

pH 对萼花臂尾轮虫种群动态和休眠卵的影响^{*}

席贻龙 黄祥飞

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

摘要 应用种群累积培养法, 研究了 pH 3.5~11.5 (间隔 1.0) 之间萼花臂尾轮虫 (*Brachionus calyciflorus*) 的种群动态及休眠卵的形成。结果表明, 该轮虫在 pH 5.5~10.5 为正增长, pH 7.5 时种群增长趋势最好; pH 4.5 时为负增长; pH 3.5 和 11.5 分别是该轮虫存活下限和上限。pH 对轮虫休眠卵的产量和形成效率、平均混交雌体百分率和受精率皆具极显著影响。7.5 是该种轮虫休眠卵规模化生产的最佳 pH 值, 此时休眠卵的产量和藻类食物的形成效率最大, 分别为 $(1\,325.67 \pm 202.64)/(20\text{ ml} \cdot 6\text{ d})$ 和 $(11.05 \pm 1.69)/(6 \times 10^6\text{ cells})$ 。

关键词 萼花臂尾轮虫, pH, 种群动态, 休眠卵形成

萼花臂尾轮虫 (*Brachionus calyciflorus*) 是广泛分布于各类淡水水体中常见的轮虫种类之一^[1], 也是淡水水产经济动物的开口饵料和优质食物。对该种轮虫休眠卵形成机理的研究是其商品化培养的基础。有关水体 pH 对其种群增长和繁殖的影响, 已有一些报道^[2~4], 但对其休眠卵形成的影响如何, 至今未见报道。本研究采用种群累积培养法, 研究了培养液在 pH 3.5~11.5 (间隔 1.0) 之间萼花臂尾轮虫的种群动态和休眠卵形成, 旨在为该种轮虫休眠卵的规模化生产提供最适的 pH 指标。

1 材料和方法

1.1 轮虫的来源和培养

实验用萼花臂尾轮虫于 1997 年 3 月由武汉东湖水体沉积物中的休眠卵孵化而得。其培养方法同文献[5]。

1.2 群体累积培养实验

实验 pH 为 3.5~11.5, 每间隔 1.0 设 1 个梯度, 共设 9 个梯度, 每梯度 3 个重复。实验用培养液为经 0.45 μm 微孔滤膜过滤的东湖水 (pH 8.4 左

右), 培养容器为容积 25 ml 的磨口称量瓶, 培养液体积为 20 ml; 以密度 $6.0 \times 10^6\text{ ml}^{-1}$ 的斜生栅藻 (*Scenedesmus obliquus*) 作为轮虫的饵料; 实验于温度 $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光照强度约 900 lx (L:D = 14:10) 的光照培养箱内进行。实验前, 将轮虫在同等条件下预培养 48 h 以上。之后, 用玻璃微吸管随机吸取龄长在 2 h 以内的幼体, 待其产出第 1 枚非混交卵时接种至各培养液内开始实验。实验过程中, 每 12 h 用玻璃微吸管轻轻吹浮沉积于培养容器底部的栅藻; 每 24 h 对培养液中轮虫各类型雌、雄体及休眠卵计数 1 次, 并吸出培养容器底部的沉积物和休眠卵, 投喂饵料, 同时用 NaOH 或 HCl 溶液将培养液的 pH 调至实验初始值。实验过程中原则上不更换轮虫培养液。实验共进行 6 d。

1.3 雌体类型的划分和鉴别、轮虫及其休眠卵的计数方法以及有关参数的定义和计算方法

均与文献[5]相同。

2 结果与分析

2.1 轮虫的种群动态

预培养结果表明, 当培养液的 pH 为 3.5 和 11.5 时, 萼花臂尾轮虫种群 24 h 后消失; pH 为 4.5 时, 种群密度 48 h 内持续下降。因此, 可以认为, pH

收稿日期: 1999-02-01

^{*} 国家自然科学基金资助项目: 轮虫休眠卵形成和萌发机理的生态学研究 (39870158)

3.5 和 11.5 分别是该种轮虫存活的下限和上限; pH 4.5 时轮虫种群为负增长。

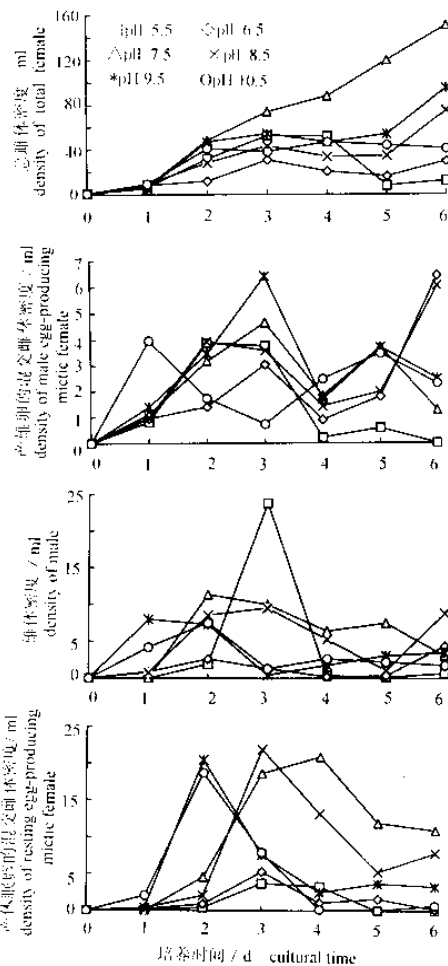


图 1 不同 pH 条件下的蓴花臂尾轮虫的种群动态

Fig.1 Population dynamics of *B. calyciflorus* at different pH

图 1 为 pH 5.5~10.5 的各組中蓴花臂尾轮虫的种群动态。当 pH 为 7.5 时轮虫总雌体种群的增长曲线始终呈上升趋势; 而其它各組皆呈现不同程度的波动。在连续 6 d 的培养中, 种群最大密度以 pH 7.5 组最大, 达 $(153.55 \pm 20.07) \text{ ml}^{-1}$; pH 6.5 组最小, 仅为 $(34.22 \pm 2.14) \text{ ml}^{-1}$ 。方差分析表明, pH 对种群最大密度具极显著影响 ($P < 0.001$)。多重比较 (q -检验) 显示, 除 pH 5.5、8.5 和 10.5 组平均值间无显著差异 (两平均数间的差数小于最小显著极差 $\text{LSR}_{0.05}$) 外, 其余各組间均具有显著差异 (表 1)。各組间, 产雄卵的混交雌体或雄体的种群

动态差异较大。而产休眠卵的混交雌体的种群动态在 pH 7.5 和 8.5 组间, 9.5 和 10.5 组间, 5.5 和 6.5 组间较相似。雄体密度可能与各 pH 下产雄卵的混交雌体的密度及其繁殖率等有关。

表 1 不同 pH 条件下蓴花臂尾轮虫的最大种群密度、休眠卵产量和形成效率

Table 1 Maximum population density, production and formation efficiency of resting eggs of *B. calyciflorus* at different pH

pH	最大密度/ ml^{-1} max population density	产量/ ($20 \text{ ml}^{-1} \cdot 6 \text{ d}$) $^{-1}$	形成效率/ ($6 \times 10^6 \text{ cells}$) $^{-1}$
5.5	55.78 ± 8.80	51.67 ± 18.04	0.43 ± 0.15
6.5	34.22 ± 2.14	232.33 ± 31.50	1.94 ± 0.26
7.5	153.55 ± 20.07	1325.67 ± 202.64	11.05 ± 1.69
8.5	75.11 ± 3.67	899.67 ± 49.10	7.50 ± 0.41
9.5	95.11 ± 18.21	1036.33 ± 94.65	8.64 ± 0.79
10.5	60.45 ± 18.73	809.00 ± 40.36	6.74 ± 0.66

2.2 休眠卵的形成动态及其产量和形成效率

图 2 显示不同 pH 下轮虫休眠卵的形成动态。若把各組间休眠卵形成的动态曲线与图 1 中产休眠卵的混交雌体的种群曲线比较, 则可发现, 除了休眠卵日生产量高峰值出现的时间较产休眠卵的混交雌体密度高峰值出现的时间延迟了 24 h 外, 两者间较为相似。这可能与休眠卵从产出到脱落的时间间隔有关。6 d 内, 各 pH 条件下休眠卵的产量和形成效率皆以 pH 7.5 组最大, pH 5.5 组最小。方差分析表明, 培养液 pH 对蓴花臂尾轮虫休眠卵产量和产率均有极显著的影响 ($P < 0.001$)。多重比较显示, 除 pH 8.5 和 9.5 组间无差异外, 其余各組的均值间都具有显著差异 (表 1)。

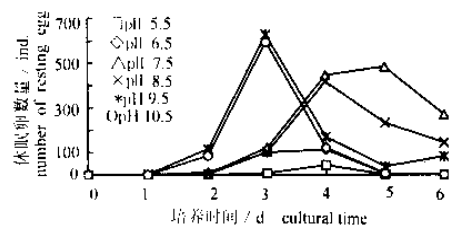


图 2 不同 pH 条件下蓴花臂尾轮虫休眠卵的形成动态

Fig.2 Formation dynamics of resting eggs of *B. calyciflorus* at different pH

2.3 轮虫的混交雌体百分率和受精率

整个培养过程中, 轮虫混交雌体百分率和受精

率的动态曲线如图 3 所示。对 6 d 内混交雌体百分率的平均值的统计分析表明, pH 对混交雌体百分率具有极显著影响 ($P < 0.001$)。多重比较显示, 除 pH 6.5、7.5 和 9.5 组、pH 8.5 和 10.5 组间无显著差异外, 其余各组间皆有显著差异。pH 对平均混交雌体受精率也有极显著影响 ($P < 0.001$)。各组均值间除 pH 7.5~10.5 的各组间、pH 6.5 和 10.5 组间无显著差异外, 其余各组也均具有显著的差异(表 2)。

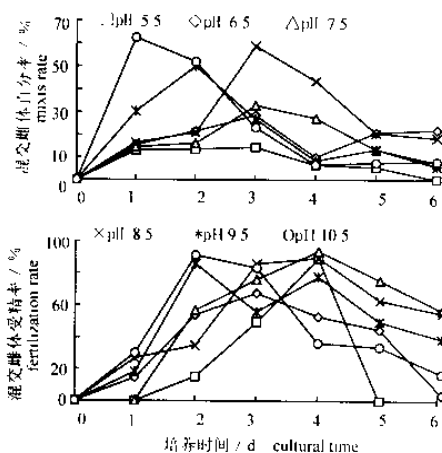


图 3 不同 pH 条件下萼花臂尾轮虫的平均混交雌体百分率和受精率

Fig.3 Mixis and fertilization rate of *B. calyciflorus* at different pH

表 2 不同 pH 条件下萼花臂尾轮虫的平均混交雌体百分率和受精率

Table 2 Mean mixis rate and fertilization rate of *B. calyciflorus* at different pH

pH	混交雌体百分率/% mean mixis rate	混交雌体受精率/% mean fertilization rate
5.5	8.81 ± 2.45	25.73 ± 2.42
6.5	19.80 ± 4.70	39.66 ± 2.37
7.5	18.63 ± 5.59	59.90 ± 6.16
8.5	29.85 ± 4.65	59.36 ± 5.99
9.5	22.54 ± 1.41	54.47 ± 5.68
10.5	26.63 ± 1.12	48.73 ± 11.61

3 讨论

3.1 培养液 pH 对轮虫种群动态的影响

有关 pH 对萼花臂尾轮虫种群增长影响的研究, 已有一些报道, 但各研究结果及本研究结果均存在差异。究其原因, 可能主要与轮虫的培养方法(单个或群体培养)、培养液体积及其 pH 调节方法的不

同有关。首先, 王金秋等^[2]所用培养液体积较大(40 ml), 实验中每 2 h 调节 1 次 pH。此方法对于维持培养液 pH 的稳定性较好, 但若应用于规模化生产, 可能会耗费大量的人力、物力。Mitchell^[3,4]所用培养液体积较小(1.5 ml), pH 调节间隔时间较长(24 h), 加之培养液有机质含量丰富(由粪粪制成), 有利于藻类的生长和繁殖, 但 pH 的稳定性较差。本研究所用培养液体积为 20 ml, 培养液由富营养化的东湖水过滤而成, pH 调节间隔时间较长(24 h), pH 的稳定性也较差(培养初期, 24 h 后 pH 反弹至接近 8.4; 随着培养时间的延长, 反弹范围有所减小)。其次, Mitchell 在进行 pH 调节时, 先用 NaOH 将其调至 10.5, 再用 HCl 调至所需的初始实验值, 保证了 Na⁺ 浓度的一致性。王金秋等未顾及 Na⁺ 浓度的一致性。由于培养液不予更换, 为避免短时间内培养液 pH 的大幅度变化而对轮虫产生影响, 我们也未采用 Mitchell 的调节方法。因此, Na⁺ 浓度的差异可能是实验结果存在差异的原因之一。

3.2 pH 对混交雌体百分率和受精率的影响

迄今为止, 有关生态因子对轮虫混交雌体产生的影响已有较多的研究, 但大多是在单个体培养条件下进行的。Mitchell 的研究表明, 在 pH 7.5~10.5, 萼花臂尾轮虫后代中混交雌体的百分率在 60%~85%^[4]。本研究结果表明, 在种群累积培养条件下, 其平均混交雌体百分率均较低。其原因有待于进一步研究。对混交雌体受精率影响的研究则较少^[6]。目前已知, 混交雌体的受精率主要与雌雄相遇及交配的可能性、雄轮虫的受精力以及混交雌体是否易于受精等有关^[7]。培养液 pH 究竟是通过影响上述哪些因素而对受精率产生影响, 亦有待于深入的研究。

3.3 pH 对混交雌体产卵量的影响

有关 pH 对混交雌体产卵量的影响, 报道极少。作者曾对双棘臂尾轮虫(*Brachionus bidentata*) 在 pH 3.5~7.5 范围内混交雌体的产卵量进行过研究, 结果发现, 不同 pH 下产雄卵的混交雌体的产卵量不同^[8]。Mitchell 的研究结果表明, 在 pH 7.5~10.5 范围内, 不同 pH 下产雄卵的混交雌体和产休眠卵的混交雌体的产卵量均不同^[3]。而更大的 pH 范围内两类混交雌体的产卵量如何, 有待于进一步的研究。

3.4 本研究的实践意义

本研究结果已经表明, 培养液 pH 为 7.5 时, 轮

虫的最大种群密度和休眠卵产量及其形成效率皆最大,说明该 pH 是轮虫休眠卵生产的最适值;高于或低于该 pH 均使轮虫的最大种群密度和休眠卵产量及其形成效率降低。因此,在进行轮虫休眠卵的规模化生产时,宜选用或配制 pH 7.5 左右的水体作为轮虫的培养液,以获得较大的休眠卵产量和形成效率。

参 考 文 献

- 1 王家楫. 中国淡水轮虫志. 北京: 科学出版社, 1961. 71~72
- 2 王金秋, 李德尚, 罗一兵, 等. pH 值对萼花臂尾轮虫种群增长及繁殖的影响. 应用生态学报, 1997, 8(4): 435~438
- 3 Mitchell S A, Joubert J H B. The effect of elevated pH on the survival and reproduction of *Brachionus calyciflorus*. Aquaculture, 1986, 55: 215~220
- 4 Mitchell S A. The effect of pH on *Brachionus calyciflorus* Pallas (Rotifera). Hydrobiologia, 1992, 245: 87~93
- 5 席贻龙, 黄祥飞. 光照对萼花臂尾轮虫休眠卵形成的影响. 见: 中国动物学会主编, 中国动物科学研究. 北京: 中国林业出版社, 1999. 312~318
- 6 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
- 7 Pourriot R, Snell T W. Resting eggs of rotifers. Hydrobiologia, 1983, 104: 213~224
- 8 席贻龙, 黄祥飞. 水质酸化对双棘臂尾轮虫实验种群动态的影响. 湖泊科学, 1999, 11(2): 155~159

Effect of pH on population dynamics and resting egg of *Brachionus calyciflorus*

Xi Yilong Huang Xiangfei

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

Abstract The population dynamics and resting egg formation of freshwater rotifer, *Brachionus calyciflorus*, were studied when pH varied between 3.5 and 11.5 at 1 unit intervals by the method of population accumulation culture. The results showed that at pH 5.5~7.5, the population showed a positive growth, but opposite at pH 4.5. At pH 7.5, the population growth got to a peak that the production and formation efficiency of the resting eggs were both the biggest, which were $(1\,325.67 \pm 202.64)/(20\text{ ml} \cdot 6\text{ d})$ and $(11.05 \pm 1.69)/(6 \times 10^6\text{ cells})$, respectively. A complete mortality occurred soon after 24 h at pH 3.5 and 11.5. There were significant differences, respectively, in the production efficiencies, the formation efficiency of resting eggs, the mean mixis rates and the fertilization rates of the rotifers grown in media of different pH (5.5~10.5). It can be concluded that the optimum pH was 7.5 for mass production of resting eggs of *B. calyciflorus*.

Key words *Brachionus calyciflorus*, pH, population dynamics, resting egg