

温度对三品系角突臂尾轮虫生活史策略的影响

胡好远 席贻龙 耿 红

(安徽师范大学生命科学学院,“重要生物资源保护与利用”安徽省重点实验室,芜湖 241000)

摘要:应用群体累积培养法,以浓度为 6.0×10^6 cells/mL 蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)为食物,研究了温度(20℃、25℃和30℃)对青岛、广州与芜湖等品系的角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis* Gosse)的种群增长、个体大小和卵大小的影响。结果表明,温度对各品系轮虫的种群增长率和个体大小等均有显著影响。青岛品系和广州品系轮虫种群增长的最适温度分别为30℃和25℃,芜湖品系轮虫则在30℃下不能生存。青岛品系和广州品系的种群增长率均与温度呈曲线相关,回归方程分别为: $Y = 0.0009X^2 - 0.0061X + 0.4090$ 和 $Y = -0.0144X^2 + 0.7412X - 8.3751$ 。各品系轮虫个体大小和卵大小均随温度的升高而呈现出下降趋势。在本研究的温度范围内,广州、青岛和芜湖各品系轮虫个体变异分别达42.90%、14.43%和6.23%;20℃和25℃下芜湖品系分别高出青岛品系达74.91%和87.98%。在温度和品系两因素中,品系对轮虫个体体积有较大的影响。

关键词:角突臂尾轮虫; 温度; 地理品系; 种群增长率; 个体大小; 卵大小

中图分类号: Q959.181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3270(2004)03-0284-05

轮虫是水体浮游动物的重要组成部分,也是鱼类等水产经济动物幼苗的优质食物。轮虫种群最适增长温度的研究是其规模化培养的基础,对轮虫个体大小的筛选是决定其能否有效应用于苗种生产的关键因素之一,而对不同培养条件下轮虫种群增长、个体大小和卵大小的相互关系的研究则是轮虫生活史策略研究的重要内容。在没有捕食压力存在的情况下,最可能影响轮虫个体大小和种群增长的因素有基因型(品系)、食物种类和浓度、温度以及种群增长阶段等^[1,2]。

迄今为止,有关温度对轮虫种群增长的研究已有较多的报道^[3-5],而关于温度对轮虫个体大小影响的研究,目前仅见对褶皱臂尾轮虫^[6,7](*B. plicatilis*)和萼花臂尾轮虫^[8,9](*B. calyciflorus*)的报道,对角突臂尾轮虫的研究则未见报道。品系是影响轮虫种群增长和个体大小等的重要内源性因素。目前已知,不同品系的褶皱臂尾轮虫以及萼花臂尾轮虫间均在种群增长、个体大小和卵大小等方面存在着显著的差异^[10,11]。

角突臂尾轮虫是淡水中最常见的轮虫种类之

一,在水产养殖和环境监测中具有重要的应用价值。个体大小对策和生殖对策构成轮虫生活史策略的主要内容之一。本文旨在通过研究温度对三个地理品系的角突臂尾轮虫种群增长、个体大小和卵大小等的影响,探明在不同温度下该种轮虫采取的个体大小对策和生殖对策及在品系之间可能存在的差异,以丰富该领域的研究内容,同时为该种轮虫的规模化培养提供参考。

1 材料与方法

1.1 轮虫的来源与培养 实验用角突臂尾轮虫分别由采于我国不同地区水体水底沉积物中的休眠卵孵化而得。广州品系(GZ Strain)采于广州市华南师范大学校园内一池塘,芜湖品系(WH Strain)采于芜湖市镜湖,青岛品系(QD Strain)采于青岛市中山公园一池塘。实验室内在温度为 25 ± 1 ℃、自然光照(光照强度约30klx, L:D=14:10)条件下对各品系进行“克隆”培养。培养液采用 Gilbert^[12] 配方(pH=7.3),所用的饵料为 HB-4 培养基培养的、处于指数

收稿日期:2003-09-13; 修订日期:2003-10-08

基金项目:安徽省自然科学基金(00042416);安徽省优秀青年基金(04043050);安徽省高校青年教师科研基金(2004jg122);安徽师范大学青年基金;“重要生物资源,保护与利用”安徽省重点实验室专项基金资助项目

作者简介:胡好远(1975—),男,安徽颍上县人;硕士;现从事浮游动物生态学方面研究

通讯作者:席贻龙, E-mail: yilongxi@mail.wh.ah163.net

增长期的蛋白核小球藻。培养时间在 2 个月以上。

1.2 不同温度的培养实验 实验温度分别为 20℃、25℃和 30℃,所用饵料为 6.0×10^6 cells/mL 的蛋白核小球藻。实验前分别在上述三种温度下、于 10mL 的玻璃试管中对轮虫进行预培养,培养液体积均为 5mL;预培养的光照等条件同 1.1 所述;预培养过程中,每天喂食并更换培养液一次,同时使轮虫种群保持在指数增长期;预培养持续 4d 以上。

实验时,由预培养的试管中随机吸取龄长约 5h 的轮虫幼体 9 个,加入盛有 3mL 培养液的试管中进行群体累积培养,各品系的每个温度组均设三个重复;培养时的食物、光照等条件等都与预培养相同。4d 后,对每个试管内的轮虫种群分别进行计数,再由每组中随机吸取带 1 个非混交卵的雌体 50 个,5% 甲醛固定。

1.3 虫体和卵的测量及有关参数的计算方法 在显微镜下分别测出每个个体的体长和卵的长轴与短轴的长度,并用公式 $V_b = 0.15a^3$ (a 为轮虫体长, V_b 为轮虫单个体积)^[13]和 $V_e = 4/3 \times \pi \times (a^2b + ab^2) / 16$ (a 和 b 分别为轮虫椭圆形卵的长轴和短轴长度, V_e 为卵体积)^[1]计算出轮虫个体大小和卵大小。轮虫种群增长率则用公式 $r = (\ln N_t - \ln N_0) / t$ 得出,其中 N_0 为轮虫的起始种群密度,为 3ind./mL; N_t 为第 t 天时轮虫的种群密度,培养天数 $t = 4d$ 。应用方差分析法分析了温度、地理品系等对轮虫种群增长率、个体体积、卵体积以及相对卵体积的影响;应用 SNK- q 检验法对轮虫种群增长率、个体体积、卵体积以及相对卵体积均数间差异作多重比较;应用 STATISTICA 软件对各品系轮虫种群增长率等与

温度之间的关系作回归分析。

2 结果与分析

2.1 温度对各地理品系轮虫种群增长的影响

各品系角突臂尾轮虫在不同温度下的种群增长率如表 1 所示。方差分析结果显示,温度对青岛、广州两品系轮虫的种群增长率均有极显著的影响($P < 0.01$);多重比较结果表明,青岛品系和广州品系轮虫种群增长率分别以 30℃和 25℃时最大。而温度对芜湖品系轮虫的影响更为显著,该品系在 30℃时种群不能生存(其余两温度组之间差异无统计学意义)。青岛、广州两品系轮虫的种群增长率与温度之间均呈曲线相关关系,广州品系在温度为 25.74℃时种群增长率达最大值,为 $1.1627d^{-1}$;而青岛品系轮虫种群增长率则在设定的温度范围内随温度的升高而增大(图 1)。

2.2 温度对各地理品系轮虫个体大小和卵大小的影响

表 1、2 显示不同温度下各品系轮虫的个体体积、卵体积和相对卵体积。方差分析结果表明,温度对各品系轮虫的个体体积均有显著影响($P < 0.01$);各品系轮虫的个体体积均以 20℃时最大;20℃时青岛品系和广州品系的个体体积分别比 30℃时高出 14.43%和 42.90%(芜湖品系例外,25℃下最小,两温度之间差异为 6.23%)。与个体体积不同,温度仅对广州品系的轮虫卵体积有显著影响,该品系轮虫卵体积最大值与最小值之间差异为 22.52%。各品系轮虫卵体积与个体体积一样,均随

表 1 不同温度下三品系角突臂尾轮虫的种群增长率和个体体积(mean±SE)						
Tab. 1 Population growth rate and body size of three strains of <i>B. angularis</i> at different temperatures						
温度	种群增长率 Population growth rate(d^{-1})			个体体积 Body size($\times 10^{14}m^3$)		
Temperature	青岛品系 QD Strain	广州品系 GZ Strain	芜湖品系 WH Strain	青岛品系 QD Strain	广州品系 GZ Strain	芜湖品系 WH Strain
20℃	0.6638±0.0412	0.6769±0.0613	0.6731±0.0138	2.4950±0.0322	2.9795±0.0412	4.3639±0.0696
25℃	0.8452±0.0223	1.1359±0.0134	0.7264±0.0285	2.1852±0.0455	2.4080±0.0397	4.1078±0.0580
30℃	1.0736±0.0188	0.8733±0.0115	—	2.1804±0.0573	2.0850±0.0487	—
单因素方差分析 One-way ANOVA						
	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P = 0.1679$	$P < 0.01$	$P < 0.01$	$P < 0.01$
多重比较 Multiple comparison(q test)						
20℃	3*	3	—	1	1	—
25℃	2	1	—	2	2	—
30℃	1	2	—	2	3	—

* 多重比较(q 检验法): 具有相同数字表示同一列数据的组间无显著差异。Multiple comparison of q test: The same number indicates that there are no significant differences among the groups in the same column.

温度的升高而呈现出下降趋势。

2.3 温度对各地理品系轮虫相对卵体积的影响

温度仅对广州品系轮虫相对卵体积具有极显著

影响($P < 0.01$), 相对卵体积具有随温度的升高而增大的趋势。另外两品系轮虫相对卵体积也同样具有这样的趋势, 但温度对其影响并不显著(表 2)。

表 2 不同温度下三品系角突臂尾轮虫的卵体积和相对卵体积 (mean±SE)
Tab. 2 Egg size and relative egg size of three strains of *Brachionus angularis* at different temperatures

温度 Temperature	卵体积 Egg size(× 10 ⁴ μm ³)			相对卵体积 Relative egg size		
	青岛品系	广州品系	芜湖品系	青岛品系	广州品系	芜湖品系
	QD Strain	GZ Strain	WH Strain	QD Strain	GZ Strain	WH Strain
20℃	8.1582±0.0318	9.9708±0.0358	11.7485±0.4272	0.3322±0.0150	0.3373±0.0128	0.2718±0.0105
25℃	8.1161±0.0318	8.8720±0.0227	11.1586±0.2886	0.3765±0.0145	0.3725±0.0110	0.2733±0.0072
30℃	8.0387±0.0293	8.1383±0.0284	—	0.3759±0.0145	0.3983±0.0156	—

单因素方差分析 One-way ANOVA

	$P = 0.9625$	$P < 0.01$	$P = 0.2554$	$P = 0.0527$	$P < 0.01$	$P = 0.9055$
--	--------------	------------	--------------	--------------	------------	--------------

多重比较 Multiple comparison(q test)

20℃	—	1*	—	—	2	—
25℃	—	2	—	—	2	—
30℃	—	2	—	—	1	—

* 同表 1 注. The same as Table 1.

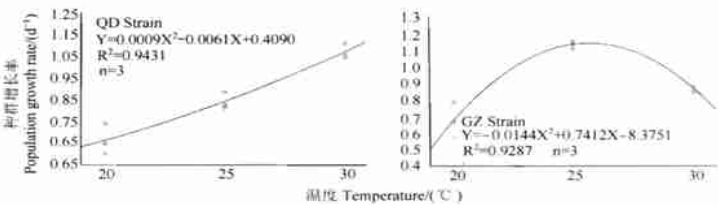


图 1 青岛品系和广州品系角突臂尾轮虫的种群增长率与温度间的关系
Fig. 1 The relationship between temperature and population growth rate of QD and GZ strains of *B. angularis*

2.4 同一温度下各品系间的比较

20℃下, 各品系的轮虫种群增长率间无显著差异, 而 25℃和 30℃下则相反($P < 0.01$)。25℃下, 广州品系轮虫种群增长率最大, 芜湖品系最小; 30℃下青岛品系则较大(多重比较 q 检验)。

在 20℃和 25℃下, 三品系的轮虫个体体积、卵体积和相对卵体积间差异极显著($P < 0.01$)。多重比较(q 检验)表明, 两温度下芜湖品系轮虫个体体积均最大, 青岛品系最小, 两品系之间的差异分别为 74.91% 和 87.98%; 轮虫卵体积均以芜湖品系最大, 20℃下青岛品系最小, 而 25℃下青岛品系与广州品系之间无显著差异; 20℃和 25℃下, 芜湖品系相对卵体积最小, 其余两品系间差异不显著。30℃下的青岛品系和广州品系之间的个体体积、卵体积以及相对卵体积之间均无显著差异($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 温度对轮虫种群增长率的影响

温度是影响轮虫种群增长的重要环境因子。温度对轮虫种群增长的影响, 不仅表现在不同种类轮虫的种群最适增长温度不同, 且同种轮虫不同品系的种群最适增长温度也不相同^[4]。本研究结果表明不同品系角突臂尾轮虫的种群增长最适温度之间也存在显著差异, 青岛品系轮虫种群增长率在 30℃下最大, 广州品系轮虫种群增长率最大值出现在 25℃左右。

温度对轮虫种群增长的影响还表现在不同种类的轮虫或同种轮虫不同品系种群生存的温度阈值也不相同。Snell 等^[7]对四个品系褶皱臂尾轮虫的研究发现, 其中的 WP 品系在 15℃下不能生存。本研究结果也表明, 在 20—30℃范围内, 青岛品系和广

州品系的角突臂尾轮虫种群均能生存; 而芜湖品系的角突臂尾轮虫则不能在 30℃ 下生存。

3.2 温度和品系与轮虫的个体大小

已有研究结果表明, 褶皱臂尾轮虫个体随温度的升高而减小; 在 15—30℃ 范围内, 其大小变异范围最大时达 90%^[7]; Pourriot^[9] 研究了温度 (7.5—25℃) 对四个品系的蓼花臂尾轮虫的影响, 结果也发现各品系轮虫个体大小均随温度的升高而减小, 并指出轮虫个体大小与温度间呈直线相关, 直线斜率在 -4—-8 之间。与上述结果一致, 本研究中角突臂尾轮虫个体亦随温度的升高而显著减小; 在 20—30℃ 范围内, 其大小变异范围最大时达 42.90%。在不同的温度范围内, 不同品系轮虫个体大小的变异程度有所差异, 青岛品系轮虫在 20—25℃ 范围内个体变化较为明显, 而在 25—30℃ 范围内变化不显著; 广州品系则在两温度范围内均有显著变化。

前已述及, 品系是影响轮虫个体大小的重要内源性因素之一。不同品系轮虫个体大小间存在着显著的差异, 对褶皱臂尾轮虫的研究最多。Ahlstrom^[14] 报道不同采集地的褶皱臂尾轮虫体长变化范围在 125—315μm; 实验室内培养的该种轮虫不同品系间个体大小变化范围也不尽相同, 如 Ito 等的结果为 190—320μm^[15], Fukushima 等为 169—221μm^[16], Yufera 为 134—280μm^[10], Snell 等报道为 123—292μm。席贻龙等发现不同品系的蓼花臂尾轮虫间也存在显著差异, 变化范围为 192.68—213.09μm^[11]。本研究结果中, 各温度下不同品系的角突臂尾轮虫间也存在着极显著差异。20℃ 和 25℃ 芜湖品系分别高出青岛品系达 74.91% 和 87.98%; 但相比较而言, 温度的影响却较低 (如温度对广州品系的影响最大为 42.90%)。可见, 同温度相比, 品系对轮虫个体体积有较大的影响, 选择不同地理品系的轮虫是获得不同大小轮虫的主要途径; 但对同一品系而言, 温度仍是获得不同大小轮虫的可能途径之一。

一般说来, 同一种浮游动物, 如枝角类和桡足类等, 其个体有随纬度的升高而增大的趋势, 这可能主要由同一季节从南到北水温逐渐降低导致的。但本研究结果却表明分布于较高纬度的青岛品系角突臂尾轮虫的个体显著小于纬度较低的芜湖品系轮虫。本研究中所使用的三个品系均是由水体沉积物中的休眠卵孵化而得, 其母体生存时当地的水温不得而知。因此, 若三个品系轮虫的非混交雌体生存时的水温等条件不随纬度的升高而降低, 它们的个体大小也便可能与纬度间无明显的规律性。作者认为, 欲对各地品系轮虫个

体大小与纬度间的关系进行研究, 宜在同一季节或时期通过研究各水体中现存的非混交雌体后才能定论。

3.3 不同温度下轮虫的卵体积以及轮虫的生殖对策

一般认为, 轮虫摄食所获得的能量主要用于个体体积的增长 (体细胞的增大)、繁殖后代以及呼吸等基本生理活动需要, 而用于繁殖后代的能量可被轮虫用来产出体积较大但数目较少或体积较小但数目较大的卵以最大限度地提高种群增长率^[1]。本研究结果发现, 角突臂尾轮虫卵体积均随着温度的升高而减小; 在较适宜的温度范围 (广州和芜湖品系均为 20—25℃, 青岛品系为 20—30℃) 内, 随着温度的升高, 角突臂尾轮虫可能采取产生体积较小但数量较多的卵, 以促进其种群增长率在一定范围内随着温度的升高而增大。温度也是影响轮虫胚胎发育时间的主要外源性因素, 随温度的升高轮虫的胚胎发育等主要发育阶段历时均缩短^[4,5], 从而促进轮虫种群的进一步增长。这些均可能是角突臂尾轮虫适应不同培养温度所采取的重要生殖对策。

参考文献:

- [1] 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 [J]. *Arch. Hydrobiol.*, 1987, **111**: 245—253
- [2] Xi Y L, Huang X F. Effect of food supply in both food quality and quantity on the population dynamics of *Brachionus urceolaris* [J]. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 1999, **23**: 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—233]
- [3] Galkovskaja G A. Planktonic rotifers and temperature [J]. *Hydrobiologia*, 1987, **147**: 307—317
- [4] Awaiss A, Kestemont P. An investigation into the mass production of the freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas. 2. Influence of temperature on the population dynamics [J]. *Aquaculture*, 1992, **105**: 337—344
- [5] Xi Y L, Huang X F. Effect of temperature on the experimental population dynamics of *Brachionus urceolaris* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2000, **31** (1): 23—27 (in Chinese) [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]
- [6] Fukushima K, Iwamoto H. Cyclomorphosis in size of the cultured rotifer *Brachionus plicatilis* [J]. *Bull. Natl. Res. Inst. Aquaculture*, 1980, **1**: 29—37
- [7] Snell T W, Carrillo K. Body size variation among strains of the rotifers *Brachionus plicatilis* [J]. *Aquaculture*, 1984, **73**: 359—367
- [8] Halbach U. Die Ursachen des Temporal variation Von *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotatoria) [J]. *Oecologia*, 1970, **4**: 262—318
- [9] Pourriot R. Rapports entre la temperature, la taille des adultes, la longueur des oeufs et taux de developpement embryonnaire chez *Br*

- chionus calyciflorus* Pallas (Rotatoria) [J]. *Am. Hydrobiol.*, 1973, 4(1): 103—115
- [10] Yufera M. Morphometric characterization of a small sized strain of *Brachionus plicatilis* in culture [J]. *Aquaculture*, 1982, 27: 55—61
- [11] 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 [J]. *Journal of Freshwater Ecology*, 2002, 17(2): 185—190
- [12] Gilbert J J. Mictic female production in rotifer *Brachionus calyciflorus* [J]. *J. Exp. Zool.*, 1963, 153: 113—124
- [13] Zhang Z S, Huang X F. Methods for study on freshwater plankton [M]. Beijing: Science Press, 1991, 364—367 [章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991, 364—367]
- [14] Ahlstrom E H. A revision of the rotatorian genera *Brachionus* and *Platyas* with description of one new species and two new varieties [J]. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.*, 1940, 77: 143—184
- [15] Ito S, Sakamoto H, Hori M, Hirayama K. Morphological characteristics and suitable temperature for the growth of several strains of the rotifer, *Brachionus plicatilis* [J]. *Bull. Fac. Fish. Nagasaki Univ.*, 1981, 51: 9—16
- [16] Fukusho K., Robin J H. Strain and size of the rotifer, *Brachionus plicatilis*, cultured in Southeast Asian countries [J]. *Bull. Nat. Res. Inst. Aquaculture*, 1982, 3: 107—109

EFFECTS OF TEMPERATURE ON LIFE HISTORY STRATEGIES OF THREE STRAINS OF *BRACHIONUS ANGULARIS* GOSSE

HU Hao Yuan, XI Yi Long and GENG Hong

(Provincial Laboratory of Conservation and Utilization of Biological Resource in Anhui, College of Life Science, Anhui Normal University, Wuhu Anhui 241000)

Abstract: Rotifers are valuable live food for larval fish and crustacean. *Brachionus angularis* is usual specie in fresh water, and is considered to have important status in material cycle and energy transportation in freshwater ecosystem, and applied in aquaculture. Determining optimal conditions for the rotifer population growth in an artificial environment necessitates the study on its life history strategies. The factors that are most likely to influence rotifer life history strategies are genotype (strain), food quality and quantity, and temperature, etc. Effects of strain and temperature on the life history strategies of *B. angularis* were investigated in the present study.

By population accumulative culture, with *Chlorella pyrenoidosa* (6.0×10^6 cells/mL) as the rotifer's food, the effects of temperature on the population growth, body size, and egg size of three different strains of *B. angularis*, respectively from Qingdao, Guangzhou and Wuhu cities, were studied at 20 °C, 25 °C and 30 °C. The results showed that temperature affected the population growth rate, body size, and egg size significantly. The optimum temperature of population growth of QD strain was 30 °C, and that of GZ strain was 25 °C; WH strain had 100% mortality at 30 °C. The relationships between temperature and population growth rate of both QD and GZ strain were curvilinear: $Y = 0.0009X^2 - 0.0061X + 0.4090$; $Y = -0.0144X^2 + 0.7412X - 8.3751$. Rotifer of GZ strain got its maximum population growth rate ($1.1627d^{-1}$) at the temperature 25.74 °C.

Both body size and egg size tended to decrease with the increasing temperature. In our experimental temperature range, the variation of body size was 42.90% in GZ strain, 14.43% in QD strain, and 6.23% in WH strain. Strain also affected the body and egg size of rotifer significantly. Among the three strains, the body size of WH strain was the largest, and that of QD strain was the smallest. At 20 °C and 25 °C, the body size of WH strain was 74.91% and 87.98% larger than QD strain, respectively.

Egg size tended to be smaller with the increasing temperature, and the variance between 20 °C and 30 °C of GZ strain was 22.50%. But the relative egg size tended to be larger with the increasing temperature. At 20 °C and 25 °C, WH strain had the largest egg size, but the relative egg size of WH strain was the smallest among the three strains. Egg size of QD strain was significantly smaller than GZ strain at both 20 °C and 25 °C, and the variance of egg size between QD strain and WH strain was 44.01% and 37.49% at 20 °C and 25 °C, respectively.

Strain had a more important effect on the rotifer's body and egg size than temperature.

Key words: *Brachionus angularis*; Strain; Temperature; Population growth rate; Body size; Egg size