

红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫生活史特征比较

胡存兵, 席贻龙*, 陶李祥

(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:应用单个体培养方法,以浓度为 3.0×10^6 cells/ml 的斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*) 为食物,在 18、23、28℃ 和 33℃ 下,对分类存疑种类红臂尾轮虫 (*Brachionus rubens*) 和壶状臂尾轮虫 (*B. urceolaris*) 的生活史特征进行了比较研究。结果表明,随着温度的升高,两种轮虫的生殖前期和生殖期历时、平均寿命、世代时间和生命期望均逐渐显著地缩短,而种群内禀增长率却极显著地增大。红臂尾轮虫在 28℃ 下的生殖后期历时与 23℃ 和 33℃ 间均无显著的差异,壶状臂尾轮虫在 28℃ 和 33℃ 下的生殖后期历时也无显著的差异。红臂尾轮虫的产卵量和净生殖率均在 33℃ 下最小,在其他 3 个温度间都无显著的差异;壶状臂尾轮虫的产卵量和净生殖率均在 33℃ 下最小,28℃ 下最大。18、23℃ 和 28℃ 下红臂尾轮虫的生殖前期历时、平均寿命、生命期望和世代时间都显著短于壶状臂尾轮虫,而生殖期历时在两者间无显著差异;33℃ 下红臂尾轮虫的生殖期历时、平均寿命、生命期望和世代时间都显著长于壶状臂尾轮虫,而生殖前期历时在两者间无显著差异。各温度下,红臂尾轮虫的产卵量、种群内禀增长率和净生殖率均极显著地高于壶状臂尾轮虫,但两种轮虫的生殖后期历时无显著的差异。红臂尾轮虫偏向于 r-对策者,体现在其较低的生命期望、较高的繁殖率和种群增长率;而壶状臂尾轮虫则显示出较高的生命期望、较低的种群增长率和繁殖率,偏向于 k-对策者。

关键词:红臂尾轮虫;壶状臂尾轮虫;温度;生活史特征

文章编号:1000-0933(2008)12-5957-07 中图分类号:Q958 文献标识码:A

Comparative on the life history characteristics of *Brachionus rubens* and *B. urceolaris*

HU Cun-Bing, XI Yi-Long*, TAO Li-Xiang

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, 2008, 28(12): 5957 ~ 5863.

Abstract: The life history characteristics of *Brachionus rubens* and *B. urceolaris* whose taxonomical status remains controversy was compared at 18℃, 23℃, 28℃ and 33℃ by means of life table method and with 3.0×10^6 cells/mL of the algae *Scenedesmus obliquus* as food. The results showed that with the temperature increasing, the durations of pre-reproductive and reproductive periods, average lifespan, generation time and life expectancy at hatching of the two rotifer species decreased significantly, but the reverse was true for the intrinsic rate of population increase. The duration of post-reproductive period of *B. rubens* at 28℃ was similar to those at 23℃ and 33℃, and the duration of post-reproductive

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30499341);安徽省优秀青年基金资助项目(04043050);安徽省高校省级重点实验室基金资助项目(2004sys003);安徽省重点实验室专项基金资助项目

收稿日期:2007-07-22; **修订日期:**2007-12-29

作者简介:胡存兵(1983~),男,安徽宿松人,硕士生,主要从事浮游动物生态学研究. E-mail: hcbahnu2001@sina.com

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

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30499341), Excellent Youth Foundation in Anhui Province (No. 04043050) and Natural Science Foundation of Educational Committee of Anhui Province (No. 2004sys003), and the Foundation of Provincial Key Laboratory of Conservation and Utilization for Important Biological Resource in Anhui

Received date: 2007-07-22; **Accepted date:** 2007-12-29

Biography: HU Cun-Bing, Master candidate, mainly engaged in zooplankton ecology. E-mail: hcbahnu2001@sina.com

period of *B. urceolaris* at 28°C was also similar to that at 33°C. Both the number of produced eggs and the net reproductive rate of *B. rubens* was the smallest at 33°C, but was similar at the other three temperatures. Both the number of produced eggs and the net reproductive rate of *B. urceolaris* was also the smallest at 33°C, but was the largest at 28°C. At 18°C, 23°C as well as 28°C, the duration of pre-reproductive period, the average lifespan, the life expectancy at hatching and the generation time of *B. urceolaris* were all significantly longer than those of *B. rubens*, but their durations of reproductive period were similar. At 33°C, the duration of reproductive period, the average lifespan, the life expectancy at hatching and the generation time of *B. rubens* were all significantly longer than those of *B. urceolaris*, but their durations of pre-reproductive period were similar. At all the four temperatures, the number of produced eggs, the intrinsic rate of population increase and the net reproductive rate of *B. rubens* were all significantly higher than those of *B. urceolaris*, but their durations of post-reproductive period were similar. *B. rubens* appeared to be an r-strategist because of its lower life expectancy, but higher reproductive and population growth rates. In contrast, *B. urceolaris* seemed to be a K-strategist for its lower reproductive and population growth rates, but higher life expectancy.

Key Words: *Brachionus rubens*; *B. urceolaris*; temperature; life history characteristics

红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫是两种常见的臂尾轮虫,但有关其分类地位一直存在着争议。早期人们将它们归为一种,后来有人根据前棘刺是否对称以及眼点的形状把它们分成两个不同的种^[1]。程双怀等^[2]基于线粒体 CO I 基因序列对红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫在分子水平上的差异进行了比较研究,支持将两者划分为不同的种。在生态特征方面, Pilarska^[3,4] 和耿红等^[5] 曾对红臂尾轮虫的生活史特征做了初步研究,王金秋等^[6]、席貽龙和黄祥飞^[7,8] 对壶状臂尾轮虫的生活史特征也作了报道。但由于上述研究所设置的实验条件相差甚远,根据上述结果对两者的生活史特征直接进行比较难以较为准确地反映出它们间的差异;因此有关这两种轮虫生态特征的差异仍有待于在完全相同的条件下进行比较研究。

尽管轮虫的生活史特征研究国内外均有较多的报道,但对不同物种的生活史特征进行比较,揭示其相似性和分异性,联系物种的分类地位,探讨其适应性和在生存竞争中的意义,仍是现代生态学的一个重要任务^[9]。

为了解红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫这两个分类存疑种类在生态特征方面的差异,探讨其适应性和在生存竞争中的意义,本文比较研究了它们在不同温度下的生活史特征。

1 材料与方法

1.1 轮虫的来源和培养

实验用红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫分别采自芜湖市南瑞湖和汀棠湖。实验室内在 28°C、自然光照(光照强度约 130 lx, L:D = 14:10)条件下对它们进行“克隆”培养,培养液采用 Gilbert 配方^[10],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,培养时间在 3 个月以上。

1.2 轮虫的预培养

鉴于芜湖市湖泊水体年最高温度为 33~34°C^[11],本研究将最高温度设置为 33°C,并依此按 5°C 的温差设置其它较低的温度。实验前,将两种轮虫分别置于温度为 18、23、28°C 和 33°C 的 4 个恒温水浴缸内进行为期 2 周的预培养,以直径为 5cm、容量为 50 ml 的玻璃杯为培养器皿,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 1 次,同时通过去除一部分个体,使得轮虫种群始终处于指数增长期;每 12h 用玻璃微吸管悬浮沉积于玻璃杯底部的藻类食物。

1.3 单个体培养

实验亦在温度为 18、23、28°C 和 33°C 的 4 个恒温水浴缸内进行。每个温度下所使用的轮虫个体数为 16 个,实验设置 3 个重复,共使用 48 个轮虫幼体。实验开始前,由预培养的玻璃杯中分别吸取带卵的非混交雌体,置于带凹穴的塑料板中进行单个培养,培养液体积为 0.5ml。之后,每间隔 2 h 用解剖镜检查轮虫卵的孵

化情况,取刚孵化出的幼体开始实验。实验过程中,每间隔 8 h 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,并移去幼体;每间隔 24h 更换 1 次培养液并投喂密度为 3.0×10^6 cells/ml 的斜生栅藻。观察、记录及更换培养液过程中均通过空调控制室内温度使其尽量和培养温度一致。实验至全部个体死亡时为止。

1.4 生活史参数的定义和计算方法

与储昭霞等^[12]相同。

1.5 数据的统计处理和分析

用单因素方差分析(One-Way ANOVA)法分析温度对各生命表参数的影响,对样本均数间的差异显著性进行多重比较(最小显著差数法, LSD);对同一温度下两种轮虫的各生命表参数的差异显著性进行 *t*-检验;显著性水平均设置为 $p < 0.05$ 。所有的数据统计处理和分析均在统计软件 SPSS 11.5 中进行。

2 结果

2.1 各主要发育阶段历时和产卵量

不同温度下红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫的各主要发育阶段历时和产卵量如表 1 所示。单因素方差分析显示,温度对两种轮虫的生殖前期、生殖期、生殖后期、平均寿命和产卵量均有极显著影响(对红臂尾轮虫而言, *F* 值依次为 339.975、110.147、16.485、230.543 和 7.921, p 值均 < 0.01 ;对壶状臂尾轮虫而言, *F* 值依次为 169.804、91.499、15.820、190.060 和 11.300, p 值均 < 0.01)。随着温度的升高,两种轮虫的生殖前期和生殖期历时以及平均寿命均逐渐显著地缩短。红臂尾轮虫在 28℃ 下的生殖后期历时与 23℃ 和 33℃ 间均无显著的差异,壶状臂尾轮虫在 28℃ 和 33℃ 下的生殖后期历时也无显著的差异。红臂尾轮虫的产卵量在 33℃ 下最小,在其他 3 个温度间无显著的差异;壶状臂尾轮虫的产卵量也在 33℃ 下最小,但在 28℃ 下最大。回归分析结果表明,两种轮虫的生殖前期、生殖期和平均寿命与温度均呈曲线相关(表 2)。

表 1 不同温度下红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫各主要发育阶段历时和产卵量(平均数 ± 标准误)

Table 1 Durations of principal developmental stages and number of produced eggs of *B. rubens* and *B. urceolaris* at different temperatures (mean ± SE)

参数 Parameters	种类 Species	18℃	23℃	28℃	33℃
生殖前期 (h)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	40.00 ± 0.83 ^{a*}	25.3 ± 0.62 ^b	16.00 ± 0.00 ^c	13.00 ± 0.81 ^d
Duration of juvenile	壶状臂尾轮 <i>B. urceolaris</i>	48.33 ± 1.77 ^a	37.33 ± 0.79 ^b	29.33 ± 0.79 ^c	14.33 ± 0.68 ^d
	<i>t</i> -检验 (<i>t</i> -test)	$t = -4.3, p < 0.01$	$t = -11.9, p < 0.01$	$t = -17.0, p < 0.01$	$t = -1.3, p > 0.05$
生殖期 (h)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	134.33 ± 4.79 ^a	85.33 ± 2.19 ^b	74.00 ± 3.06 ^c	50.00 ± 2.94 ^d
Reproductive period	壶状臂尾轮 <i>B. urceolaris</i>	147.33 ± 7.06 ^a	89.33 ± 4.66 ^b	74.33 ± 5.58 ^c	27.67 ± 1.92 ^d
	<i>t</i> -检验 (<i>t</i> -test)	$t = -1.5, p > 0.05$	$t = -0.8, p > 0.05$	$t = -0.1, p > 0.05$	$t = 6.4, p < 0.01$
生殖后期 (h)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	27.67 ± 2.59 ^a	16.00 ± 2.46 ^b	11.33 ± 1.59 ^{bc}	9.33 ± 1.04 ^c
Postreproductive period	壶状臂尾轮 <i>B. urceolaris</i>	23.33 ± 2.68 ^a	17.67 ± 1.86 ^b	11.00 ± 1.51 ^c	6.33 ± 1.07 ^c
	<i>t</i> -检验 (<i>t</i> -test)	$t = 1.2, p > 0.05$	$t = -0.5, p > 0.05$	$t = 0.2, p > 0.05$	$t = 2.0, p > 0.05$
平均寿命 (h)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	202.00 ± 4.55 ^a	126.67 ± 3.59 ^b	101.33 ± 3.11 ^c	72.33 ± 3.21 ^d
Average life-span	壶状臂尾轮 <i>B. urceolaris</i>	219.00 ± 6.94 ^a	144.33 ± 4.90 ^b	114.67 ± 5.36 ^c	48.33 ± 2.13 ^d
	<i>t</i> -检验 (<i>t</i> -test)	$t = -2.0, p < 0.05$	$t = -2.9, p < 0.05$	$t = -2.0, p < 0.05$	$t = 6.2, p < 0.01$
产卵量 (ind.)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	20.7 ± 1.1 ^a	22.8 ± 1.1 ^a	20.4 ± 0.8 ^a	16.2 ± 0.9 ^b
number of eggs	壶状臂尾轮 <i>B. urceolaris</i>	8.9 ± 0.5 ^a	8.6 ± 0.4 ^a	11.5 ± 0.9 ^b	6.5 ± 0.6 ^c
	<i>t</i> -检验 (<i>t</i> -test)	$t = 10.0, p < 0.01$	$t = 12.2, p < 0.01$	$t = 7.2, p < 0.01$	$t = 9.0, p < 0.01$

* 相同字母表示同一行数据的组间无显著的差异($p > 0.05$);表3 同 The same letters indicate no significant difference among the means in the same row ($p > 0.05$); the same as in Table 3

对两种轮虫间的各主要发育阶段历时和产卵量进行的 *t*-检验结果表明,18、23℃ 和 28℃ 下红臂尾轮虫的生殖前期历时和平均寿命都显著短于壶状臂尾轮虫,而生殖期历时在两者间无显著差异;33℃ 下红臂尾轮虫的生殖期历时和平均寿命都显著长于壶状臂尾轮虫,而生殖前期历时在两者间无显著差异。各温度下两种轮

虫的生殖后期历时均无显著差异,而红臂尾轮虫的产卵量都极显著大于壶状臂尾轮虫(表1)。

表2 红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫生殖前期(y,h)、生殖期(y,h)和平均寿命(y,ind.)与温度(x,℃)间的关系

Table 2 Relationships between durations (Y, h) of pre-reproductive period and reproductive period, as well as average lifespan of *B. rubens* and *B. urceolaris* and temperature(x, ℃)

参数 Parameters	种类 Species	回归方程 Regression equations	显著性检验 Significance test
生殖前期 Duration of juvenile	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	$y = 0.1167 x^2 - 7.7567 x + 141.870$	$R^2 = 0.92, p < 0.01$
	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceolaris</i>	$y = -0.0400 x^2 - 0.1600 x + 63.6733$	$R^2 = 0.84, p < 0.01$
生殖期 Reproductive period	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	$y = 0.2500 x^2 - 18.037 x + 375.477$	$R^2 = 0.76, p < 0.01$
	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceolaris</i>	$y = 0.1133 x^2 - 13.260 x + 345.560$	$R^2 = 0.72, p < 0.01$
平均寿命 Average life-span	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	$y = 0.4633 x^2 - 31.917 x + 623.697$	$R^2 = 0.87, p < 0.01$
	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceolaris</i>	$y = 0.0833 x^2 - 15.083 x + 459.417$	$R^2 = 0.84, p < 0.01$

2.2 存活率和繁殖率

不同温度下红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫的存活率和繁殖率分别如图1和图2所示。由图可见,两种轮虫均在低温下存活时间较长,高温下存活时间较短。随着温度的升高,红臂尾轮虫存活的最短时间依次为168、96、80h和48h,存活的最长时间依次为264、168、136h和104h;壶状臂尾轮虫存活的最短时间依次为160、112、80h和32h,存活的最长时间依次为296、200、160h和72h。

随着温度的升高,两种轮虫繁殖率高峰值出现的时间均呈现逐渐前移趋势,高峰值逐渐增大。各温度下,红臂尾轮虫的繁殖率均高于壶状臂尾轮虫(图1和图2)。

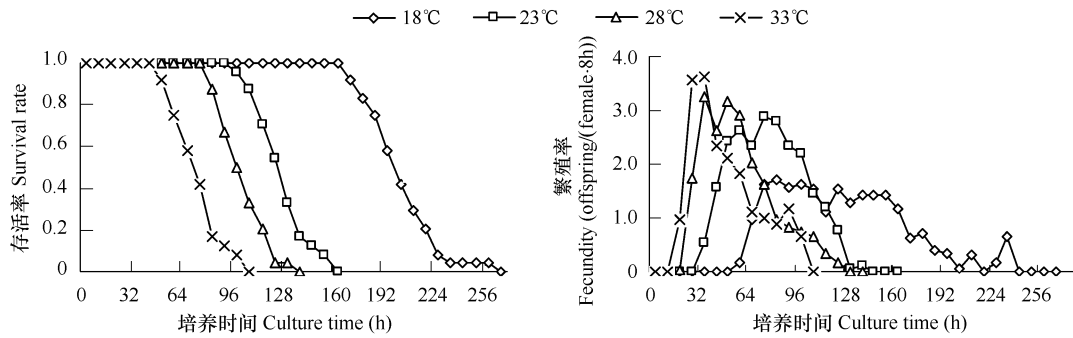


图1 不同温度下红臂尾轮虫的存活率和繁殖率

Fig. 1 Survival rate and fecundity of *B. rubens* at different temperatures

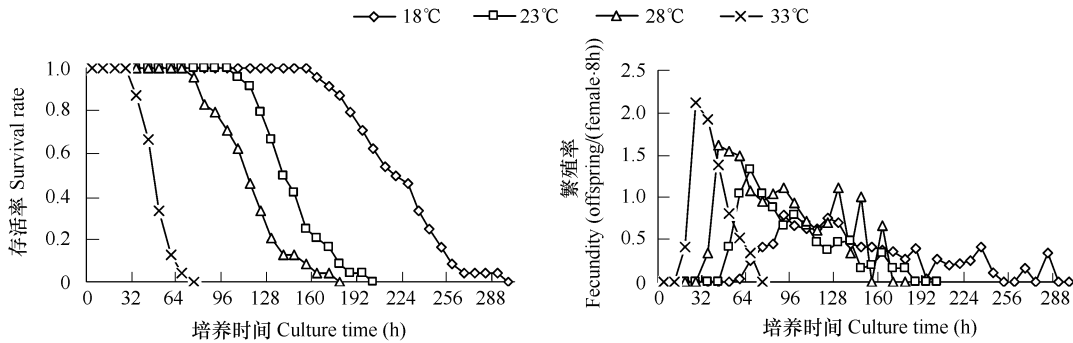


图2 不同温度下壶状臂尾轮虫的存活率和繁殖率

Fig. 2 Survival rate and fecundity of *B. urceolaris* at different temperatures

2.3 种群增长参数

不同温度下红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫的种群增长参数见表3。温度对两轮虫的种群内禀增长率、净生

殖率、生命期望和世代时间都有极显著影响(对红臂尾轮虫而言, F 值依次为 517.118、10.928、435.937 和 653.439, p 值均 < 0.01 ;对壶状臂尾轮虫而言, F 值依次为 137.628、16.684、269.434 和 474.975, p 值均 < 0.01)。随着温度的升高,两种轮虫的生命期望和世代时间均逐渐显著地缩短,而种群的内禀增长率则逐渐显著地增大。红臂尾轮虫的净生殖率在 33°C 下最小,在其他 3 个温度间无显著的差异;壶状臂尾轮虫的净生殖率也在 33°C 下最小,但在 28°C 下最大。回归分析显示,在实验设置的温度范围内,两种轮虫的种群内禀增长率、净生殖率、生命期望和世代时间均与温度间呈曲线相关(表 4)。

表 3 不同温度下红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫的种群内禀增长率(r_m)、净生殖率(R_0)、生命期望(e_0)和世代时间(T)(平均数 $\pm$ 标准误)
Table 3 Intrinsic rate of population increase (r_m), net reproductive rate (R_0), life expectancy at hatching (e_0) and generation time (T) of *B. rubens* and *B. urceolaris* at different temperatures (mean $\pm$ SE)

参数 Parameters	种类 Species	18℃	23℃	28℃	33℃
r_m (/h)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	0.0297 $\pm$ 0.0006 ^{a*}	0.0497 $\pm$ 0.0004 ^b	0.0715 $\pm$ 0.0006 ^c	0.0878 $\pm$ 0.0020 ^d
	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceolaris</i>	0.0190 $\pm$ 0.0006 ^a	0.0276 $\pm$ 0.0002 ^b	0.0405 $\pm$ 0.0018 ^c	0.0605 $\pm$ 0.0024 ^d
	t -检验 (t -test)	$t = 12.7, p < 0.01$	$t = 56.6, p < 0.01$	$t = 16.6, p < 0.01$	$t = 8.7, p < 0.01$
R_0 (ind.)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	20.47 $\pm$ 0.78 ^a	22.19 $\pm$ 1.11 ^a	19.49 $\pm$ 0.64 ^a	15.44 $\pm$ 0.86 ^b
	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceolaris</i>	8.60 $\pm$ 0.24 ^a	8.35 $\pm$ 0.22 ^a	10.869 $\pm$ 0.91 ^b	5.62 $\pm$ 0.42 ^c
	t -检验 (t -test)	$t = 14.5, p < 0.01$	$t = 12.2, p < 0.01$	$t = 7.8, p < 0.01$	$t = 10.3, p < 0.01$
e_0 (h)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	198.00 $\pm$ 1.15 ^a	122.33 $\pm$ 3.28 ^b	97.33 $\pm$ 1.45 ^c	68.33 $\pm$ 3.76 ^d
	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceolaris</i>	215.00 $\pm$ 5.57 ^a	140.33 $\pm$ 5.04 ^b	110.67 $\pm$ 3.53 ^c	44.33 $\pm$ 2.33 ^d
	t -检验 (t -test)	$t = -3.0, p < 0.05$	$t = -3.0, p < 0.05$	$t = -3.5, p < 0.05$	$t = 5.4, p < 0.01$
T (h)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	117.08 $\pm$ 1.83 ^a	72.66 $\pm$ 0.79 ^b	51.25 $\pm$ 0.64 ^c	38.47 $\pm$ 1.70 ^d
	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceolaris</i>	127.32 $\pm$ 3.04 ^a	84.56 $\pm$ 1.06 ^b	69.15 $\pm$ 1.04 ^c	30.68 $\pm$ 1.42 ^d
	t -检验 (t -test)	$t = -2.9, p < 0.05$	$t = -9.0, p < 0.01$	$t = -14.6, p < 0.01$	$t = 3.5, p < 0.05$

t -检验表明,所有温度下,红臂尾轮虫的种群内禀增长率和净生殖率均极显著高于壶状臂尾轮虫;18、23℃ 和 28℃ 下壶状臂尾轮虫的生命期望和世代时间均长于红臂尾轮虫,但 33℃ 下则相反(表 3)。

表 4 红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫的种群内禀增长率(r_m , /h)、净生殖率(R_0 , ind.)、生命期望(e_0 , h)和世代时间(T , h)与温度(x , °C)间的关系
Table 4 Relationships between intrinsic rate of population increase (r_m , /h), net reproductive rate (R_0 , ind.), life expectancy at hatching (e_0 , h) and generation time (T , h) of *B. rubens* and *B. urceolaris* and temperature(x , °C)

参数 Parameters	种类 Species	回归方程 Regression equations	显著性检验 Significance test
r_m (/h)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	$r_m = -0.00004x^2 + 0.0058x - 0.0633$	$R^2 = 0.99, p < 0.01$
	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceolaris</i>	$r_m = 0.0001x^2 - 0.003x + 0.037$	$R^2 = 0.98, p < 0.01$
R_0 (ind.)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	$R_0 = -0.0578x^2 + 2.5902x - 7.289$	$R^2 = 0.79, p < 0.01$
	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceolaris</i>	$R_0 = -0.04983x^2 + 2.41161x - 19.199$	$R^2 = 0.52, p < 0.05$
e_0 (h)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	$e_0 = 0.0583x^2 - 4.0100x + 77.688$	$R^2 = 0.98, p < 0.01$
	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceolaris</i>	$e_0 = 0.0104x^2 - 1.88541x + 56.927$	$R^2 = 0.97, p < 0.01$
T (h)	红臂尾轮虫 <i>B. rubens</i>	$T = 0.3164x^2 - 21.283x + 396.929$	$R^2 = 0.99, p < 0.01$
	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceolaris</i>	$T = 0.0429x^2 - 8.293x + 260.18$	$R^2 = 0.97, p < 0.01$

3 讨论

温度是影响轮虫生殖和发育的重要生态因子之一。众多研究结果表明,作为适应温度升高而采取的生殖对策的重要指标,轮虫各主要发育阶段的历时均随温度升高而缩短^[8,13-22],本研究结果亦证明了这一点。

Pourriot^[23]认为,在食物充足的情况下,轮虫种群增长速率更多地取决于胚胎发育时间和幼体阶段(生殖前期)历时,而非净生殖率。尽管本研究没有涉及轮虫的胚胎发育时间,但是从生殖前期历时和净生殖率与

种群内禀增长率的相互数量关系中仍可看出,本研究结果支持上述观点。

生殖期历时和产卵量是两个紧密相关的重要参数。生殖期历时似乎决定了轮虫的产卵量并进而影响到轮虫的繁殖速率。但越来越多的研究表明,除了生殖期历时外,轮虫的产卵量更多地取决于它的产卵间隔。当生殖期历时相同时,轮虫的产卵间隔时间越短,产卵量则越大,繁殖率便越高^[24]。本研究中,18、23℃、28℃下红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫的生殖期历时无显著差异,但前者产卵量极显著大于后者,表明红臂尾轮虫的产卵间隔短于壶状臂尾轮虫,由此导致红臂尾轮虫种群增长率大于壶状臂尾轮虫。

红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫的平均寿命、生命期望和世代时间都随着温度的升高逐渐减小,但是温度对壶状臂尾轮虫的影响程度大于红臂尾轮虫。18、23、28℃下壶状臂尾轮虫平均寿命均长于红臂尾轮虫,而在33℃下红臂尾轮虫存活时间反比壶状臂尾轮虫长,这可能意味着与壶状臂尾轮虫相比,红臂尾轮虫是更耐高温的种类。

前已述及,有关红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫的生活史特征研究已有报道^[3-8]。比较发现,本研究结果和已有的报道结果之间存在着较多的差异。究其原因,可能和实验时的温度、食物种类和浓度等存在着差异具有很大的关系。目前已知,除了轮虫的胚胎发育时间不受食物种类和浓度的显著影响外,其他各发育阶段历时、平均寿命、产卵量以及各种群增长参数均受实验时的温度、食物种类和浓度等因素的显著影响;这也正是本研究把红臂尾轮虫和壶状臂尾轮虫置于完全相同的条件下比较它们的生活史特征的原因所在。此外,根据轮虫品系间所存在的生活史特征差异^[25]可以推测,轮虫品系间的差异也可能是造成本研究结果和已有的报道结果之间存在着较多差异的重要内源性因素。

席貽龙和黄祥飞^[8]的研究发现,在15、20、25℃和30℃4个温度中,壶状臂尾轮虫种群在25℃下有最大 r_m 值。本研究中,随着温度的升高,壶状臂尾轮虫的种群内禀增长率逐渐增大。产生上述差异的原因,可能在于轮虫品系之间的差异。目前已知,不同品系的萼花臂尾轮虫(*B. calyciflorus*)、褶皱臂尾轮虫(*B. plicatilis*)和角突臂尾轮虫(*B. angularis*)种群的内禀增长率与温度间的关系均存在差异^[21,24-29]。

构建生命表和群体累积培养是轮虫生活史策略研究中两种常用的方法。通过生命表技术可以获得特定年龄的存活率和繁殖率等信息,而采用群体累积培养则可以得到在给定条件下的最大种群密度等数据,可以说这两种方法对于了解轮虫生活史策略是互为补充的^[30]。Walz^[31]曾采用群体累积培养方法对角突臂尾轮虫和螺形龟甲轮虫(*Keratella cochlearis*)的种群增长特征进行了比较研究,发现角突臂尾轮虫是r-对策者,而螺形龟甲轮虫更像是k-对策者;后来的生命表研究证实了上述结论^[16]。本研究中,作者采用生命表技术对两种轮虫的生活史特征进行了比较研究,发现红臂尾轮虫偏向为r-对策者,体现在其较低的生命期望、较高的繁殖率和种群内禀增长率;而壶状臂尾轮虫则显示出较低的生命期望和繁殖率以及较高的生命期望,偏向为k-对策者。

References:

- [1] Zhang Z S, Huang X F. Method for study on freshwater plankton. Beijing: Science Press, 1991. 410—411.
- [2] Cheng S H, Xi Y L, Xiang X L, et al. Phylogentic relationships within *Brachionus* and taxonomical status of several rotifer species based on analyses of the mitochondrial CO I gene. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 2007, 32 (2): 328—334
- [3] Pilarska J. The dynamics of growth of experimental populations of the rotifer *Brachionus rubens* Ehrbg. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 1972, 10: 265—277.
- [4] Pilarska J. Eco-physiological studies on *Brachionus rubens* Ehrbg. (Rotatoria). *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 1977, 24: 319—354.
- [5] Geng H, Xi Y L, Hu H Y. Effects of food component and concentration on population growth, body size, and egg size of freshwater rotifer *Brachionus rubens*. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2003, 14 (5): 753—756.
- [6] Wang J Q, Li D S. Comparative studies on principal parameters of population growth of five freshwater rotifers. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1997, 21 (2): 131—136.
- [7] 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.
- [8] Xi Y L, Huang X F. Effects of temperature on the experimental population dynamics of *Brachionus urceolaris*. *Oceanologia Limnologia Sinica*, 2000, 31 (1): 23—28.

- [9] Sun R Y. Life history strategy. *Bulletin of Biology*, 1997, 32 (5): 2—4.
- [10] Gilbert J J. Mictic female production in rotifer *Brachionus calyciflorus*. *J Exp Zool*, 1963, 153: 113—124.
- [11] Qian F P, Xi Y L, Wen X L, *et al.* Effect of lake eutrophication on community structure and species diversity of rotifera. *Chinese Journal of Biodiversity*, 2007, 15(4): 344—355.
- [12] Chu Z X, Xi Y L, Xu X P, *et al.* Effects of glyphosate on life history characteristics of freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus*. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16 (6): 1142—1145.
- [13] Pourriot R, Rougier C. Dynamique d'une population experimentale de *Brachionus dimidiatus* en fonction de la nourriture de la temperature. *Ann Limnol*, 1975, 11 (2): 125—143.
- [14] Galkovskaja G A. Planktonic rotifer and temperature. *Hydrobiologia*, 1987, 147: 307—317.
- [15] Walz N. Individual culture and experimental population dynamics of *Keratella cochlearis* (Rotatoria). *Hydrobiologia*, 1983, 107: 35—45.
- [16] Walz N. Comparative population dynamics of the rotifers *Brachionus angularis* and *Keratella cochlearis*. *Hydrobiologia*, 1987, 147: 209—213.
- [17] Herzig A. Comparative studies on the relationship between temperature and duration of embryonic development of rotifers. *Hydrobiologia*, 1983, 104 (1): 207—237.
- [18] Awaiss A, Kestemont P. An investigation into the mass production of the freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas. II. Influence of temperature on the population dynamics. *Aquaculture*, 1992, 105: 337—344.
- [19] Huang X F. Effect of temperature on the egg development, population growth and production of *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera). *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1985, 9 (3): 232—240.
- [20] Huang X F. Observation on the egg and post-embryonic development time of some rotifers in Lake Donghu, Wuhan. *Oceanologia Limnologia Sinica*, 1989, 20 (2): 184—191.
- [21] 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. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2004, 15 (11): 2165—2169.
- [22] Bao L, Ma R, Niu C J. Effects of temperature on life history and population growth of the rotifer *Brachionus quadridentatus*. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2006, 42 (5): 518—521.
- [23] Pourriot R. Les rotiferes-biologie. *Aquaculture*, 1986, 5: 201—221.
- [24] 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.
- [25] Xi Y L, Ge Y L, Chen F, *et al.* Life history characteristics of three strains of *Brachionus calyciflorus* (Rotifera) at different water temperatures. *Journal of Freshwater Ecology*, 2005, 20 (4): 707—713.
- [26] Snell T W, Carrilo K. Body size variation among strains of the rotifers *Brachionus plicatilis* (Rotifera). *Aquaculture*, 1984, 73: 359—367.
- [27] Hagiwara A, Kotani T, Snell T W, *et al.* Morphology, reproduction, genetics, and mating behavior of small, tropical marine *Brachionus plicatilis* strains (Rotifera). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1995, 194: 25—37.
- [28] Xi Y L, Liu G Y, Jin H J. Population growth, body size and egg size of two different strains of *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera) fed different algae. *Journal of Freshwater Ecology*, 2002, 17 (2): 185—190.
- [29] Hu H Y, Xi Y L, Geng H. Effects of temperature on life history strategies of three strains of *Brachionus angularis* Gosse. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, 28 (3): 284—288.
- [30] Krebs. C. J. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. 3rd ed. Harper & Row, New York, 1985. 800.
- [31] Walz, N. Continuous culture of the pelagic rotifers *Keratella cochlearis* and *Brachionus angularis*. *Arch. Hydrobiol.*, 1983, 98: 70—92.

参考文献:

- [1] 章宗涉,黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京:科学出版社,1991,272~273.
- [2] 程双怀,席貽龙,项贤领,等. 基于线粒体 CO I 基因序列探讨臂尾轮属的系统发生和几种轮虫的分类地位. *动物分类学报*,2007,32 (2): 328~334.
- [5] 耿红,席貽龙,胡好远. 食物种类和浓度对红臂尾轮虫种群增长、个体大小及卵大小的影响. *应用生态学报*,2003,14 (5): 753~756.
- [6] 王金秋,李德尚. 五种淡水轮虫种群增长参数的比较研究. *水生生物学报*,1997,21 (2): 131~136.
- [7] 席貽龙,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.
- [8] 席貽龙,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.
- [9] 孙儒泳. 生活史对策. *生物学通报*,1997,32 (5): 2~4.
- [11] 钱方平,席貽龙,温新利,黄林. 湖泊富营养化对轮虫群落结构及物种多样性的影响. *生物多样性*,2007,15(4):344~355.
- [12] 储昭霞,席貽龙,徐晓平,等. 除草剂草甘膦对萼花臂尾轮虫生活史特征的影响. *应用生态学报*,2005,16 (6): 1142~1145.
- [19] 黄祥飞. 温度对萼花臂尾轮虫卵的发育,种群增长和生产量的影响. *水生生物学报*,1985,9 (3): 232~240.
- [20] 黄祥飞. 武汉东湖若干种轮虫卵和胚后发育的观察. *海洋与湖沼*,1989,20 (2): 184~191.
- [21] 董丽丽,席貽龙,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.
- [22] 鲍蕾,马蕊,牛翠娟,等. 温度对方形臂尾轮虫 (*Brachionus quadridentatus*) 种群增长与生活史参数的影响. *北京师范大学学报(自然科学版)*,2006,42 (5): 518~521.
- [24] 冯粒克,席貽龙. 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.
- [29] 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.