

海洋纤毛虫巨大拟阿脑虫的实验生态学 研究: 初始密度及食物对其 种群生长的影响*

张绍丽 马洪钢 宋微波¹⁾

(青岛海洋大学海水养殖教育部重点实验室 青岛 266003)

提要 采用实验生态学方法, 就不同初始种群密度及食物密度等因素对海洋纤毛虫巨大拟阿脑虫(隶属纤毛门, 盾纤目)的种群自然增长率(r)及世代时间(G)的影响进行了探讨。结果表明, 初始种群密度与 r 值呈负相关, 与 G 则呈正相关, 初始密度为 1 ind/ml 时, r 值达最大值 $2.61/\text{d}$, G 值则为最小值为 0.29d ; r 值随食物密度的增大而增大, 当食物密度为 $2.8E+08 \text{ ind/ml}$ 时, r 值达最大值为 $2.07/\text{d}$ 。同时讨论了种群自然增长率和世代时间之计算方法在实验中的应用。

关键词 巨大拟阿脑虫, 种群自然增长率, 世代时间, 实验生态学

中图分类号 Q958.885.3

盾纤类纤毛虫是一大类广泛生存于各类水环境中、尤其在富营养化水体中常见多发的原生动物。该类通常以细菌和有机碎屑为食, 因而在水体生态系统的物质循环和能量流动中起着重要作用, 是微食物环的重要组成部分之一, 也是连接微食物环和较高营养级的重要枢纽(焦念志等, 1999; 王勇等, 1999; 张武昌等, 2000)。

本研究所涉及的巨大拟阿脑虫是一在养殖水体中较常见的种类。迄今为止, 对该种以及同类的研究基本上仅限于形态分类学描述(Borror, 1972; Czapik *et al*, 1986; Small *et al*, 1985), 在实验生态学方面了解甚少。有关该类纤毛虫在水体内尤其是高密度的集约化养殖(含育苗)水体中的功能与作用尚在争议之中, 但通常被归入危害类群中, 而作为水体中重要的食菌者, 本类对养殖环境的贡献作用无疑被忽视了。因此, 了解和探讨其个体及种群生态学对于评估盾纤类纤毛虫在水域生态系统中的作用是十分必要和有益的。

1 材料与方法

1.1 虫种及维持培养

实验用纤毛虫(巨大拟阿脑虫)(*Paranophrys magna* Borror, 1972)于1998年5月采

* 国家自然科学基金资助项目(39970098号)及高等学校骨干教师资助计划联合资助。张绍丽, 女, 出生于1976年9月, 硕士, E-mail: protozoa@ouqd.edu.cn

1) 通讯作者

收稿日期: 2000-07-19, 收修改稿日期: 2001-04-11

自青岛郊区一河蟹育苗池(盐度为 20)。虫体分离后在室温下以消毒海水(盐度为 20)为培养液建立纯培养,以米粒繁殖细菌为饵料。实验前一周接种于新的培养液活化种群。

1.2 不同起始种群密度种群自然增长率的测定

取处于种群生长平衡期的虫体转入新的培养液中,设定不同初始密度,三个平行组及对照组同行,室温下(约 22℃)培养。培养器皿选用 6 孔细胞培养板,以米粒繁殖细菌为饵料。定期用计数板测定种群密度,取 3 次样品的平均值。

1.3 不同食物密度条件下种群自然增长率的测定

接种处于种群生长平衡期的虫体,分别一次性投喂不同密度的大肠杆菌菌液,室温下(约 22℃)培养。培养器皿选用验血板,虫体 5 个/凹,培养液覆盖一薄层石蜡油以防水分蒸发,同时并不妨碍气体交换(Finlay, 1977)。培养 24h 后, Lugol's 液固定,镜检记数。

1.4 种群自然增长率(r)及世代时间(G)的计算方法

采用两种 r 值计算方法:一是根据公式 $\ln N_t = \ln N_0 + r_t$,式中, N_t 为经过时间 t 后的种群密度, N_0 为种群初始密度。增长率以最小二乘法回归分析得出,以时间为横坐标,因变量是纤毛虫密度(每 ml 个体数)的自然对数,其斜率即种群自然增长率 r ,实验 1.2 采用此法;二是根据变形公式 $r = (\ln N_t - \ln N_0)/t$, N_0 与 N_t 分别为实验初与末(通常为实验开始 24h 后)的种群数量,直接代入公式计算得出,试验 1.3 采用此法。

根据公式 $G = \ln 2/r$,代入上述所得 r 值,以获其世代时间(G)(Fenchel, 1968; Finlay, 1977; 徐润林等, 1993)。

2 结果

2.1 初始种群密度对巨大拟阿脑虫生长的影响

不同初始种群密度下巨大拟阿脑虫的生长曲线见图 1。4 组不同初始种群密度的培养均有明显的生长期相,生长停滞期时间为 0.5—1.5d 不等(表 1),但均在第 4 天左右达到生长平衡期。种群自然增长率的回归分析结果见表 2,斜率 a 即种群自然增长率。由表 2 可知,4 组实验种群的自然增长率有明显不同,分别为 2.38/d、1.26/d、1.19/d、1.54/d,对应世代时间为 0.29d、0.55d、0.58d、0.45d(表 3)。所达最大高峰种群密度的大小顺序(按初始种群密度排列)依次为 1> 10> 50> 100 ind/ml,即表现了与初始密度显著的负相关关系。

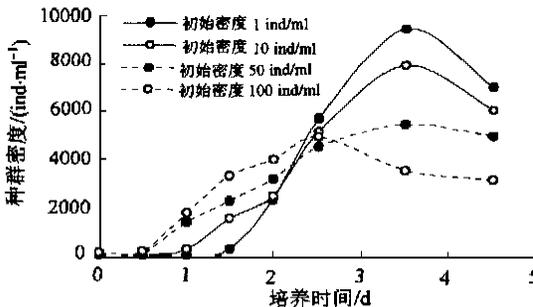


图 1 不同初始密度下巨大拟阿脑虫实验种群的生长曲线

Fig. 1 Growth curves of *P. magna* populations began with different population densities

表 1 不同初始密度下巨大拟阿脑虫实验种群的生长停滞期时间

Tab. 1 The length of the lag phases of *P. magna* populations began with different population densities

初始种群密度(ind/ml)	生长停滞期时间(d)	初始种群密度(ind/ml)	生长停滞期时间(d)
1	1.5	50	0.5
10	1	100	0.5

表 2 不同初始密度的种群自然增长率回归分析

Tab. 2 The results of regression analysis for natural rates of increase of *P. magna* populations began with different population densities

初始种群密度 (ind/ml)	$Y = aX + b$			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>n</i>
1	2.3822	4.2260	0.9047	5
10	1.2577	6.2774	0.9189	5
50	1.1878	5.8204	0.8081	6
100	1.5374	5.9567	0.8649	5

表 3 不同初始密度下巨大拟阿脑虫的种群自然增长率及世代时间

Tab. 3 Natural rates of increase and generation times of *P. magna* populations began with different population densities

初始种群密度 (ind/ml)	种群自然增长率 (d ⁻¹)	世代时间(d)	初始种群密度 (ind/ml)	种群自然增长率 (d ⁻¹)	世代时间(d)
1	2.38	0.29	50	1.19	0.58
10	1.26	0.55	100	1.54	0.45

2.2 食物密度对巨大拟阿脑虫生长的影响

不同食物密度下巨大拟阿脑虫种群自然增长率及世代时间的变化见表 4。

表 4 不同食物密度下巨大拟阿脑虫的种群自然增长率及世代时间

Tab. 4 Natural rates of increase and generation times of *P. magna* under different food conditions

食物密度 (ind/ml)	种群自然增长率 (d ⁻¹)	世代时间(d)	食物密度 (ind/ml)	种群自然增长率 (d ⁻¹)	世代时间(d)
4.5×10^5	0.16	4.33	2.8×10^8	2.07	0.33
2.2×10^6	0.16	4.33	1.4×10^9	1.97	0.35
1.0×10^7	0.71	0.97	7.0×10^9	1.79	0.39
5.6×10^7	1.23	0.56	3.5×10^{10}	0.80	0.87

由表 5 可知, *r* 值随食物密度的增大而增大, 当食物密度为 $2.8E+08$ ind/ml 时, *r* 值达最大为 2.07/d, 以后则随之下降。

表 5 巨大拟阿脑虫的种群自然增长率及世代时间与食物的关系

Tab. 5 The relationship between natural rate of increase, generation time and food condition

食物密度 (ind/ml)	4.5E+05	2.2E+06	1.1E+07	5.6E+07	2.8E+08	1.4E+09	7.0E+09	3.5E+10
<i>r</i> (d ⁻¹)	0.16	0.16	0.71	1.23	2.07	1.97	1.79	0.80
<i>G</i> (d)	4.33	4.33	0.98	0.56	0.33	0.35	0.39	0.86

3 讨论

迄今的研究工作表明, 纤毛虫实验种群的生长一般符合逻辑斯蒂增长曲线, 细胞在进行分裂之前都有一停滞期, 这是一个普遍存在的现象, Taylor 等(1975)从生态学角度上将

这一现象解释为纤毛虫种群对外界环境反应的一种生态策略。接种的个体在进入一新的环境中后,总是通过迅速生长以及推迟分裂时间来达到它的最大体积,一旦在达到最大体积之前食物被用完,采用这种生长方式可以保证细胞最大限度地获取食物。在体积达一定程度之后,大细胞将不停分裂直至达到种群最大数目,这样可以提高个体寻找其他食物来源的可能性,从而保证了种群的生存和繁衍。在对巨大拟阿脑虫种群生长进行观察时亦发现虫体在停滞期末期体积明显增大,而在平衡期相对较小,表现出与上述假说的一致性。

从生理学角度来讲,存在停滞期现象的另一可能的原因是种内存在着某种形式的调节(如种内信息素的分泌)(Fyda *et al.*, 1998)。实验用虫体取自已处于生长平衡期的培养,由于受环境影响此时虫体大多数已处于“繁殖休止期”,要重新进入活跃繁殖状态可能需要达到一定阈值的外界信息来激活,但由于环境中个体数量过少而导致信息不足,直至个体数目达到一定值后即信息浓度达到所需的阈值,该种才能成为优势种群而迅速进入指数增长期。实验 1.2 表明,生长停滞期时间随初始种群密度的增大而缩短。这一现象依照以上假设可以解释为种群的初始密度较高,因此只须花费较少的时间就可达到对信息的反应而进入分裂期。

实验 1.2 同时表明,种群密度所达的最大高峰值随初始种群密度值的增大而减小。初始密度为 50、100 ind/ml 的种群虽然进入指数增长期较早,但最大高峰密度(2.5d 后)仅为 4900 ind/ml、4550 ind/ml,而相反在初始密度为 1 ind/ml 及 10 ind/ml 的种群中,峰值密度反而较大,分别为 9500 ind/ml 和 7980 ind/ml。这里显然与饵料营养有关。高密度虫体的代谢活动使水质相对较早恶化,并较早面临索饵竞争问题,阻止了水体中细菌的足额繁殖,从而又限制了纤毛虫的营养获得。换言之,在低初始密度的培养中,细菌(饵料)赢得了较多的时间进行分裂繁殖,故在纤毛虫进入高峰前已有了较大的积累,从而能给培养体系提供较多的食物,以致使初始密度为 1 ind/ml 的种群反而能够达到最大种群密度。

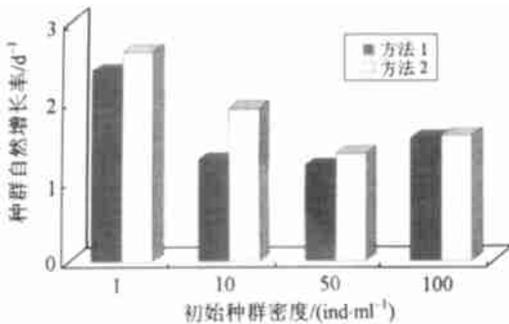


图2 两种 r 值计算方法比较

Fig. 2 Comparison of natural rates of increase calculated by two different methods

实验 1.3 结果表明,在菌液密度较低的情况下,种群生长主要受食物因子限制,故种群自然增长率随菌液密度的增加而升高,在菌液密度为 $2.8E+08$ ind/ml 时,种群自然增长率达最大值为 2.07/d;但随着菌液密度的增加,水质条件逐步恶化,对种群生长和繁殖的影响也愈加显著,故种群自然增长率在达到最大值之后,出现随之下降的现象。

纤毛虫种群自然增长率及世代时间是种群生态学研究中的重要参数

(Fenchel, 1968),对于研究水体生态系的物质循环和能量流动、种群生长与繁殖以及纤毛虫对环境胁迫的适应情况等问题都有重要意义。本研究结果表明,在其他条件都相同的情况下,不同初始密度种群的自然增长率范围是 1.19—2.38/d,世代时间为 0.29—0.58d;不同食物密度条件下的种群自然增长率范围是 0.16—2.07/d,世代时间则为 0.33—

4.33d。由此看出, 巨大拟阿脑虫实验种群在不同条件下自然增长率及世代时间有很大差异。故在研究过程中应当注意实验条件的设定, 尤其是进行种类比较时, 必须保证实验条件同质以减少误差。

在本研究中, 作者采用了两种种群自然增长率的计算方法, 因此有必要对结论的可信度进行探讨。在此需要强调的是: 在方法 1 中, 全部采用指数增长期的数据来计算 r 值。公式 $r = (\ln N_t - \ln N_0) / t$ 是由种群处于指数增长期时的数学模型推算而来的, 只有用指数增长期的数据进行回归分析计算 r 值才更为合理, 因此从理论上讲, 方法 1 更为精确。但在实际工作中, 如不考虑生长停滞期时间, 直接代入实验始末数据进行计算(方法 2) 则可大大减少工作量, 且所得结果也能较充分地反映实际状况, 故此法广为国内外学者所接受(徐润林等, 1993; Sudo *et al*, 1971)。

在实验 1.2 中, 采用方法 1 计算出初始密度为 1、10、50、100 ind/ml 的实验种群 r 值分别为 2.38、1.26、1.19、1.54/d, 其中初始密度为 1 ind/ml 的种群 r 值最大, 50 ind/ml 的最小; 采用方法 2 计算结果分别为 2.62、1.91、1.34、1.56/d, 所得结果具有很好的重复性(图 2)。此例说明简化的方法具有满意的可信度。在实验 1.3 中, 所设各实验组的初始种群密度及温度等条件均相同, 属单因子实验, 并无交互效应, 故采用简化计算方法即可得出具较高精确性和可比性的结果。

参 考 文 献

- 王 勇, 焦念志, 1999. 北黄海浮游植物营养盐限制的初步研究. 海洋与湖沼, 30(5): 512—518
- 张武昌, 王 荣, 2000. 渤海微型浮游动物及其对浮游植物的摄食压力. 海洋与湖沼, 31(3): 252—258
- 徐润林, 白庆笙, 1993. 纤毛虫世代时间与个体大小的关系. 中山大学学报(自然科学版), 32: 247—251
- 焦念志, 杨燕辉, 1999. 四类海洋超微型浮游生物同步监测. 海洋与湖沼, 30(5): 506—511
- Borror A C, 1972. Tidal marsh ciliates (Protozoa), morphology, ecology, systematics. Acta Protozool, 10: 29—72
- Czapik A, Wilbert N, 1986. Sur une nouvelle sepece de cilie *Paranqhrys carnivora* sp. n. (Scuticociliatida). Acta Protozool, 25: 427—432
- Fenchel T, 1968. The ecology of marine microbenthos III. the reproductive potential of ciliates. Ophelia, 5: 123—136
- Finlay B J, 1977. The dependence of reproductive rate on cell size and temperature in freshwater ciliated protozoa. Oecologia (Berl.), 30: 75—81
- Fyda J, Wiackowski K, 1998. Benefits and costs of predator-induced morphological changes in the ciliate *Colpidium kleini* (Protozoa, ciliophora). Europ J Protistol, 34: 118—123
- Small E B, Lynn D H, 1985. Phylum Ciliophora Doflein, 1901. In: Lee J J, Hutner S H, Bovee E C ed. Illustrated Guide to the Protozoa. Society of Protozoologists. Lawrence, Kansas, 393—575
- Sudo R, Aiba S, 1971. Growth rate of vorticellidae isolated from activated sludge. Jap J Ecol, 21: 70—76
- Taylor W D, Berger J, 1975. Growth of *Colpidium campyllum* in monoxenic batch culture. Can J Zool, 54: 392—398
- Taylor W D, 1978. Maximum growth rate, size and commonness in a community of bacterivorous ciliates. Oecologia (Berl.), 36: 263—272

**EXPERIMENTAL ECOLOGY STUDIES ON THE MARINE CILIATE
PARANOPHRYS MAGNA: EFFECTS OF DIFFERENT INITIAL
POPULATION DENSITIES AND FOOD CONDITIONS ON THE
POPULATION GROWTH**

ZHANG Shao- Li, MA Hong- Gang, SONG Wei- Bo

(The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003)

Abstract The effects of different initial population densities and food conditions on the natural rate of increase in the population (r) and generation time (G) of the marine ciliate *Paranophrys magna* (Ciliophora, Scuticociliatida) were studied using experimental ecological methods. The results revealed that (1) the relationship between the initial population density and r is negatively correlated while the G is positive (at the water temperature 22 °C the values of r varied between 1.19/d and 2.38/d corresponding to G : 0.29–0.58 d in pure cultures with the initial population densities being 1, 10, 50 and 100 ind/ml, respectively); and (2) the values of r increased with an increase in food density until it reached the maximum value ($r = 2.07/d$) when the food density was $2.8E+08$ ind/ml. Based on the results obtained from our present investigations, two different measuring methods for r were discussed; a simplified method is shown to be reliable when the initial conditions are fixed in the monofactorial experiment.

Key words *Paranophrys magna*, Natural rate of increase, Generation time, Experimental ecology