

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

李化炳, 席贻龙*, 程新峰

(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: 采自芜湖市莲塘湖和荷花塘水体中的萼花臂尾轮虫 3 个姐妹种 HE1、HE3 和 LE9 在 13℃、18℃、23℃ 和 28℃ 下的生命表参数间的差异表现为 13℃ 和 18℃ 下姐妹种 LE9 的生命期望和平均寿命都显著长于姐妹种 HE3, 23℃ 下姐妹种 HE1 的生命期望和平均寿命均最短; 13℃ 下姐妹种 LE9 的世代时间显著长于姐妹种 HE3, 18℃ 下和 23℃ 姐妹种 LE9 和 HE1 的世代时间分别最长和最短; 13℃ 下姐妹种 LE9 的净生殖率最高, 28℃ 下姐妹种 HE1 的净生殖率最低; 13℃ 下姐妹种 LE9 的种群内禀增长率最高, 18℃ 下姐妹种 HE3 的种群内禀增长率显著高于姐妹种 LE9; 18℃ 和 28℃ 下姐妹种 HE3 所产后代中的混交雌体百分率最高, 23℃ 下姐妹种 HE1 所产后代中的混交雌体百分率显著低于 HE3。3 个姐妹种的生命表参数对升高的温度的响应也不相同。温度、姐妹种及两者间的交互作用对轮虫的世代时间、平均寿命、出生时的生命期望和轮虫所产后代中的混交雌体百分率均有显著的影响; 温度和姐妹种对轮虫的净生殖率和种群内禀增长率均有极显著影响, 但两者的交互作用对其无显著性影响。

关键词: 萼花臂尾轮虫种复合体; 姐妹种; 温度; 生活史特征

文章编号: 1000-0933 (2009)02-0581-08 中图分类号: Q145, Q178.1, Q958, S931.1 文献标识码: A

Comparative studies on life history characteristics of three sibling species in *Brachionus calyciflorus* species complex

LI Hua-Bing, XI Yi-Long*, CHENG Xin-Feng

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

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 0581 ~ 0588.

Abstract: The differences in life table parameters among the three sibling species including sibling HE1, HE3 and LE9 in *Brachionus calyciflorus* species complex collected from Lake Liantang and Pond Hehuatang in Wuhu City and cultured at 13℃, 18℃, 23℃ and 28℃ with 2.0×10^6 cells/mL of *Scenedesmus obliquus* were that at 13 and 18℃, sibling species LE9 had longer life expectancy at hatching and average lifespan than sibling species HE3; but at 23℃, sibling species HE1 had the shortest life expectancy at hatching and average lifespan. At 13℃, sibling species LE9 had longer generation time than sibling species HE3; but at 18℃ and 23℃, sibling species LE9 and HE1 had the longest and shortest generation time, respectively. At 13℃, sibling species LE9 had the highest net reproductive rate, but the reverse was true for sibling species HE1 at 28℃. At 13℃, sibling species LE9 had the highest intrinsic rate of population growth, but at 18℃, sibling species HE3 had higher intrinsic rate of population growth than sibling species LE9. At 18℃ and 28℃, the percentage of mictic females in the offspring produced by sibling species HE3 was the highest; but at 23℃, the percentage of mictic females in the offspring produced by sibling species HE1 was lower than that produced by sibling species HE3. The responses in life table parameters to increasing temperatures were different among the three sibling species. Temperature,

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30770352, 30499341, 30270221); 安徽省优秀青年基金资助项目(04043050); 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资助项目(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: 2007-09-08; 修订日期: 2007-12-03

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

sibling species and their interactions all significantly influenced generation time, average lifespan, life expectancy at hatching and percentage of mictic females in the produced offspring. Both temperature and sibling species affected markedly net reproductive rate and intrinsic rate of population growth, but their interactions did not.

Key Words: *Brachionus calyciflorus* species complex; sibling species; temperature; life history characteristics

单巢目轮虫以孤雌生殖为主要生殖方式;但在特定条件下,有性生殖和孤雌生殖可以同时发生。有性生殖的发生使得人们可以生殖隔离等为依据对轮虫种类以及轮虫种复合体内的姐妹种进行识别^[1~5]。单巢目轮虫种群内若干克隆群及其有性生殖在水体中出现的时机和幅度的不同通常是它们间形成生殖隔离的重要因素之一。由于轮虫的有性生殖与种群密度和一系列环境因素密切相关,因此研究不同环境条件下轮虫的种群增长和有性生殖发生的时机及其幅度成了人们探索生殖隔离和姐妹种形成机制的重要内容之一。

由于对轮虫种复合体内姐妹种的认识时间不长,有关姐妹种间的生态差异以及生态因子在其生殖隔离形成过程中的作用研究仍不多见。Gómez 等^[6]通过研究初步揭示了温度和盐度在褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)种复合体内 3 个姐妹种间生殖隔离形成过程中的作用,Ciros-Pérez 等^[7,8]比较研究了褶皱臂尾轮虫种复合体内 3 个姐妹种的资源竞争能力和有性生殖,Ortells 等^[9]研究了褶皱臂尾轮虫种复合体内 5 个姐妹种群在自然水体中的时空变动。李化炳等^[10]利用分子系统学和雌雄交配实验对同域性分布的萼花臂尾轮虫(*B. calyciflorus*)17 个克隆的研究表明,该种轮虫是由 3 个姐妹种所组成的种复合体;但有关 3 个姐妹种间的生态差异以及水温等生态因子在其生殖隔离形成过程中的作用研究仍未见报道。

本研究应用生命表统计学等方法在 13、18、23℃ 和 28℃ 下比较研究了采自芜湖市莲塘湖和安徽师范大学荷花塘水体中的萼花臂尾轮虫 3 个姐妹种的生活史特征,旨在弥补国内外此方面研究之不足,为轮虫姐妹种的形成机制研究积累资料。

1 材料与方法

1.1 轮虫的来源

实验用萼花臂尾轮虫于 2006 年 5 月和 7 月采自芜湖市 3 个自然水体中。采样后,随机挑取样品中的非混交雌体,参照采样时的水温于(18 ± 1)℃、自然光照(光照强度约 130lx, L:D = 14:10)条件下进行“克隆”培养。培养液采用 Gilbert 配方^[11](pH = 7.3),所用的饵料为 HB-4 培养基^[12]培养的、处于指数增长期的斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)。对最终建立的 17 个克隆进行 COI 基因和 ITS1 基因间隔区序列分析,结合交配实验结果,共发现 3 个姐妹种,分别暂称之为姐妹种 HE1、HE3 和 LE9^[10]。

1.2 轮虫的预培养

实验前,将 3 个姐妹种分别置于温度为 13、18、23℃ 和 28℃ 的 4 个恒温光照培养箱内进行为期一周的预培养。预培养时,以直径为 1.5cm、长度为 12cm 的玻璃刻度试管为培养器皿,以密度为 2.0×10^6 cells/ml 的斜生栅藻为轮虫的食物。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使轮虫种群始终处于指数增长期。

1.3 生命表统计学参数研究

分别由预培养的各试管中吸取大量带卵的非混交雌体置于特制的玻璃杯中,并加入含有与预培养密度相同的藻类食物的培养液,之后每间隔 2~4h 于解剖镜下检查轮虫卵的孵化情况;待幼体孵出后,取龄长在 4h 内的幼体 20 个置于 5ml 的特制玻璃培养杯中进行培养,培养体积 3ml,培养液内含有与预培养密度相同的藻类食物。实验也在相同的恒温光照培养箱内进行;每个温度下设 3 个重复(3 姐妹种 × 4 温度 × 3 重复)。实验过程中,每间隔 8h 观察 1 次,记录轮虫的产卵数、孵化出的幼体数及母体的存活情况,并移出幼体;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。

将实验过程中移出的轮虫幼体放入特制的玻璃杯内继续培养,待其产卵后确定雌体类型,并计算出轮虫

一生所产全部后代中的混交雌体百分率。

生命表参数的定义和计算方法与席貽龙和黄祥飞^[13]相同。

1.4 数据的统计分析

分别对同一温度下 3 个姐妹种的各生活史参数、各个姐妹种的各生活史参数在 4 个温度下的差异显著性以及温度和姐妹种对各生活史参数交互作用的显著性进行方差分析,用 SNK-q 检验法对有显著性差异的样本均数间进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 3 个姐妹种的存活率和繁殖率

各培养温度下,3 个姐妹种的存活率如图 1 所示。由图可见,随着培养温度的升高,3 个姐妹种存活率开始下降的时间均逐渐前移,下降的速度逐渐加快。但同一温度下,各姐妹种存活率开始下降的时间却不尽相同;13、18、23℃ 和 28℃ 下,姐妹种 LE9 存活率开始下降的时间均最早,依次为第 96 小时、56 小时、40 小时和 40 小时。

随着培养温度的升高,3 个姐妹种繁殖率高峰值出现的时间也逐渐前移,但高峰值的大小却有所不同。各姐妹种的繁殖率高峰值均在 13℃ 下最小,23℃ 下最大。3 个姐妹种间,13℃ 和 28℃ 下姐妹种 LE9 的繁殖率高峰值均最大,而 18℃ 下姐妹种 HE3 的繁殖率高峰值最大,23℃ 下姐妹种 HE1 的繁殖率高峰值最大(图 1)。

2.2 3 个姐妹种的生命表参数

3 个姐妹种生命表参数间的差异因温度的不同而异。13℃ 下,姐妹种 LE9 的生命期望、平均寿命和世代时间都显著长于姐妹种 HE3,而姐妹种 HE1 与两者间无显著的差异;LE9 的净生殖率和种群内禀增长率均最大,而其它两姐妹种间无显著的差异;3 个姐妹种所产后代中的混交雌体百分率无显著的差异($P > 0.05$)(表 1)。

18℃ 下,姐妹种 LE9 的生命期望和平均寿命显著长于姐妹种 HE3,而姐妹种 HE1 与两者间无显著的差异;姐妹种 LE9 的世代时间显著长于姐妹种 HE1 和 HE3,后两者间无显著的差异;姐妹种 HE3 的种群内禀增长率显著高于姐妹种 LE9,而姐妹种 HE1 与两者间无显著的差异;姐妹种 HE3 所产后代中的混交雌体百分率最高,其它两姐妹种间无显著的差异;3 个姐妹种的净生殖率无显著的差异($P > 0.05$)(表 1)。

23℃ 下,姐妹种 HE1 的生命期望、平均寿命和世代时间均最短,而其它两姐妹种间无显著的差异;姐妹种 HE1 所产后代中的混交雌体百分率显著低于 HE3,而姐妹种 LE9 所产后代中的混交雌体百分率与上述两者间无显著的差异;3 个姐妹种的净生殖率和种群内禀增长率均无显著的差异($P > 0.05$)(表 1)。

28℃ 下,3 个姐妹种的生命期望、平均寿命、世代时间和种群内禀增长率均无显著的差异($P > 0.05$);姐妹种 HE1 的净生殖率最低,其它两姐妹种间无显著的差异;姐妹种 HE3 所产后代中的混交雌体百分率最高,姐妹种 HE1 最低(表 1)。

3 个姐妹种的生命表参数对升高的温度的响应不同。姐妹种 LE9 和 HE1 的生命期望和平均寿命在 13℃ - 23℃ 范围内均随着温度的升高而显著地缩短,但缩短的速率在两者间存在着差异;姐妹种 HE3 的生命期望和平均寿命均随着温度由 13℃ 升高到 18℃、23℃ 升高到 28℃ 而显著地缩短。姐妹种 LE9 的世代时间随着温度的升高逐渐显著地缩短,而姐妹种 HE1 和 HE3 的世代时间分别在 23℃ 和 28℃、18℃ 和 23℃ 间无显著的差异(表 1)。

3 个姐妹种的净生殖率均在 23℃ 下最高,但姐妹种 LE9 的净生殖率在 13℃ 和 18℃ 间无显著的差异,姐妹种 HE1 在 28℃ 下的净生殖率分别与 13℃ 和 18℃ 下的净生殖率间无显著的差异,姐妹种 HE3 的净生殖率在 13℃ 和 18℃、18℃ 和 28℃ 间分别无显著的差异(表 1)。

姐妹种 LE9 的种群内禀增长率在 28℃ 下最高,23℃ 下次之,18℃ 和 13℃ 下最低且两者间无显著的差异;姐妹种 HE1 的种群内禀增长率在 13℃ 下最低,28℃ 下的种群内禀增长率分别和 18℃ 和 23℃ 下无显著的差异;姐妹种 HE3 的种群内禀增长率也在 13℃ 下最低,23℃ 和 28℃ 下最高且两者间无显著的差异(表 1)。

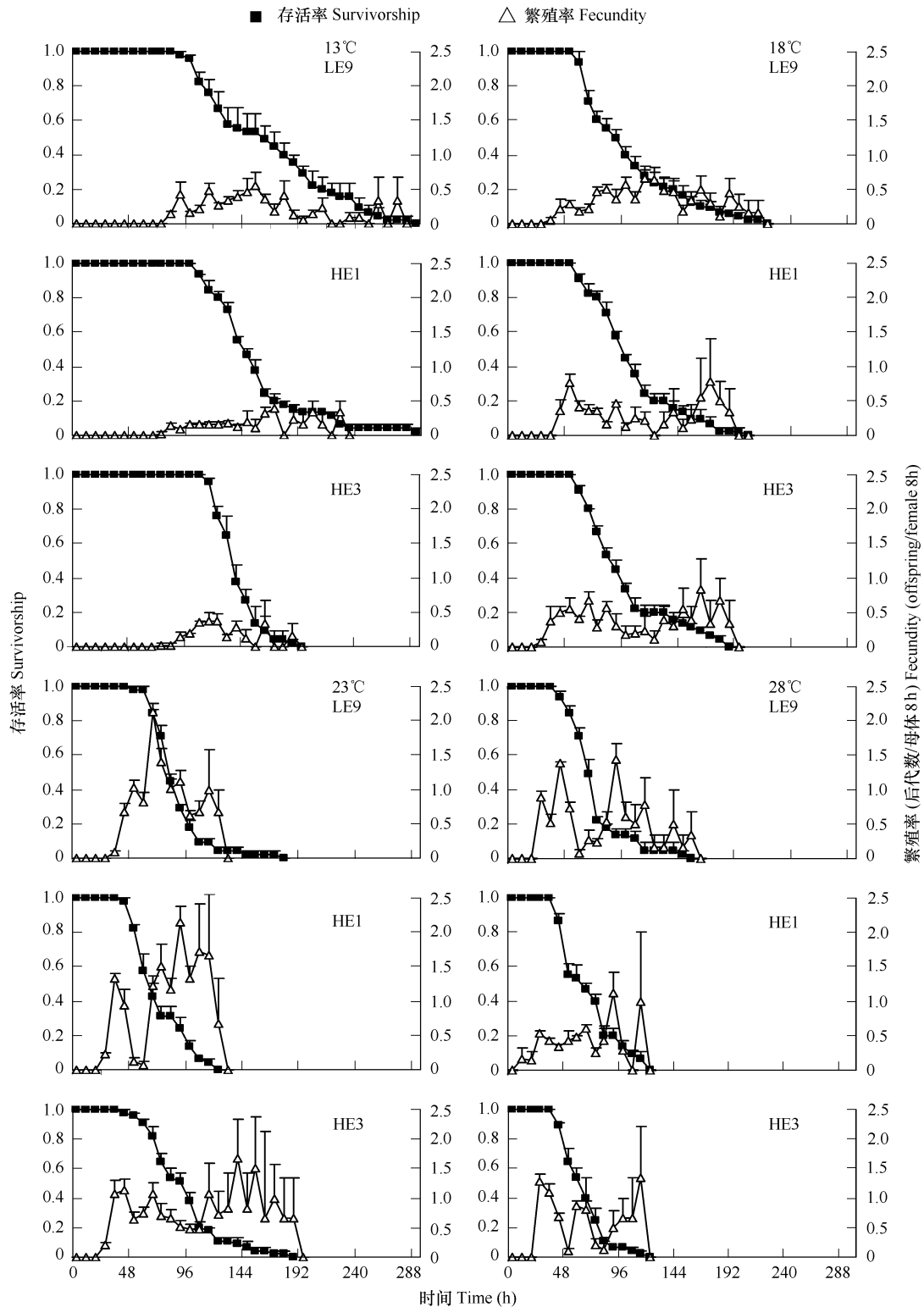


图1 四温度下萼花臂尾轮虫种复合体内3姐妹种的存活率和繁殖率

Fig. 1 Survivorship and fecundity of three sibling species in *B. calyciflorus* species complex at four temperatures
LE9: 姐妹种 LE9 sibling species LE9; HE3: 姐妹种 HE3 sibling species HE3; HE1: 姐妹种 HE1 sibling species HE1

姐妹种 LE9 所产后代中的混交雌体百分率在 18、28、23°C 和 13°C 下依次逐渐显著的降低; 姐妹种 HE1 所产后代中的混交雌体百分率在 13°C 下最高, 其余 3 个温度下无显著的差异; 而姐妹种 HE3 所产后代中的混交

雌体百分率在 13、18℃ 和 28℃ 间、18℃ 和 23℃ 间分别无显著的差异(表 1)。

表 1 4 温度下萼花臂尾轮虫种复合体内 3 姐妹种的生活史特征

Table 1 Life history characteristics of three sibling species in *B. calyciflorus* species complex at different temperatures (Mean \pm SE)

参数 Parameters	姐妹种 Sibling species	13℃	18℃	23℃	28℃
生命期望	LE9	160.27 \pm 11.41 ^{c*}	108.89 \pm 4.09 ^b	82.58 \pm 1.52 ^a	67.64 \pm 2.47 ^a
e_0 (h)	HE1	151.20 \pm 2.63 ^c	98.93 \pm 4.66 ^b	67.29 \pm 2.91 ^a	64.09 \pm 3.39 ^a
	HE3	134.67 \pm 3.78 ^c	92.89 \pm 2.05 ^b	88.98 \pm 4.07 ^b	60.18 \pm 2.76 ^a
平均寿命	LE9	164.27 \pm 11.41 ^c	112.89 \pm 4.09 ^b	86.58 \pm 1.52 ^a	71.64 \pm 2.47 ^a
ML (h)	HE1	155.20 \pm 2.63 ^c	102.93 \pm 4.66 ^b	71.29 \pm 2.91 ^a	68.09 \pm 3.39 ^a
	HE3	138.67 \pm 3.78 ^c	96.89 \pm 2.05 ^b	92.98 \pm 4.07 ^b	64.18 \pm 2.76 ^a
世代时间	LE9	129.64 \pm 7.29 ^d	106.89 \pm 2.63 ^c	63.13 \pm 1.56 ^b	46.63 \pm 3.87 ^a
T (h)	HE1	125.46 \pm 3.01 ^c	73.75 \pm 7.43 ^b	56.10 \pm 1.26 ^a	45.51 \pm 5.75 ^a
	HE3	112.8 \pm 2.32 ^c	67.59 \pm 1.64 ^b	65.33 \pm 2.46 ^b	40.55 \pm 0.60 ^a
净生殖率	LE9	3.01 \pm 0.43 ^a	3.01 \pm 0.34 ^a	6.46 \pm 0.16 ^b	4.16 \pm 0.30 ^d
R_0 (ind.)	HE1	1.41 \pm 0.17 ^a	3.03 \pm 0.54 ^b	4.92 \pm 0.62 ^c	2.75 \pm 0.23 ^{ab}
	HE3	1.71 \pm 0.12 ^a	3.64 \pm 0.56 ^{ad}	6.90 \pm 1.30 ^b	4.18 \pm 0.12 ^{cd}
内禀增长率	LE9	0.0080 \pm 0.0010 ^a	0.0109 \pm 0.0010 ^a	0.0314 \pm 0.0008 ^b	0.0358 \pm 0.0009 ^c
r_m (h ⁻¹)	HE1	0.0027 \pm 0.0010 ^a	0.0164 \pm 0.0030 ^b	0.0330 \pm 0.0022 ^c	0.0275 \pm 0.0069 ^{bc}
	HE3	0.0047 \pm 0.0006 ^a	0.0219 \pm 0.0030 ^b	0.0365 \pm 0.0043 ^c	0.0405 \pm 0.0018 ^c
后代混交率	LE9	36.65 \pm 1.39 ^d	0.68 \pm 0.68 ^a	14.33 \pm 3.16 ^b	29.19 \pm 1.99 ^c
Mixis rate (%)	HE1	22.64 \pm 3.67 ^b	8.23 \pm 0.35 ^a	8.26 \pm 1.57 ^a	10.48 \pm 0.88 ^a
	HE3	47.41 \pm 15.42 ^a	29.49 \pm 5.75 ^{ac}	18.51 \pm 2.76 ^c	51.68 \pm 3.20 ^a

* 多重比较(SNK-q 检验法); 具不同字母表示同一行数据的组间有显著差异, a, b, c and d 表示数据由小到大 Multiple comparison of SNK-q test; The different letters indicate that there are significant differences among the groups in the same column, and a, b, c and d indicate that the means increase gradually

温度、姐妹种及两者间的交互作用对轮虫的世代时间、平均寿命、出生时的生命期望和轮虫所产后代中的混交雌体百分率均有显著的影响($P < 0.05$); 温度和姐妹种对轮虫的净生殖率和种群内禀增长率均有极显著的影响($P < 0.01$), 但两者的交互作用对其无显著的影响($P > 0.05$)。

3 讨论

已有研究结果均表明, 轮虫种间或品系间生命表统计学参数存在着显著的差异, 这种差异是由遗传决定的^[14~17]。本研究中, 双因素方差分析所揭示的轮虫姐妹种间在世代时间、平均寿命、出生时的生命期望、轮虫所产后代中的混交雌体百分率、净生殖率和种群内禀增长率等方面所具有的显著差异不仅证实了上述结论, 而且为 3 个姐妹种的确定提供了生态特征方面的佐证。各温度下, 3 个姐妹种在世代时间、出生时的生命期望、净生殖率和种群内禀增长率等方面所具有的差异与其他臂尾轮虫特别是镰形臂尾轮虫 (*B. forcatus*) 和尾突臂尾轮虫 (*B. caudatus*) 的种间差异相似(表 2)。

一般认为, 变温动物的发育速率会随着温度的升高而加速。因此, 在理论上, 轮虫的世代时间、平均寿命和生命期望应随着温度的升高而缩短。已有的研究结果表明, 壶状臂尾轮虫 (*B. urceolaris*) 和萼花臂尾轮虫的世代时间、平均寿命和生命期望总体上随着温度的升高而缩短^[20,21]; 但萼花臂尾轮虫和角突臂尾轮虫的世代时间、平均寿命和生命期望对升高的温度的反应还因轮虫品系的不同而存在着差异^[15,17,22]。本研究首次发现, 同域性分布的萼花臂尾轮虫种复合体内 3 个姐妹种的世代时间、平均寿命和生命期望对升高的温度的反应也不相同。温度、姐妹种及两者间的交互作用对轮虫的世代时间、平均寿命和出生时的生命期望轮虫均有显著的影响表明, 遗传因素是决定轮虫姐妹种的世代时间、平均寿命和生命期望对升高的温度的反应存在着差异的重要内源性因素。

表 2 臂尾轮虫种间生命表参数的比较

Table 2 Comparison of life-table parameters among different *Brachionus* species

参数 Parameter	种类 Species	18℃	23℃	28℃	33℃	数据来源 Reference
种群内禀增长率	镰形臂尾轮虫-尾突臂尾轮虫 <i>B. forcatus</i> - <i>B. caudatus</i>	0.0087	—*	—	0.0197	[18]
r_m (h ⁻¹)	红臂尾轮虫-壶状臂尾轮虫 <i>B. rubens</i> - <i>B. urceolaris</i>	0.0107	0.0221	0.031	0.0273	[19]
	姐妹种 LE9-姐妹种 HE1 Sibling species LE9-Sibling species HE1	0.0053	—	—	—	本文
	姐妹种 LE9-姐妹种 HE3 Sibling species LE9-Sibling species HE3	0.0033	0.011	—	—	本文
净生殖率 R_0 (ind.)	姐妹种 HE1-姐妹种 HE3 Sibling species HE1-Sibling species HE3	—	—	—	—	本文
	镰形臂尾轮虫-尾突臂尾轮虫 <i>B. forcatus</i> - <i>B. caudatus</i>	6.36	—	—	9.59	[18]
	红臂尾轮虫-壶状臂尾轮虫 <i>B. rubens</i> - <i>B. urceolaris</i>	11.87	13.84	8.621	9.82	[19]
	姐妹种 LE9-姐妹种 HE1 Sibling species LE9-Sibling species HE1	1.6	—	—	1.41	本文
	姐妹种 LE9-姐妹种 HE3 Sibling species LE9-Sibling species HE3	1.3	—	—	—	本文
生命期望 e_0 (h)	姐妹种 HE1-姐妹种 HE3 Sibling species HE1-Sibling species HE3	—	—	—	1.43	本文
	镰形臂尾轮虫-尾突臂尾轮虫 <i>B. forcatus</i> - <i>B. caudatus</i>	46.2	21.4	10.8	32.2	[18]
	红臂尾轮虫-壶状臂尾轮虫 <i>B. rubens</i> - <i>B. urceolaris</i>	17	18	13.34	24	[19]
	姐妹种 LE9-姐妹种 HE1 Sibling species LE9-Sibling species HE1	—	—	14.29	—	本文
	姐妹种 LE9-姐妹种 HE3 Sibling species LE9-Sibling species HE3	25.6	16	—	—	本文
世代时间 T (h)	姐妹种 HE1-姐妹种 HE3 Sibling species HE1-Sibling species HE3	—	—	21.69	—	本文
	镰形臂尾轮虫-尾突臂尾轮虫 <i>B. forcatus</i> - <i>B. caudatus</i>	—	—	—	17.41	[18]
	红臂尾轮虫-壶状臂尾轮虫 <i>B. rubens</i> - <i>B. urceolaris</i>	10.24	11.9	17.9	7.79	[19]
	姐妹种 LE9-姐妹种 HE1 Sibling species LE9-Sibling species HE1	—	33.14	7.03	—	本文
	姐妹种 LE9-姐妹种 HE3 Sibling species LE9-Sibling species HE3	16.84	39.3	—	—	本文
	姐妹种 HE1-姐妹种 HE3 Sibling species HE1-Sibling species HE3	—	—	9.23	—	本文

* 两种间无显著的差异 No significant difference between two rotifer species

虽然变温动物的净生殖率在理论上应该不随着温度的变化而发生变化^[23];但众多的研究表明,不同品系或克隆的蓼花臂尾轮虫和角突臂尾轮虫的净生殖率与温度间的关系存在着差异,遗传因素是决定这种差异的重要内源性因素^[15,17,22]。与此相似的是,本研究所涉及的蓼花臂尾轮虫种复合体内 3 个姐妹种的净生殖率随着温度的升高而产生的反应存在着差异,从而再次证实了上述结论。

种群内禀增长率是反映种群增殖能力的一个综合指标,在适宜的环境条件来临时出现于自然水体中的轮虫种群在一定时间内所能达到的密度取决于其内禀增长能力。分布于同一水体中的蓼花臂尾轮虫种复合体内姐妹种的种群内禀增长率间的差异至少决定了它们在水体中具有不同的丰度;随着水温及与其相关的食物密度等的变动,姐妹种间的季节演替和生态位的时间分隔可能发生^[6]。即使在同一时间出现于同一水体中,

轮虫雌雄个体间进行交配的前提条件之一是它们间具有较高的相遇几率,相遇几率在较大程度上取决于轮虫的种群密度及其后代混交率。因此,Gómez 等^[6]认为,褶皱臂尾轮虫种复合体内 3 个姐妹种在种群增长和有性生殖方面所存在的对温度和盐度的不同的适应性可能导致了姐妹种间基因交流无法进行;本研究中,姐妹种间在接近自然水体温度(18℃)的情况下其种群内禀增长率和轮虫后代混交率方面所存在的差异以及它们随水温变动而存在的不同的响应方式可能部分反映了轮虫克隆间由于基因交流的缺乏,在长期的进化过程中导致了物种的形成。

References:

- [1] Snell T W, Hawkinson C A. Behavioral reproductive isolation among population of the rotifer *Brachionus plicatilis*. *Evolution*, 1983, 37: 1293 – 1305.
- [2] Snell T W. Systematics, reproductive isolation and species boundaries in monogonont. *Hydrobiologia*, 1989, 186/187: 381 – 386.
- [3] Gómez A, Serra M. Behavioral reproductive isolation among sympatric strains of *Brachionus plicatilis* Muller 1786: insights into the status of this taxonomic species. *Hydrobiologia*, 1995, 313/314: 111 – 119.
- [4] Rico-Martínez R, Snell T W. Copulatory behavior and mate recognition pheromone blocking of male receptors in *Brachionus plicatilis* Muller (Rotifers). *Hydrobiologia*, 1995, 313/314: 105 – 111.
- [5] Gilbert J J, Walsh E J. *Brachionus calyciflorus* is a species complex: Mating behavior and genetic differentiation among four geographically isolated strains. *Hydrobiologia*, 2005, 546: 257 – 265.
- [6] Gómez A, Carmona M J, Serra M. Ecological factors affecting gene flow in the *Brachionus plicatilis* complex (Rotifera). *Oecologia*, 1997, 111: 350 – 356.
- [7] Ciro-Pérez J, Gómez A, Serra M. On the taxonomy of three sympatric species of the *Brachionus plicatilis* (Rotifera) complex from Spain, with the description of *B. ibericus* n. sp. *J. Plankton Res*, 2001, 23: 1311 – 1328.
- [8] Gómez A, Carmona M J, Serra M. Resource competition between the sympatric sibling rotifer species. *Limnol. Oceanogr*, 2001, 46: 1511 – 1523.
- [9] Ortells R, Gómez A, Serra M. Coexistence of rotifer cryptic species: ecological and genetic characterisation of *Brachionus plicatilis*. *Freshwater Biology*, 2003, 48: 2194 – 2202.
- [10] Li H B, Xi Y L, Cheng X F, *et al.* Sympatric speciation in rotifers: evidences from molecular phylogenetic relationship and reproductive isolation among *Brachionus calyciflorus* clones. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, 54(2): 256 – 264.
- [11] Gilbert J J. Mictic female production in rotifer *Brachionus calyciflorus*. *J Exp Zool*, 1963, 153: 113 – 124.
- [12] Zhang Z S, Huang X F. *Method for Study on Freshwater Plankton*. Beijing Science Press, 1991. 410 – 411.
- [13] Xi Y L, Huang X F. Effect of food supply in both food quality and quantity on the population dynamics of *Brachionus urceolaris*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, 23 (3): 227 – 234.
- [14] Ricci C. Comparison of five strains of a parthenogenetic species, *Macrotrachela quadricornifera* (Rotifera, Bdelloidea) I. Life history traits. *Hydrobiologia*, 1991, 211: 147 – 155.
- [15] Dong L L, Xi Y L, Liu G Y. 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.
- [16] Feng L K, Xi Y L. The comparative study on the characteristics of the life history of three *Brachionus calyciflorus* strains. *Chinese Journal of Zoology*, 2004, 39 (1): 12 – 15.
- [17] Xi Y L, Ge Y L, Chen F, *et al.* Life history characteristics of three strains of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera) at different temperatures. *Journal of Freshwater Ecology*, 2005, 20 (4): 707 – 713.
- [18] Tao L X, Xi Y L, Hu C B. Comparative study on the life history characteristics of rotifer *Brachionus forcatus* and *B. caudatus*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(5): 1104 – 1109.
- [19] Hu C B, Xi Y L, Tao L X. Comparative on the life history characteristics of *Brachionus rubes* and *B. urceolaris*. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (12): 5957 – 5863.
- [20] Xi Y L, Huang X F. Effect of temperature on the population dynamics of *Brachionus urceolaris*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31 (1):

23—28.

- [21] Xi Y L, Huang X F. Temperature effect on the life history of three types of *Brachionus calyciflorus* females. *Chinese Journal of Oceanography and Limnology*, 2004, 22 (2): 192—197.
- [22] Hu H Y, Xi Y L, Geng H. Effects of temperature on life history strategies of three strains of *Brachionus angularis* gosse. *Acta Hydrobiol Sin*, 2004, 28 (3): 284—288.
- [23] Meadow N D, Barrows C H. 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.

参考文献:

- [10] 李化炳, 席贻, 程新峰, 等. 轮虫同域性物种形成: 基于萼花臂尾轮虫克隆间的分子系统发育关系和生殖隔离证据. *动物学报*, 2008, 54 (2): 256—264.
- [12] 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.
- [13] 席贻龙, 黄祥飞. 食物种类和温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 (3): 227—234.
- [15] 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 (11): 2165—2169.
- [16] 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 (1): 12—15.
- [18] 陶李祥, 席贻龙, 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.
- [19] 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比较. *生态学报*, 2008, 28 (12): 5957—5863.
- [21] 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 (1): 23—28.
- [22] 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.