

镜湖𩺰花臂尾轮虫夏季种群内不同克隆的生活史特征

董丽丽^{1,2} 席贻龙¹ 张雷¹(1. 安徽师范大学生命科学学院, 重要生物资源的保护和利用研究安徽省重点实验室, 安徽省高校生物环境与生态安全
省级重点实验室, 芜湖 241000; 2. 黄山学院生命与环境科学学院, 黄山 245041)

摘要: 应用生命表统计学等方法对镜湖𩺰花臂尾轮虫夏季种群内 4 个在生化遗传特征上互不相同的克隆(克隆 A、B、C 和 D)在 4 种温度(15℃、20℃、25℃和 30℃)下的生活史特征及其对升高的温度的反应进行了比较研究。结果表明, 温度对𩺰花臂尾轮虫存活率和繁殖率的影响在不同克隆间存在着差异。20℃和 25℃下, 4 个克隆轮虫的世代时间和净生殖率均分别无显著的差异; 20℃、25℃和 30℃下, 4 个克隆轮虫的平均寿命和出生时的生命期望亦然。其余各温度下, 4 个克隆间轮虫的其他生命表参数均有显著的差异。20℃、25℃和 30℃下, 4 个克隆轮虫所产后代中的混交雌体百分率间均具有显著的差异, 且克隆 C 轮虫所产后代中的混交雌体百分率最高。15℃下, 克隆 D 轮虫的个体适合度最高; 25℃下, 克隆 A 和 B 轮虫的个体适合度较高。4 个克隆轮虫的生活史特征对升高的温度的反应也存在着差异。忽略温度的影响时, 4 克隆间, 克隆 D 轮虫的世代时间、平均寿命和出生时的生命期望最短, 净生殖率、种群内禀增长率和个体适合度均最低; 克隆 C 轮虫所产后代中的混交雌体百分率最高。30℃下, 4 个克隆轮虫的种群内禀增长率存在着差异可能是不同基因型的轮虫克隆群在种群内所占的比例不同的主要原因; 而它们的个体适合度相似则可能是不同基因型的轮虫克隆群在夏季镜湖中共存的主要原因之一。

关键词: 𩺰花臂尾轮虫; 夏季种群; 克隆; 生活史特征; 温度

中图分类号: Q959.181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2007)05-0611-07

轮虫是浮游动物的重要类群之一, 在淡水生态系统的结构组成、物质循环和能量流动过程中具有重要的作用; 对其种群动态规律及其机理的研究不仅有利于我们为最终解决种群时空动态及其机制这一种群生态学的核心问题积累资料, 而且有利于我们正确认识淡水生态系统的结构和功能及其变动规律。为此, 张雷等曾以芜湖市镜湖的𩺰花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)夏季种群为对象, 对最终建立起来的 16 个克隆进行了等位酶分析, 发现 7 月份的镜湖𩺰花臂尾轮虫种群主要由 4 个在生化遗传特征上互不相同的克隆群所组成(即“克隆共存”现象), 各基因型的轮虫克隆群在种群内所占的比例不同^[1]。但究其原因, 目前尚无从知晓。从种群生态学和进化生态学等的角度来看, “克隆共存”的前提应是不同基因型的克隆群至少应在克隆群间的竞争能力和个体适合度等方面相同, 或具有明显的生态

位分化^[1]; 而各基因型的轮虫克隆群在种群内所占的比例不同则可能与它们在特定条件下的种群增长率等存在着差异有关。

为探明不同基因型的轮虫克隆群在不同温度下尤其是接近夏季水温时的个体适合度和种群增长率是否相同, 本研究以 4 个不同的克隆群中分别选取的一个克隆为对象, 应用生命表统计学(Life table demography)等方法对其生活史特征进行了研究。因为生命表统计学方法不仅是理解在连续变化的环境条件下轮虫的生活史策略和种群动态的重要工具, 也是我们获得净生殖率等个体适合度指标和种群内禀增长率的重要途径。

温度是决定轮虫种群动态的重要外源性因子之一。在自然水生态系统中, 轮虫种群的季节变化最可能受到水温及与其相关的食物种类和丰度等的影响。因此本研究在 15℃、20℃、25℃和 30℃等 4 个温度下,

收稿日期: 2005-12-27; 修订日期: 2006-4-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30270221); 安徽省优秀青年基金资助项目(04043050); 安徽省高等学校省级重点实验室重点科研项目(2004sy003); “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; 黄山学院资助项目(2006xkj010)资助

作者简介: 董丽丽(1980—), 女, 安徽砀山人; 硕士; 研究方向为轮虫种群生态学。E-mail: kinddongli@163.com

通讯作者: 席贻龙, E-mail: ylx1965@yahoo.com.cn

比较研究了4个不同基因型的轮虫克隆的生活史特征及其对升高的温度的反应,旨在对镜湖花臂尾轮虫夏季种群内共存的克隆的个体适合度和种群内禀增长率进行分析以探讨“克隆共存”和各基因型的轮虫克隆群在种群内占有不同的比例等现象存在的原因,并为轮虫种群遗传结构季节变化的机制及其适应季节性变化的水环境的机理研究积累资料。

1 材料与方法

1.1 轮虫的来源 实验用花臂尾轮虫于2004年7月采自芜湖市镜湖(31°20'N, 119°21'E)。每次采样后,随机挑取样品中的非混交雌体,并于25℃、自然光照(光照强度约130k, L:D=14:10)条件下进行“克隆”培养。培养液采用Gilbert配方(pH=7.3),所用的饵料为HB-4培养基培养的、处于指数增长期的斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*)。对最终建立的16个克隆进行等位酶分析并筛选出4个互不相同的克隆群后,由其中各选取一个克隆(分别命名为克隆A、B、C和D)^[1]用于本实验研究。

1.2 轮虫的预培养 实验前,将4个克隆轮虫分别置于温度为15℃、20℃、25℃和30℃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 3.0×10^6 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一次,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 生活史特征研究 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相同密度食物的培养液,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(4克隆×4温度×3重复)。实验过程中,每间隔8h观察一次,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。

1.4 生命表参数的定义和计算方法 与席貽龙和黄祥飞^[4]基本相同。

1.5 数据的处理和分析 用单因子方差分析法分别对同一温度下4个克隆轮虫的生活史参数和各个克隆轮虫的生活史参数在4个温度下的差异显著性进行统计学分析,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。应用SPSS11.5统计软件对各个克隆轮虫的生活史参数与温度间的关系进行回归分析。

2 结果

2.1 4个克隆花臂尾轮虫的存活率和繁殖率 各培养温度下,4个克隆轮虫的存活率如图1

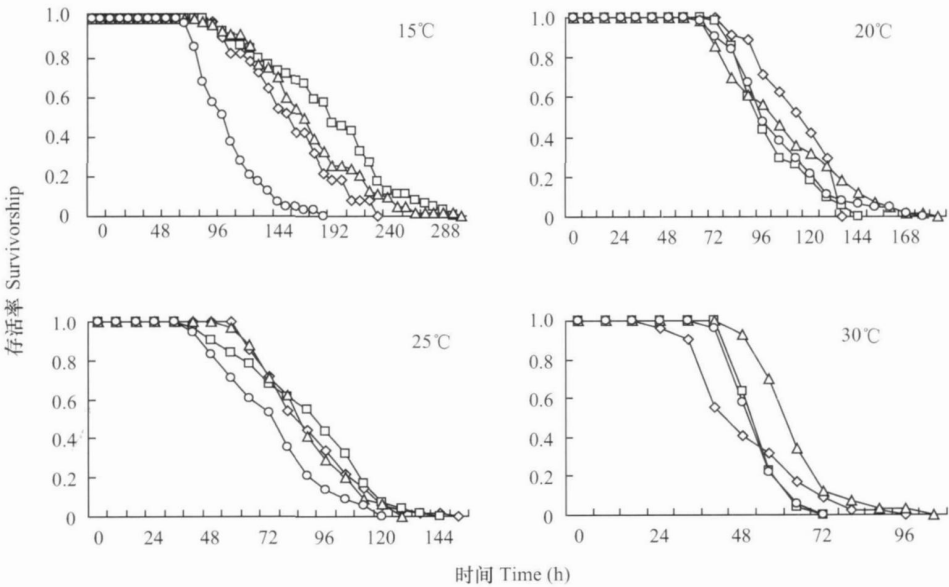


图1 不同温度下花臂尾轮虫4个克隆的存活率
Fig. 1 Survivorships of four *B. calyciflorus* clones cultured at four temperatures

所示。由图可见,随着培养温度的升高,4 个克隆轮虫存活率开始下降的时间逐渐前移,下降的速度逐渐加快。但同一温度下,各克隆轮虫存活率开始下降的时间却不尽相同;15℃、20℃和 25℃下,D 克隆轮虫存活率开始下降的时间均最早,依次为第 80 小时、64 小时、40 小时;而 30℃下,A 克隆轮虫存活率开始下降的时间最早,为第 24 小时。

随着培养温度的升高,4 个克隆轮虫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差异。15℃、25℃和 30℃下,D 克隆轮虫的繁殖率高峰值均最小;而 20℃下,B 克隆轮虫的繁殖率高峰值最小。克隆 A 和 B 轮虫的繁殖率高峰值均在 25℃下最大,而克隆 C 和 D 轮虫的繁殖率高峰值的最大值却出现在 30℃下(图 2)。

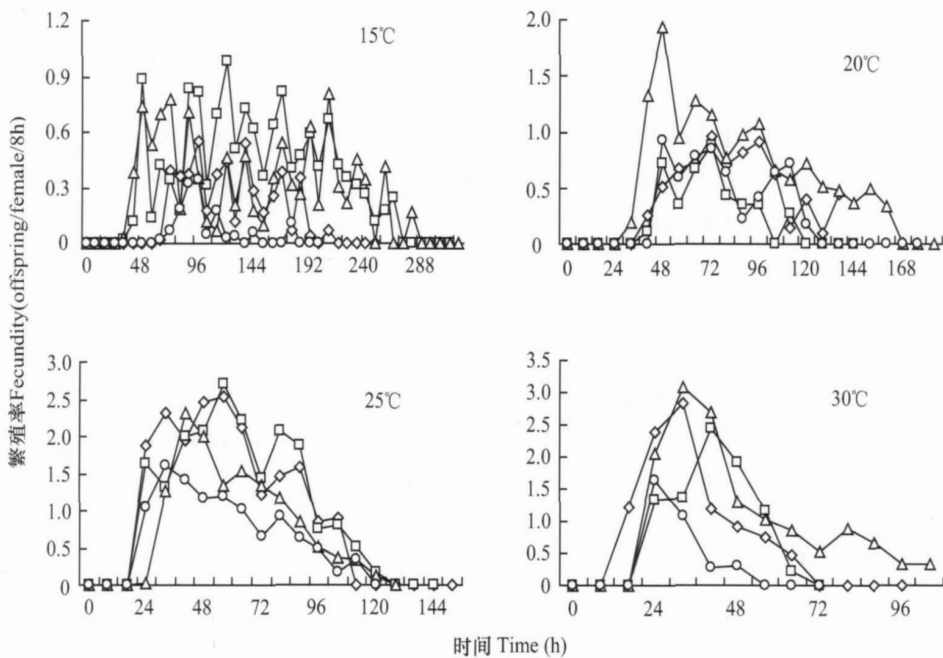


图 2 不同温度下红花臂尾轮虫 4 个克隆的繁殖率
Fig. 2 Reproductive rates of four *B. calyciflorus* clones cultured at four temperatures

2.2 4 个克隆轮虫的生命表参数

20℃和 25℃下,4 个克隆轮虫的世代时间和净生殖率均分别无显著的差异;20℃、25℃和 30℃下,4 个克隆轮虫的平均寿命和出生时的生命期望也分别无显著的差异($p>0.05$)。其余各温度下,4 个克隆轮虫的其他生命表参数均有显著的差异($p<0.05$)。15℃下,克隆 B 轮虫的世代时间最长;30℃下,克隆

B 和 C 轮虫的世代时间较长。15℃下,4 个克隆轮虫的平均寿命、出生时的生命期望和净生殖率均依次为克隆 D<克隆 A<克隆 C<克隆 B;30℃下,克隆 C 轮虫的净生殖率最大。15℃下,克隆 B 和 C 轮虫的种群内禀增长率较高;20℃下,克隆 C 轮虫的种群内禀增长率最高;而 25℃和 30℃下,克隆 A 轮虫的种群内禀增长率均最高(表 1)。

表 1 不同温度下 4 克隆红花臂尾轮虫的生活史特征(均数±标准误)

参数 Parameters		克隆 Clones			
		15℃	20℃	25℃	30℃
世代时间 Generation time(h)	A	114.38±0.23 ^{b*}	72.48±7.52 ^a	50.86±3.24 ^a	29.46±2.58 ^a
	B	126.27±0.92 ^d	66.56±2.42 ^a	54.86±3.28 ^a	37.31±0.25 ^b
	C	104.67±7.52 ^b	67.07±2.75 ^a	54.33±2.09 ^a	37.78±0.45 ^b
	D	94.72±1.09 ^a	69.31±1.07 ^a	45.09±4.85 ^a	29.25±0.47 ^a

续表

参数 Parameters	克隆 Clones	15℃	20℃	25℃	30℃
平均寿命	A	173.90±3.41 ^b	115.07±9.81 ^a	91.08±7.40 ^a	51.51±6.06 ^a
Average lifespan(h)	B	206.09±3.79 ^d	102.11±3.91 ^a	91.14±10.13 ^a	55.26±0.38 ^b
	C	189.43±5.07 ^c	108.36±4.78 ^a	89.83±4.02 ^a	65.82±1.11 ^b
	D	129.88±1.41 ^a	105.23±6.10 ^a	75.70±9.28 ^a	54.50±1.96 ^a
	A	169.90±3.41 ^b	111.07±9.81 ^a	87.08±7.40 ^a	47.51±6.06 ^a
出生时的生命期望	B	202.09±3.79 ^d	98.11±3.91 ^a	87.14±10.13 ^a	51.26±0.38 ^a
Life expectancy at hatching (h)	C	185.43±5.07 ^c	104.36±4.78 ^a	85.83±4.02 ^a	61.82±1.11 ^a
	D	125.88±1.41 ^a	101.23±6.10 ^a	71.70±9.28 ^a	50.50±1.96 ^a
	A	3.93±0.31 ^b	6.46±2.51 ^a	16.10±1.77 ^a	8.31±2.45 ^b
	B	10.57±0.48 ^d	3.55±0.34 ^a	15.18±3.21 ^a	6.66±0.39 ^b
净生殖率	C	7.54±0.92 ^c	9.51±1.03 ^a	10.65±0.90 ^a	10.24±0.55 ^c
Net reproductive rate(ind.)	D	1.16±0.74 ^a	4.38±0.46 ^a	7.94±2.08 ^a	3.16±0.40 ^a
	A	0.0126±0.0007 ^a	0.0229±0.0062 ^a	0.0664±0.0004 ^b	0.0762±0.0087 ^b
	B	0.0234±0.0001 ^b	0.0195±0.0013 ^a	0.0599±0.0033 ^a	0.0538±0.0014 ^a
	C	0.0248±0.0001 ^b	0.0384±0.0008 ^b	0.0485±0.0004 ^a	0.0678±0.0015 ^a
内禀增长率	D	0.0015±0.0007 ^a	0.0222±0.0013 ^a	0.0497±0.0048 ^a	0.0399±0.0038 ^a
Intrinsic rate of population increase(/h)	A	6.88±1.92 ^a	3.41±1.99 ^a	17.33±1.29 ^a	21.50±7.02 ^b
	B	13.68±1.66 ^a	2.60±1.24 ^a	23.09±1.74 ^a	14.50±3.59 ^b
	C	13.47±3.33 ^a	56.13±8.19 ^b	53.35±5.71 ^b	44.90±2.92 ^c
	D	3.70±3.70 ^a	12.83±2.77 ^a	27.33±3.53 ^a	0.00±0.00 ^a
后代混交率	A	3.65±0.23 ^b	6.14±2.31 ^a	13.30±1.44 ^b	6.19±1.34 ^a
Mixis rate(%)	B	9.13±0.44 ^d	3.46±0.37 ^a	11.57±2.22 ^b	5.68±0.28 ^a
	C	6.55±0.95 ^c	4.32±1.28 ^a	5.07±1.00 ^a	5.61±0.14 ^a
	D	1.11±0.05 ^a	3.81±0.35 ^a	5.63±1.30 ^a	3.16±0.40 ^a
	A				
个体适合度	B				
Individual fitness(ind.)	C				
	D				

* 多重比较(SNK-q 检验法); 具有相同字母表示同一列数据的组间无显著差异
Multiple comparison of q-test; The same letter indicates that there are no significant differences among the groups in the same column

4 个克隆轮虫的生命表参数对升高的温度的反应存在着差异。克隆 C 轮虫的世代时间以及克隆 B 轮虫的平均寿命和出生时的生命期望均在 30℃下最短, 15℃下最长, 20℃和 25℃下无显著差异; 而其他 3 个克隆轮虫的世代时间、平均寿命和出生时的生命期望均随着培养温度的升高而逐渐显著地缩短, 但缩短的速率在克隆间存在着差异。克隆 A 和 D 轮虫的净生殖率在 25℃下最大, 其他三温度间无显著差异。克隆 A 轮虫的净生殖率在 25℃下最大, 其他三温度间无显著差异; 克隆 D 轮虫的净生殖率在 25℃下最大, 15℃下最小; 克隆 B 轮虫的净生殖率在 25℃下最大, 20℃下最小; 克隆 C 轮虫的净生殖率在 4 个温度下无显著差异($p>0.05$)。克隆 A 和 B 轮虫的种群内禀增长率在 15℃和 20℃以及 25℃和 30℃下均分别无显著差异, 但前两个温度下

轮虫的种群内禀增长率都低于后两个温度下轮虫的种群内禀增长率; 克隆 C 轮虫的种群内禀增长率随培养温度的升高而逐渐显著地增高; 克隆 D 轮虫的种群内禀增长率在 15℃下最低, 20℃下次之, 25℃和 30℃下最高且两者间无显著差异(表 1)。

忽略温度的影响时, 4 个克隆间, 克隆 D 轮虫的世代时间、平均寿命、出生时的生命期望和净生殖率均最小, 其余克隆间无显著差异; 克隆 A 和 C 轮虫的种群内禀增长率最高且两者间无显著的差异, 克隆 B 次之, 克隆 D 最低。

4 个克隆轮虫的世代时间、平均寿命、出生时的生命期望和内禀增长率均与培养温度间呈曲线相关。4 个克隆中, 仅克隆 C 和克隆 D 轮虫的净生殖率与温度间呈曲线相关; 两者的净生殖率达最大值时的温度依次为 26.4℃和 23.7℃(表 2)。

表 2 4 克隆轮虫的生活史特征与温度间的关系
Tab. 2 Relationships between the life history characteristics of four *B. calyciflorus* clones and temperatures (°C)

参数 Parameters	克隆 Clones	回归方程 Regression equation	显著性检验 Significant test
世代时间 Generation time (h)	A	$Y=0.2051X^2-14.756X+288.575$	$R^2=0.959, p<0.01$
	B	$Y=0.4216X^2-24.543X+396.869$	$R^2=0.960, p<0.01$
	C	$Y=0.2105X^2-13.743X+262.010$	$R^2=0.930, p<0.01$
	D	$Y=0.0958X^2-8.7241X+204.389$	$R^2=0.978, p<0.01$
平均寿命 Average lifespan (h)	A	$Y=0.1927X^2-16.494X+375.440$	$R^2=0.936, p<0.01$
	B	$Y=0.681X^2-39.915X+645.686$	$R^2=0.925, p<0.01$
	C	$Y=0.5706X^2-33.463X+559.595$	$R^2=0.959, p<0.01$
	D	$Y=0.0346X^2-6.6712X+222.819$	$R^2=0.925, p<0.01$
出生时的生命期望 Life expectancy at hatching (h)	A	$Y=0.1927X^2-16.494X+371.440$	$R^2=0.936, p<0.01$
	B	$Y=0.681X^2-39.915X+641.686$	$R^2=0.925, p<0.01$
	C	$Y=0.5706X^2-33.463X+555.595$	$R^2=0.959, p<0.01$
	D	$Y=0.0346X^2-6.6712X+218.819$	$R^2=0.925, p<0.01$
净生殖率 Net reproductive rate (ind.)	C	$Y=-0.0238X^2+1.2567X-5.9943$	$R^2=0.486, p<0.05$
	D	$Y=-0.0800X^2+3.7929X-38.166$	$R^2=0.609, p<0.05$
内禀增长率 Intrinsic rate of population increase (/h)	A	$Y=-0.00006X^2+0.0049X-0.0637$	$R^2=0.859, p<0.01$
	B	$Y=-0.00002X^2+0.0036X-0.0306$	$R^2=0.663, p<0.01$
	C	$Y=0.000058X^2+0.0002X+0.0097$	$R^2=0.986, p<0.01$
	D	$Y=-0.0003X^2+0.0166X-0.1811$	$R^2=0.876, p<0.01$
后代混交率 Mixis rate (%)	A	$Y=0.0765X^2-2.2871X+22.6193$	$R^2=0.541, p<0.05$
	C	$Y=-0.5110X^2+24.8240X-241.93$	$R^2=0.771, p<0.01$
	D	$Y=-0.3645X^2+16.4722X-163.72$	$R^2=0.650, p<0.01$
个体适合度 Fitness (ind.)	D	$Y=-0.052X^2+2.482X-24.676$	$R^2=0.684, p<0.01$

2.3 4 个克隆轮虫所产后代中的混交雌体百分率

15℃下, 4 个克隆轮虫所产后代中的混交雌体百分率无显著差异 ($p>0.05$); 其余 3 个温度下均以克隆 C 轮虫所产后代中的混交雌体百分率最高(表 1)。

克隆 A 轮虫在 25℃和 30℃下所产后代中的混交雌体百分率高于 15℃和 20℃时, 克隆 B 轮虫所产后代中的混交雌体百分率在 25℃下最高, 20℃下最低; 而克隆 C 轮虫所产后代中的混交雌体百分率在 15℃下最低, 其余温度间无显著差异; 克隆 D 轮虫所产后代中的混交雌体百分率在 25℃下最高, 30℃下最低(表 1)。

忽略温度的影响时发现, 4 个克隆间, 克隆 C 轮虫所产后代中的混交雌体百分率最高, 其余 3 个克隆间无显著差异。

除克隆 B 外, 其余 3 个克隆轮虫所产后代中的混交雌体百分率均与温度间呈曲线相关(表 2)。但克隆 A 轮虫所产后代中的混交雌体百分率在 15.0℃最低, 而克隆 C 和克隆 D 分别在 24.3℃和 22.6℃最高。

2.4 4 个克隆轮虫的个体适合度

20℃和 30℃下, 4 个克隆轮虫的个体适合度无显著差异 ($p>0.05$); 15℃下, 4 个克隆轮虫的个体适合度依次为克隆 D<克隆 A<克隆 C<克隆 B; 25℃下, 克隆 C 和克隆 D 轮虫的个体适合度无显著差异, 但均低于克隆 A 和克隆 B, 后两者间也无显著差异(表 1)。

4 个克隆轮虫的个体适合度对升高的温度的反应存在着差异。克隆 A 轮虫的个体适合度在 25℃下最高, 其他三温度间无显著差异; 克隆 D 轮虫的个体适合度在 25℃下最高, 15℃下最低; 克隆 B 轮虫的个体适合度以 25℃下最高, 20℃下最低; 克隆 C 轮虫的个体适合度在 4 个温度下无显著差异 ($p>0.05$)(表 1)。

忽略温度的影响时, 4 个克隆间, 克隆 D 轮虫的个体适合度最低, 其余克隆间无显著差异。

4 个克隆中, 仅克隆 D 轮虫的个体适合度与温度间呈曲线相关; 当温度为 24.0℃时, 其个体适合度最高(表 2)。

3 讨论

一般来说,变温动物的发育速率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。已有的研究表明,壶状臂尾轮虫(*B. urceolaris*)和产自武汉东湖的菊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^[3,4];不同品系或克隆的菊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与温度间的关系总体上也与此一致^[5-7]。但具体分析发现,菊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不仅因轮虫品系的不同而存在着差异^[5-7],同一季节种群内不同克隆间也不尽相同。

Meadow & Barrows^[8]认为,由于变温动物的生殖率与代谢速率相关,而代谢速率随着温度的升高而增大,因此净生殖率在理论上应该不随着温度的变化而发生变化。尽管湿生品系(M_1 和 M_2)的蛭态类方角粗颈轮虫(*M. quadricornifera*)和芜湖品系的菊花臂尾轮虫的净生殖率的确不随着温度的变化而发生变化,但水生品系(P、C和F)的蛭态类轮虫以及广州和青岛品系的菊花臂尾轮虫的净生殖率却随着温度的变化而发生显著的变化^[7,9]。与此相似的是,本研究涉及的4个克隆的菊花臂尾轮虫中,仅克隆C轮虫的净生殖率在4个温度下无显著差异。可见,遗传因素是决定轮虫发育和繁殖速率随温度而发生变化的方式的重要内源性因素。

内禀增长能力是反映种群增殖能力的一个综合指标,它不仅考虑了种群的出生率和死亡率,还考虑了种群的年龄结构、发育速率、世代时间等因素,因此它可以敏感地反映出环境的细微变化,人们可以视之为特定种群对环境质量反应的一个优良指标^[10]。本研究中,作者发现15℃下,克隆B和C轮虫的种群内禀增长率较高;20℃下,克隆C轮虫的种群内禀增长率最高;而25℃和30℃下,克隆A轮虫的种群内禀增长率均最高。当温度由15℃升高到20℃时,克隆A和B轮虫的种群内禀增长率并不发生显著的变化;同样,当温度由25℃升高到30℃时,克隆A、B和D轮虫的种群内禀增长率也均不发生显著的变化。4个克隆中,仅克隆C轮虫的种群内禀增长率随培养温度的升高而逐渐显著地增高。可见,4个克隆中,克隆C轮虫对环境温度的变化最敏感。不同基因型的轮虫克隆的种群内禀增长率差异及其不同的温度敏感性可能是决定其在种群内的相

对丰度及其随时间而发生变化的一个重要因素,也可能是导致轮虫种群随时间乃至季节变化而发生波动的重要内源性因素之一。

轮虫不仅在淡水生态系统的结构组成、物质循环和能量流动过程中具有重要的作用,还是水产经济动物适宜的开口饵料和优质食物。为此,选择适宜的轮虫克隆进行培养也具有重要的实践意义。就本研究结果而言,当忽略温度的影响时,4个克隆间,克隆A和C轮虫的种群内禀增长率最高且两者间无显著的差异,但克隆C轮虫所产后代中的混交雌体百分率最高。因此,可以认为,克隆A最值得加以培养利用。

前已述及,从种群生态学和进化生态学等的角度来看,“克隆共存”的前提应是不同基因型的克隆群至少应在克隆群间的竞争能力和个体适合度等方面相同,或具有明显的生态位分化^[11]。适合度是分析估计生物具有的各种特征的适应性和在进化过程中继续往后代传递能力的常用指标,适合度综合了存活能力和生育能力,因此,某一基因型个体的适合度实际上就是它的平均后裔数(即净生殖率)和对未来种群的贡献^[10,11]。鉴于轮虫所产后代中的混交雌体对未来种群的增长无任何积极意义^[12,13],所以本研究中以轮虫所产的非混交后代数为其适合度。研究发现,30℃下,4个克隆轮虫的个体适合度间无显著的差异;这可能是不同基因型的轮虫克隆群在夏季镜湖中共存的主要原因之一。

参考文献:

- [1] 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 [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2005, 51(4): 678—684 [张雷, 席贻龙, 董丽丽, 等. 镜湖菊花臂尾轮虫夏季种群等位酶分析以及克隆间的生殖差异. 动物学报, 2005, 51(4): 678—684]
- [2] Xi Y L, Huang X F. Effect of temperature on the experiment population dynamics of *Brachionus urceolaris* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, 23(3): 227—234 [席贻龙, 黄祥飞. 食物种类和浓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]
- [3] Xi Y L, Huang X F. Effect of temperature on the experiment population dynamics of *Brachionus urceolaris* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, 31(1): 23—28 [席贻龙, 黄祥飞. 温度对壶状臂尾轮虫实验种群动态的影响. 海洋与湖泊, 2000, 31(1): 23—28]
- [4] Xi Y L, Huang X F. Temperature effect on the life history of three types of *Brachionus calyciflorus* females [J]. *Chinese Journal of Oceanography and Limnology*, 2004, 22(2): 192—197

- [5] Hu H Y, Xi Y L, Geng H. Effects of temperature on life history strategies of three strains of *Brachionus angularis* Gosse [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, **28**(3): 284—288 [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]
- [6] Dong L L, Xi Y L, Liu G Y, *et al.* Effect of temperature and food concentration on the population dynamics of three *Brachionus calyciflorus* strains [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004 **15** (11): 2165—2169 [董丽丽, 席贻龙, 刘桂云, 等. 温度和食物浓度对三品系 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]
- [7] Xi Y L, Ge Y L, Chen F, *et al.* Life history characteristics of three strains of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera) at different temperatures [J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 2005 **20**(4): 707—713
- [8] 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 [J]. *Journal of Gerontology*, 1971, **26**: 302—309
- [9] Ricci C. Comparison of five strains of a parthenogenetic species, *Macrotrachela quadricornifera* (Rotifera, Bdelloidea). I. Life history traits [J]. *Hydrobiologia*, 1991, **211**: 147—155
- [10] Sun R Y. Principles of animal ecology (The third edition) [M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 2001, 158—159, 234—235 [孙儒泳. 动物生态学原理(第三版). 北京: 北京师范大学出版社, 2001, 158—159, 234—235]
- [11] Mackenzie A, Ball A S, Virdee R S. Instant notes in ecology (Second Edition) [M]. Beijing: Science Press, 2003, 11—12
- [12] Xi Y L, Huang X F. Effects of temperature and food concentration on resting egg formation of freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000 **24**(2): 108—113 [席贻龙, 黄祥飞. 温度和食物浓度对 花臂尾轮虫休眠卵形成的影响. 水生生物学报, 2000, **24**(2): 108—113]
- [13] Xi Y L, Huang X F. Advances in studies on the ecological mechanism of the formation and hatching of resting eggs of rotifers [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**(3): 227—234 [席贻龙, 黄祥飞. 轮虫休眠卵形成和萌发的生态机理研究进展. 水生生物学报, 1999 **23**(1): 73—82]

LIFE HISTORY TRAITS OF DIFFERENT CLONES FROM SUMMER POPULATION OF *BRACHIONUS CALYCIFLORUS* (ROTIFERA) IN LAKE JINGHU

DONG Li-Li^{1,2}, XI Yi-Long¹ and ZHANG Lei¹

(1. Provincial Laboratory of Conservation and Utilization for Important Biological Resource in Anhui & Biotic Environment and Ecological Safety, College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000;

2. School of Life and Environment, Huangshan College, Huangshan 245041)

Abstract: By means of life table demographic approach, four biochemical-genetically different *Brachionus calyciflorus* clones (Clone A, B, C and D) collected from Lake Jinghu in summer were cultured at 15 °C, 20 °C, 25 °C and 30 °C with 3.0×10^6 cells/mL of *Scenedesmus obliquus* to investigate their differences in life history characteristics and their responses to increasing temperature. The results showed that the effects of temperature on the survivorship and the fecundity of *B. calyciflorus* differed with rotifer clones. At the same temperature, and among the four rotifer clones, there were significant differences in the life table parameters including generation time, average lifespan, life expectancy at hatching, net reproductive rate and intrinsic rate of population increase except the generation time and the net reproductive rate at 20 °C and 25 °C as well as the average lifespan and the life expectancy at hatching at 20 °C, 25 °C and 30 °C. At 20 °C, 25 °C and 30 °C, the percentage of mictic females in the offspring of the four rotifer clones was significantly different, and that of Clone C was the highest. At 15 °C, the individual fitness of Clone D was the highest; at 25 °C, the individual fitness of Clone A and B was both higher among the four rotifer clones. There were some differences in responses of life history characteristics to increasing temperature among the four rotifer clones. Regardless of the temperature effect, and among the four rotifer clones, the average lifespan, generation time, life expectancy at hatching, net reproductive rate, intrinsic rate of population increase and individual fitness of Clone D were all the shortest and lowest, and the percentage of mictic females in the offspring of Clone C was the highest. At 30 °C, the differences in the intrinsic rate of population increase of the four clones might cause different proportion of clone groups with different genotypes in the summer population, and the similar individual fitness of the four clones might be one of the main reasons that contribute to the coexistence of genetically different *B. calyciflorus* clones in Lake Jinghu in summer.

Key words: *Brachionus calyciflorus*; Summer population; Clone; Life history characteristics; Temperature