

温度对壶状臂尾轮虫实验种群动态的影响*

席贻龙 黄祥飞

(中国科学院水生生物研究所 武汉 430072)

摘要 于1997年10月,采用单个体培养方法,在15℃、20℃、25℃和30℃下对采自武汉东湖的壶状臂尾轮虫的实验种群动态进行了研究。结果表明,随着温度的升高,壶状臂尾轮虫各主要发育阶段如胚胎发育、生殖前期、生殖期、生殖后期等的历时,以及平均寿命均缩短,轮虫存活率下降的速度逐渐加快,繁殖率高峰值出现的时间逐渐前移。其中胚胎发育时间(D)和温度(T)间的回归方程式为: $\ln D = 11.667\ 23 - 4.264\ 79 \ln T + 0.426\ 203 (\ln T)^2$ 。在25℃时,壶状臂尾轮虫的产卵量显著高于其它各温度下的产卵量,种群的净生殖率和内禀增长率最大,因此该温度是壶状臂尾轮虫种群增长的最适温度。

关键词 壶状臂尾轮虫 温度 种群动态

学科分类号 Q178.51

轮虫是淡水浮游动物中的一个重要类群,也是当前养殖业中许多特种水产品的开口饵料和优质食物,因此,开展轮虫的培养研究具有重要的意义。要了解在人工控制条件下轮虫的最适培养条件,就必须对轮虫种群动态及与之相关的生物学参数的进行研究(Pourriot *et al.*, 1975)。壶状臂尾轮虫是淡水轮虫中最常见的种类之一,分布很广(王家楫, 1965),迄今为止,有关其批量培养的基础研究报道极少,国内仅见王金秋等(1997)对其在32℃下的种群增长参数的研究报道。本文报道培养温度对其种群动态影响的研究结果,以期得出其种群增长的最适温度,为该种轮虫的批量培养提供理论指导。

1 材料和方法

1.1 轮虫的来源和预培养

实验于1997年10月进行。壶状臂尾轮虫(*Brachionus urceolaris*)系由武汉东湖水体沉积物中的休眠卵孵化而得,在实验室内于 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、自然光照下进行克隆培养。培养液采自Gilbert(1963)的配方,所用饵料为HB-4培养基培养的、处于指数增长期的椭圆小球藻(*Chlorella ellipsoidea*),实验前,将轮虫置于各实验温度下预培养7d以上,预培养时的光照和饵料等与上述相同。

1.2 单个培养实验

将携带非需精卵的轮虫单个培养于特制玻璃片的凹穴中,培养物体积为0.5ml。每间

* 中国科学院重大项目资助课题, KY95-11号。席贻龙,男,出生于1965年12月,博士,副教授, E-mail: castlake@public.wh.hb.cn

收稿日期: 1998-05-11, 收修改稿日期: 1998-07-11

隔 1—2h 于解剖镜下检查卵的孵化情况,取刚孵出的幼体开始实验。实验时,每间隔 4—8h 检查 1 次,记录轮虫的产卵数、孵化出的幼体数,并移去幼体;每间隔 24h 更换 1 次培养液并投喂食物。投喂食物的量参照 Awaiss 等(1992)的方法,以每 24h 换水时尚有少量小球藻剩余为依据。实验时共设 4 个温度梯度,分别为 15℃、20℃、25℃和 30℃,每温度下 12 个重复。实验至全部个体死亡时为止。

1.3 参数及计算方法

1.3.1 各主要发育阶段的历时

- (1) 胚胎发育 即卵的发育时间,指从卵的产出到幼体孵出所经历的时间;
- (2) 生殖前期 又称幼体阶段或胚后发育,指从幼体孵出到其产出第 1 枚卵所经历的时间;
- (3) 生殖期 指从第一枚卵产出到最后一枚卵产出所经历的时间;
- (4) 生殖后期 又称衰老期(senility phase),指从轮虫产出最后一枚卵到其死亡所经历的时间;
- (5) 最小世代时间 为胚胎发育时间与幼体阶段历时之和(Awaiss *et al.*, 1992)。

以上各发育阶段的历时以及轮虫的平均寿命和其一生中的产卵量皆参照 Walz (1983)、Korstad 等(1989)和 Schmid-Araya 等(1991)的方法,按实际观察值平均求得。

1.3.2 生命表参数的定义和计算方法 见 Birch(1948)

- (1) 特定年龄存活率(l_x) x 年龄组开始时存活个体的百分数;
- (2) 特定年龄繁殖率(m_x) x 年龄组平均每个个体所产的雌性后代数;
- (3) 净生殖率(R_0) 种群经过一个世代后的净增长率;
- (4) 内禀增长率(r_m) 种群在特定实验条件下的最大增长率;
- (5) 周限增长率(λ) 一段时间内种群的增长倍数;
- (6) 世代时间(T) 从亲代出生到子代出生所经历的时间。

r_m 的精确值是在粗略计算的基础上,根据方程 $\sum l_x m_x e^{-rx} = 1$,通过设置的程序用试算法在计算机中运算求得。

2 结果

2.1 不同温度下轮虫的发育速率和产卵量

壶状臂尾轮虫各发育阶段的历时随着温度的升高而缩短(表 1)。在 15℃、20℃、25℃、30℃ 时,轮虫胚胎发育时间与最小世代时间的比值分别为 0.319 7、0.317 2、0.321 1 和 0.388 1;幼体阶段与最小世代时间的比值依次为 0.680 3、0.682 8、0.678 9 和 0.611 9。在轮虫的平均寿命中,幼体阶段(生殖前期)的历时所占的百分比依次为 18.12%、12.61%、14.29% 和 11.36%;而生殖后期所占的百分比依次为 20.31%、21.15%、21.24% 和 14.96%。

在 15—30℃ 范围内,轮虫的胚胎发育时间(D)和温度(T)间的回归方程式为:

$$\ln D = 11.667\ 23 - 4.264\ 79 \ln T + 0.426\ 203 (\ln T)^2 \quad r = 0.806\ 6, \quad P < 0.05$$

在以上 4 种温度下,轮虫的产卵量以 25℃ 时最高,达 24.833 3 个;15℃ 时最低,为 18 个。统计分析结果表明,在 25℃ 下,轮虫的产卵量显著高于其他各温度下的产卵量($P < 0.05$);而 20℃ 和 30℃ 时轮虫的产卵量间无显著差异($P > 0.05$)。

表1 不同温度下壶状臂尾轮虫各发育阶段的历时(h)和产卵量
Tab.1 Duration of the developmental stages and number of eggs spawned by *B. urceolaris* at different temperatures

温度(°C)	15	20	25	30
胚胎发育	26.000±3.618	15.333±3.378	11.667±2.276	8.667±3.019
生殖前期	55.333±10.322	33.000±5.839	24.667±4.222	13.667±1.159
生殖期	188.000±47.206	173.333±39.093	111.333±18.515	88.667±21.698
生殖后期	62.000±28.968	55.333±26.736	36.667±16.166	18.000±6.928
最小世代时间	81.333±12.875	48.333±7.934	36.333±6.013	22.333±3.927
平均寿命	305.333±67.222	261.667±44.928	172.667±19.680	120.333±20.182
产卵量(ind)	18.000 0±2.030 2	21.833 3±2.365 8	24.833 3±2.587 9	21.666 7±2.839 1

2.2 不同温度下轮虫的存活率和繁殖率

各培养温度下,壶状臂尾轮虫的存活率和繁殖率如图1所示。由图1可知,无论在何种培养温度下,轮虫在开始培养的108h内全部存活。然后随着培养温度的升高,存活率开始下降的时间逐渐前移,下降的速度也逐渐加快。在15°C、20°C、25°C、30°C时,轮虫存活的最短时间依次为208h、200h、144h和112h;存活的最长时间则依次为408h、344h、208h和168h。

随着培养温度的升高,轮虫繁殖率高峰值出现的时间也逐渐前移,但高峰值的大小则以25°C时最大,30°C时略低,15°C时最低。

2.3 不同温度下轮虫的种群增长率和世代时间

各培养温度下壶状臂尾轮虫种群的内禀增长率(r_m),周限增长率(λ),净生殖率(R_0)和世代时间(T)值列于表2。由表2可知,在25°C时,轮虫种群的 r_m 最高, T 值最小;其次为30°C时;15°C时轮虫种群的 r_m 最低, T 值最大。

表2 各温度下壶状臂尾轮虫的种群增长参数

Tab.2 Parameters of population growth of *B. urceolaris* at different temperatures

温度(°C)	r_m (h^{-1})	λ (h^{-1})	R_0 (ind)	T (h)
15	0.018 225	1.018 392	17.694 45	157.654 4
20	0.024 461	1.024 763	21.750 03	126.162 0
25	0.045 854	1.046 922	24.500 00	69.757 8
30	0.042 172	1.043 074	21.166 67	76.664 5

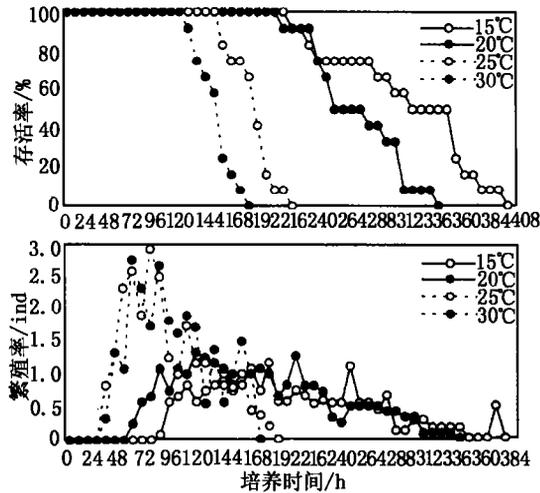


图1 不同温度下壶状臂尾轮虫的存活率和繁殖率
Fig.1 The survival and reproductive rate of population of *B. urceolaris* at different temperatures

3 讨论

3.1 在食物充足的情况下,浮游性轮虫在孤雌生殖阶段的增殖速率更多地取决于胚胎发育速率和生命的早期阶段的历时,而不是净生殖率(Pourriot, 1986),因此研究轮虫的胚胎发育时间和幼体阶段等的历时是轮虫种群动态研究的重要内容。温度是影响上述参数的主要生态因子之一。众多的研究表明,在相同的温度下,虽然轮虫各主要发育阶段的历时常因种或品系而异(表3),但温度对任何种轮虫的各主要发育阶段的历时的影响都是一致的,即随着温度的升高而缩短(Pourriot *et al.*, 1975; Galkovskaja, 1987; Walz, 1983; Herzig, 1983; Awaiss *et al.*, 1992; 黄祥飞, 1985, 1989),本研究的结果亦证明了这一点。

表3 不同温度下三种臂尾轮虫主要发育阶段的历时和净生殖率的比较

Tab.3 Comparison of duration of principle developmental stages and net reproductive rates at various temperatures for three species of rotifers from *Brachionus*

时间(d)及净 生殖率(ind)	臂尾轮虫	温 度(°C)			
		15	20	25	30
胚胎发育时间	蓴花臂尾轮虫武汉东湖品系 ¹⁾	1.10	0.62	0.48	0.34
	蓴花臂尾轮虫美国Florida品系 ⁴⁾	—	0.56	0.42	0.29
	角突臂尾轮虫 ²⁾	1.06	0.73	0.63	—
	壶状臂尾轮虫 ³⁾	1.08	0.64	0.47	0.36
胚后发育时间	蓴花臂尾轮虫武汉东湖品系 ¹⁾	2.19	1.34	1.02	0.49
	蓴花臂尾轮虫美国Florida品系 ⁴⁾	—	1.03	0.74	0.45
	角突臂尾轮虫 ²⁾	2.50	1.25	1.26	—
	壶状臂尾轮虫 ³⁾	2.31	1.36	1.03	0.57
最小世代时间	蓴花臂尾轮虫武汉东湖品系 ¹⁾	3.29	1.96	1.50	0.83
	蓴花臂尾轮虫美国Florida品系 ⁴⁾	—	1.58	1.17	0.74
	角突臂尾轮虫 ²⁾	3.56	1.98	1.89	—
	壶状臂尾轮虫 ³⁾	3.39	2.01	1.51	0.93
净生殖率	蓴花臂尾轮虫 ⁴⁾	—	12.50	22.10	12.50
	角突臂尾轮虫 ²⁾	1.60	3.61	1.51	—
	壶状臂尾轮虫 ³⁾	17.69	21.75	24.50	21.17

1) 黄祥飞, 1985; 2) Awaiss *et al.*, 1992; 3) 本文; 4) Walz, 1987

必须指出,除胚胎发育时间主要与温度有关外,其它各发育阶段的历时还与食物的种类和浓度等有关。因此对这些参数的比较宜在完全相同的条件下进行研究,才能较为准确地反映出同种轮虫不同品系间的差异。

此外,黄祥飞(1989)通过对武汉东湖六种轮虫卵和胚后发育时间的研究发现,卵(胚胎)的发育时间平均约占世代时间的31%(24%—41%),胚后发育时间平均约占69%(59%—76%),与本研究结果一致。

顺便提及,温度的升高不仅导致轮虫的胚胎发育时间和幼体阶段等缩短,同时也使雌体的寿命减小。因此,虽然壶状臂尾轮虫在30°C时的繁殖率比20°C时高,但由于其平均寿命缩短,从而导致两种温度下的净生殖率较为接近,这与它们一生中的平均产卵量间无

显著差异也是一致的。Awaiss 等(1992)对蓴花臂尾轮虫(*B. calyciflorus*)的研究也得出了与此相似的结论(表 3)。

3.2 温度对轮虫种群增长的影响, 不仅表现在不同种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(Awaiss *et al*, 1992)。因此在相同的温度下, 即使其它培养条件完全相同, 同种轮虫不同品系的种群增长参数也可能存在一定的差异。就壶状臂尾轮虫而言, 本研究结果表明, 30℃ 时其种群的 r_m 为 $0.042\ 2172\text{h}^{-1}$, 而王金秋等(1997)的研究发现, 32℃ 时该轮虫种群的 r_m 为 $0.054\ 6\text{h}^{-1}$ 。产生上述差异的原因, 除培养条件如温度, 食物种类和浓度等不同外, 品系间的差异如何值得进一步研究。其实, 开展轮虫的批量培养研究, 除了需对适宜培养种类进行筛选外, 最佳品系的确定也较为重要。在此方面, 对咸水性种类褶皱臂尾轮虫(*B. plicatilis*)的研究已有较多的报道(Lubzens, 1987), 对淡水轮虫的研究亟待加强。

3.3 本研究结果表明, 壶状臂尾轮虫的种群内禀增长率在 25℃ 时最大, 为 0.045854h^{-1} , 因此该温度即是其种群增长的最适温度, 如在此温度下进行批量培养, 可望获得最佳生产效果。

参 考 文 献

- 王金秋, 李德尚, 1997. 五种淡水轮虫种群增长参数的比较研究. 水生生物学报, 21(2): 131—136
- 王家楫, 1961. 中国淡水轮虫志. 北京: 科学出版社, 75—76
- 黄祥飞, 1985. 温度对蓴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, 9(3): 232—240
- 黄祥飞, 1989. 武汉东湖若干轮虫卵和胚后发育时间的观察. 海洋与湖沼, 20(2): 184—191
- Awaiss A, Kestemont P, 1992. An investigation into the mass production of the freshwater rotifer *Brachionus calyciflorus* Pallas. 2 Influence of temperature on the population dynamics. Aquaculture, 105: 337—344
- Birch L C, 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. J Anim Ecol, 17(1): 15—16
- Galkovskaja G A, 1987. Planktonic rotifers and temperature. Hydrobiologia, 147: 307—317
- Gilbert J J, 1963. Mictic female production in the rotifer *Brachionus calyciflorus*. J Exp Zool, 153: 113—124
- Herzig A, 1983. Comparative studies on the relationship between temperature and duration of embryonic development of rotifers. Hydrobiologia 104(1): 237—207
- Korstad J, Olsen Y, Vadstein O, 1989. Life story of *Brachionus plicatilis* (Rotifera) fed different algae. Hydrobiologia, 186 / 187: 43—50
- Lubzens E, 1987. Raising rotifers for use in aquaculture. Hydrobiologia, 147: 245—255
- Pourriot R, Rougier C, 1975. Dynamique d'une population experimentale de *Brachionus dimidiatus* en fonction de la nourriture de la temperature. Ann Limnol, 11(2): 125—143
- Pourriot R, 1986. Les rotiferes—biologie. Aquaculture, 5: 201—221
- Schmid-Araya J M, 1991. The effect of food concentration on the life histories of *Brachionus plicatilis* (O. F. M.) and *Enicetruncus linnhei* Scott. Arch Hydrobiol, 121: 87—102
- Walz N, 1983. Individual culture and experimental population dynamics of *Keratella cochlearis* (Rotatoria). Hydrobiologia, 107: 35—45
- Walz N, 1987. Comparative population dynamics of the rotifers *Brachionus angularis* and *Keratella cochlearis*. Hydrobiologia, 147: 209—213

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE EXPERIMENTAL POPULATION DYNAMICS OF *BRACHIONUS URCEOLARIS*

XI Yi-long, HUANG Xiang-fei

(*Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430072*)

Abstract The effect of temperature on the experimental population dynamics of the rotifer, *Brachionus urceolaris*, obtained by hatching its resting eggs in sediment from Lake Donghu and clonal culture in October, 1997, was studied at 15°C, 20°C, 25°C and 30°C. The 1—2 hour-old amictic females were grown individually in a suspension (0.5 ml culture volume) of *Chlorella ellipsoidea* algae, in slight excess quantity. Observations were made every 4—8h for the appearance of eggs and neonates which were counted and removed. The rotifers were transferred to new suspensions daily. Following a number of methods, the durations of the principle developmental stages, the mean number of eggs produced by the rotifers and the parameters of population growth of the rotifer were calculated. The results show that with the temperature increasing from 15°C to 20°C, 25°C and 30°C, the durations of embryonic development are shortened from 26.00h to 15.33h, 11.67h, and 8.67h, respectively. The durations of pre-reproductive period are decreased from 55.333h to 33.000h, 24.667h and 13.667h, respectively. The durations of reproductive period are reduced from 188.000h to 173.333h, 111.333h and 88.667h, respectively. The durations of postreproductive period are shortened from 62.000h to 55.333h, 36.667h and 18.000h, respectively. The mean lifespans of the rotifer are decreased from 305.333h to 261.667h, 172.667h and 120.333h, respectively. As the temperature rises the survival rate of rotifers decreases progressively and the reproductive peaks occur earlier. The curvilinear logarithmic equation of the relationship between the embryonic developmental time (day) and the temperature (°C) is: $\ln D = 11.66723 - 4.26479 \ln T + 0.426203(\ln T)^2$

At 25°C, the mean number of eggs produced by the rotifer during its life net reproductive rate and intrinsic rate of increase of population are 24.8333 ind. 24.50 ind. and $0.045854h^{-1}$, respectively, and are the highest among all the studied temperatures. Hence, this temperature is optimal for population growth of *Brachionus urceolaris*.

Key words *Brachionus urceolaris* Temperature Population dynamics

Subject classification number Q178.51