Walsh E J. Sexual reproduction and diapause of *Hexarthra* sp. (Rotifera) in short-lived ponds in the Chihuahuan Desert. *Freshwater Biology*, 2007, 52 (6): 1033-1042.
- [15] Sarma S S S, Nandini S. Life table demography and population growth of *Brachionus variabilis* Hemple, 1896 in relation to *Chlorella vulgaris* densities. *Hydrobiologia*, 2001, 446 /447: 75-83.
- [16] Dong L L, Xi Y L, Liu G Y, Chen F, Ge Y L. Effect of temperature and food concentration on the population dynamics of three *Brachionus calyciflorus* strains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (11): 2165-2169.
- [17] Dong L L, Xi Y L, Zhang L. Offspring quality and its related factors of different *Brachionus calyciflorus* clone. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (12): 2417-2420.
- [18] Dong L L, Xi Y L, Zhang L. Life history traits of different clones from summer population of *Brachionus calyciflorus* (rotifera) in Lake Jinghu. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31 (5): 611-617.
- [19] Dong L L, Xi Y L, Zhang L. Effects of food concentration on life history traits of *Brachionus calyciflorus* clones in Jinghu Lake. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20 (2): 370-375.
- [20] Ge Y L, Xi Y L, Chen F, Dong L L, Chu Z X, Xu X P. Effects of food concentration on the duration of reproductive period and the formation of mictic female in different strains of freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus*. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (8): 1831-1837.
- [21] Hu C B, Xi Y L, Tao L X. Comparison on the life history characteristics of *Brachionus rubes* and *B. urceolais*. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (12): 5957-5963.
- [22] Hu H Y, Xi Y L, Geng H. Effects of temperature on life history strategies of three strains of *Brachionus calyciflorus* Gosse. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, 28 (3): 284-288.
- [23] Li H B, Xi Y L, Cheng X F. Comparative studies on life history characteristics of three sibling species in *Brachionus calyciflorus* species complex. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29 (2): 581-588.
- [24] Liu G Y, Xi Y L. Morphological characteristics of resting eggs produced by different *Brachionus calyciflorus* strains. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17 (7): 1344-1347.
- [25] Tao L X, Xi Y L, Hu C B. Comparative study on the life history characteristic of rotifer *Brachionus forcatius* and *Brachionus caudatus*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19 (5): 1104-1109.
- [26] Xi Y L, Ge Y L, Chen F, Wen X L, Dong L L. Life history characteristics of three strains of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera) at different water temperatures. *Journal of Freshwater Ecology*, 2005, 20 (4): 707-713.
- [27] Athibai S, Sanoamuang L O. Effect of temperature on fecundity, life span and morphology of long- and short-spined clones of *Brachionus caudatus*

- f. *apsteini* (Rotifera). International Review of Hydrobiology, 2008, 93 (6): 690-699.
- [28] 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. Archiv für Hydrobiologie, 1987, 111: 245-253.
- [29] Kirk K L. Egg size, offspring quality and food level in planktonic rotifers. Freshwater Biology, 1997, 37: 515-521.
- [30] Kirk K L. Life history responses to variable environments: starvation and reproduction in planktonic rotifers. Freshwater Biology, 1997b, 37: 515-521.
- [31] Lynch M, Spitze K. Evolutionary genetics of *Daphnia*. In: Ecological Genetics (ed. Real A). Princeton New Jersey: Princeton University Press, 1994: 109-128.
- [32] Deng H W, Lynch M. Change of genetic architecture in response to sex. Genetics, 1996, 143: 203-212.
- [33] Wang Z R. The genetic basis of allozyme analysis (Part 1). Chinese Biodiversity, 1994, 2 (3): 149-156.
- [34] Wang Z R. The genetic basis of allozyme analysis (Part 2). Chinese Biodiversity, 1994, 2 (4): 213-219.
- [35] Snell T W. Intraspecific competition and population structure in rotifers. Ecology, 1979, 60: 494-502.
- [36] Jiang D H, Xi Y L, Liu S G, Zhang L, Dong L L. Allozyme analysis on *Brachionus calyciflorus* (rotifera) population in Lake Jinghu and seasonal variation of their reproductive parameters. Acta Hydrobiologica Sinica, 2008, 32 (6): 908-915.

参考文献:

- [3] 席貽龙, 胡好远, 耿红, 金洪钧, 黄祥飞. 孤雌生殖累积世代数和雌体年龄对萼花臂尾轮虫繁殖的影响. 应用生态学报, 2002, 13 (4): 435-438.
- [8] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991: 340-344.
- [9] 张雷, 席貽龙, 董丽丽, 温新利. 镜湖萼花臂尾轮虫夏季种群等位酶分析以及克隆间的差异. 动物学报, 2005, 51 (4): 678-684.
- [12] 胡能书, 万贤国. 同工酶技术及其应用. 湖南: 科学技术出版社, 1985.
- [16] 董丽丽, 席貽龙, 刘桂云. 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 (11): 2165-2169.
- [17] 董丽丽, 席貽龙, 张雷. 不同克隆萼花臂尾轮虫的后代质量及其相关因素分析. 应用生态学报, 2006, 17 (12): 2417-2420.
- [18] 董丽丽, 席貽龙, 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 (5): 611-617.
- [19] 董丽丽, 席貽龙, 张雷. 食物密度对镜湖萼花臂尾轮虫不同克隆生活史特征的影响. 应用生态学报, 2009, 20 (2): 370-375.
- [20] 葛雅丽, 席貽龙, 陈芳, 董丽丽, 储昭霞, 徐晓平. 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 (8): 1831-1837.
- [21] 胡存兵, 席貽龙, 陶李祥. 红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫生活史特征比较. 生态学报, 2008, 28 (12): 5957-5963.
- [22] 胡好远, 席貽龙, 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.
- [23] 李化炳, 席貽龙, 程新峰. 萼花臂尾轮虫 (*Brachionus calyciflorus*) 种复合体内三个姐妹种生活史特征比较. 生态学报, 2009, 29 (2): 581-588.
- [24] 刘桂云, 席貽龙. 不同品系萼花臂尾轮虫休眠卵的形态特征. 应用生态学报, 2006, 17 (7): 1344-1347.
- [25] 陶李祥, 席貽龙, 胡存兵. 镰形臂尾轮虫和尾突臂尾轮虫生活史特征的比较研究. 应用生态学报, 2008, 19 (5): 1104-1109.
- [30] 王中仁. 等位酶分析遗传学基础. 生物多样性, 1994, 2 (3): 149-156.
- [31] 王中仁. 等位酶分析遗传学基础. 生物多样性, 1994, 2 (4): 213-219.
- [33] 江东海, 席貽龙, 刘胜国, 张雷, 董丽丽. 镜湖萼花臂尾轮虫种群等位酶分析和生殖参数的季节变化. 水生生物学报, 2008, 32 (6): 908-915.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 11 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses of microbes-mediated carbon and nitrogen cycles to global climate change	SHEN Jupei, HE Jizheng (2957)
Formation of cyanobacterial blooms in Lake Chaohu and the photosynthesis of dominant species hypothesis	JIA Xiaohui, SHI Dingji, SHI Mianhong, et al (2968)
Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner) in China	WEN Lizhang, ZHANG Youjun, ZHU Liang, et al (2978)
Self-organizing feature map classification and ordination of <i>Larix principis-rupprechtii</i> forest in Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, ZHANG Jintun, Suriguga, et al (2990)
Ecological effects of lakeside wetlands restoration in Dalian Lake, Shanghai	WU Di, YUE Feng, LUO Zukui, et al (2999)
Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain	WU Xiaogang, GUO Jinping, YANG Xiuyun, et al (3009)
Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China	ZHANG Shengxi, CHEN Falin, ZHENG Hua (3020)
The decomposition of coniferous and broadleaf mixed litters significantly changes the carbon metabolism diversity of soil microbial communities in subtropical area, southern China	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3027)
Spatiotemporal heterogeneity of topsoil nutrients in Karst Peak-Cluster depression area of Northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (3036)
Effects of cadmium stress on the activities of antioxidant enzymes, digestive enzymes and the membrane lipid peroxidation of the mangrove mud clam <i>Geloina coaxans</i> (Gmelin)	LAI Tinghe, HE Binyuan, FAN Hangqing, et al (3044)
The edge effects on tree-liana relationship in a secondary natural forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island, China	WU Yuna, TAO Jianping, XI Weimin, et al (3054)
Soilwater deficit under different artificial vegetation restoration in the semi-arid hilly region of the Loess Plateau	YANG Lei, WEI Wei, MO Baoru, et al (3060)
The diurnal trends of sensible and latent heat fluxes of a subtropical evergreen coniferous plantation subjected to seasonal drought	HE Youwei, WANG Qiubing, WEN Xuefa, et al (3069)
Ecological adaptability of photosynthesis and water use for <i>Tamarix ramosissima</i> in the southern periphery of Gurbantungut Desert, Xinjiang	WANG Shanshan, CHEN Xi, WANG Quan, et al (3082)
Estimation of leaf area index of cotton using digital Imaging	WANG Fangyong, WANG Keru, LI Shaokun, et al (3090)
Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (<i>Glycine soja</i>) and cultivated soybean (<i>Glycine max</i>) to NaCl stress	XUE Zhongcai, GAO Huiyuan, LIU Jie (3101)
Effects of water and phosphorus supply on morphology and structure of special root hairs on nodal roots of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	ZHANG Jun, HE Dexian, DUAN Zengqiang (3110)
Applications of species indicator for analyzing plant community types and their biodiversity at Kunyushan National Forest Reserve	SUN Zhiqiang, ZHANG Xingyao, ZHU Yanpeng, et al (3120)
Societal metabolism for chinese provinces based on multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM)	LIU Ye, GENG Yong, ZHAO Hengxin (3133)
Comparative gene expression analysis for leaf trichomes of tobacco grown in two different regions in China	CUI Hong, JI Hao, YANG Huijuan, et al (3143)
Performance evaluation of B biotype whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> on 23 host plants	AN Xincheng, GUO Qiang, HU Qiongbo (3150)
Studies of hemocytes DNA damage by two pesticides acetamiprid and chlorpyrifos in predaceous spiders of <i>Pardosa astrigera</i> Koch	LI Rui, LI Shengcai, LIU Jia, (3156)
Effects of the fungicide prochloraz on the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LI Daming, LU Zhenghe, FENG Qi, et al (3163)
Effects of long- and short-term successive parthenogenesis on life history and genetics characteristics of <i>Brachionus calyciflorus</i>	GE Yali, XI Yilong (3170)
Review and Monograph	
Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality	ZHAO Jun, YANG Kai, TAI Jun, et al (3180)
Review of dew action effect on plants	YE Youhua, PENG Shaolin (3190)
Advances in Botryosphaeriaceae: identification, phylogeny and molecular ecology	CHENG Yanlin, LIANG Jun, LÜ Quan, et al (3197)
Advances in research on the mechanisms of age-related productivity decline of planted forests	MAO Peili, CAO Banghua, TIAN Wenxia, et al (3208)
The application of tree-ring on forest disturbance history reconstruction	FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (3215)
Research advances on stress responsive WRKY transcription factors in plants	LI Ran, LOU Yonggen (3223)
Scientific Note	
The soil microbial activities and microbial biomass in Sanjiangyuan Alpine grassland	REN Zuohua, ZHANG Yuguang, LI Diqiang, et al (3232)
The differences of water use efficiency (WUE) among three <i>Populus deltoids</i> clones, and the cloning and characterization of related gene, <i>PdERECTA</i>	GUO Peng, XIA Xinli, YIN Weilun (3239)
Arthropod community reestablishment and niche of the main groups in kiwifruit orchards	DU Chao, ZHAO Huiyan, GAO Huanhuan, et al (3246)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 11 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 11 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元