

几个试验因子对细巧华哲水蚤清滤率和滤食率的影响

陆开宏¹ 吕耀平² 林 霞¹ 郑 祯¹ 姚国琴¹

(¹ 宁波大学海洋与水产系 315211)

(² 浙江省丽水农业学校 323000)

摘要 以象山港浮游桡足类优势种细巧华哲水蚤 (*Sinocalanus tenellus*) 成体为试验动物投喂以大溪地等鞭金藻 (*Isochrysis galbana*), 对其清滤率 F (ml/个·h) 和滤食率 Q (细胞/个·h) 进行了实验测定。结果表明, 温度、海水比重、食物浓度及试验动物密度的变化对细巧华哲水蚤清滤率和滤食率均有显著影响。水温 15℃、比重 1.010、食物浓度 150 000 个细胞/ml 和试验动物密度 0.25 个/ml 的条件下, 细巧华哲水蚤滤食率达到最大。

关键词 细巧华哲水蚤, 清滤率, 滤食率, 影响因子

桡足类是水产经济动物的优质天然饵料, 在海洋生态系统的物质循环和能量流转中起着重要作用。研究桡足类摄食生态不仅有助于海洋食物链和生产力的研究, 也是海水人工育苗中确定桡足类最适培养条件的基础。因此, 自从 Fuller 和 Clarke 在 1936 年测定新月菱形藻 (*Nitzschia closterium*) 和胭脂红粉末悬浮液

中飞马哲水蚤 (*Calanus finmarchicus*) 的清滤率以来, 随着实验技术的不断发展, 已有不少国内外学者对桡足类的摄食机理和摄食生态进行过研究^[1]。

收稿日期: 2000-03-16; 修回日期: 2000-05-20

细巧华哲水蚤 (*Sinocalanus tenellus*) 是咸淡水水域中常见的桡足类优势种, 适合于人工规模培养, 但有关其摄食生态的定量研究尚未见报道。作者曾于 1999 年 3~4 月以大溪地等鞭金藻 (*Isochrysis galbana*)、三角褐指藻 (*Phaeodactylum tricornutum*)、海水小球藻 (*Chlorella* spp.)、面包酵母、有机肥和青菜汁液等为饵料, 对培养细巧华哲水蚤进行了饵料筛选试验, 证明大溪地等鞭金藻为该种的理想饵料。故本文在此基础上, 以大溪地等鞭金藻为饵, 着重研究了培养液温度、比重、食物浓度和试验动物密度等因子对细巧华哲水蚤清滤率和滤食率的影响, 并确定了最大滤食率的适宜实验条件。

1 材料与方法

实验用细巧华哲水蚤于 1999 年 4~5 月用小型浮游生物网在象山港沿岸河蟹育苗土池采得。样品带回实验室后, 用砂滤海水冲稀, 暂养于 20 cm×30 cm×40 cm 的玻璃水族箱中, 喂以适量的大溪地等鞭金藻, 室温下驯化 48 h 后用于实验。样品成体体长 ♀: 1.51±0.11 mm, ♂: 1.22±0.08 mm; 采集地水温 18±5 °C, 比重 1.010~1.016, pH 8.2~8.4。

实验方法除特殊说明外, 一般均采用 100 ml 烧杯, 内盛 80 ml 0.45 μm 膜滤的采集地天然海水, 按比例加入培养至指数生长期的大溪地等鞭金藻后, 随机放入健康活泼的试验动物 40 只, 在遮光、20 °C 恒温条件下培养 24 h。设置不同梯度的温度、比重、食物浓度和试验动物密度分别进行单因子试验和多因子正交试验, 各组均设重复瓶 3 个, 对照瓶 1 个。实验期间, 每隔 4 h 摇瓶 1 次, 使藻类均匀分布, 实验前后, 用血球计数板计数藻类浓度。清滤率和滤食率按大森信等 1990 年的公式计算, 即

$$F = \frac{V}{N} \cdot \frac{\ln C_t - \ln C_{tf}}{t}$$

$$G = \frac{V}{N} \times \frac{\ln C_t - \ln C_{tf}}{t} \times \frac{C_{tf} - C_0}{\ln C_{tf} - \ln C_0}$$

式中, F 为清滤率 (ml/个·h), 即每个试验动物每小时过滤的海水量; G 为滤食率 (细胞/个·h), 即每个试验动物每小时过滤的饵料细胞数; V 为试验溶液的体积 (ml); N 为试验动物个数; C_0 、 C_t 和 C_{tf} 分别为起始的食物浓度、对照瓶最终的食物浓度和实验瓶最终的食物浓度 (细胞/ml); t 为实验持续时间 (h)。

2 结果与讨论

2.1 温度

实验设置了 10、15、20、25 和 30 °C 等 5 个温度

组, 起始饵料浓度为 75 000 细胞/ml。结果表明, 温度变化对细巧华哲水蚤的清滤率 F 和滤食率 G 影响显著 ($P < 0.05$)。图 1 可见, 20 °C 时 F 和 G 相对较高, 分别为 0.023 7 和 0.139×10^4 , 但与 15 °C 和 25 °C 的差异不甚明显, 而 10 °C 和 30 °C 的 F 和 G 均极显著地低于其他 3 组。

适温范围内, 桡足类的摄食活动一般随温度的升高而增加, 因为温度的升高将引起动物滤食器官活动频率的提高及代谢消耗的增加^[2]。细巧华哲水蚤是一种相对耐低温种, 其生长繁殖的最适温度在 20 °C 左右, 由此推断, 其清滤率和滤食率的最高值应在 20 °C 和 25 °C 之间。但另一方面, 由于本实验的样品采自温度昼夜变化较大的小型海水池塘, 实验动物在生理上可能对环境的温度变化已有了很强的适应, 故在适温范围内 (15~25 °C), 其摄食率较为稳定。

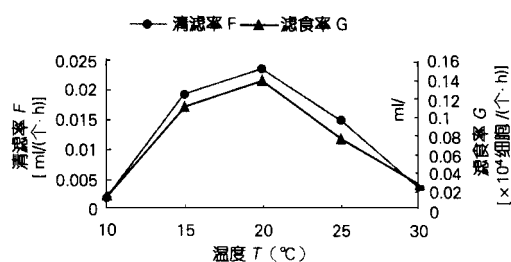


图 1 温度对细巧华哲水蚤的清滤率和滤食率的影响

Fig.1 Effect of temperature on filtering rates and grazing rates of *Sinocalanus tenellus*

2.2 比重

实验设置了 1.002、1.006、1.010、1.014、1.018 和 1.022 等 6 个比重组, 起始饵料浓度为 100 000 细胞/ml。结果表明, 比重因子对细巧华哲水蚤的清滤率 F 和滤食率 G 的影响显著 ($P < 0.05$)。图 2 可见, 越偏离采样地比重值的组别, G 值和 F 值就越低, 并在 1.002 时出现最低值, F 和 G 分别为 0.007 0 和 692; F 和 G 的最高值为 1.010 组的 0.037 9 和 0.319 3, 但统计分析表明, 1.006~1.018 范围内的差异并不明显。

水生动物在一定范围内可以通过调节水-盐代谢平衡消除与环境之间的渗透压差值, 但超过这个范围, 动物体就会出现反常, 在摄食上表现为摄食率的减少。细巧华哲水蚤在较大的低盐范围内 (1.006~1.018) 都具有较高的清滤率和滤食率, 这与它作为近

岸河口性优势种是相一致的。由于细巧华哲水蚤能适应盐度多变的河口环境,因而十分有利于近岸池塘的人工敞池培养。

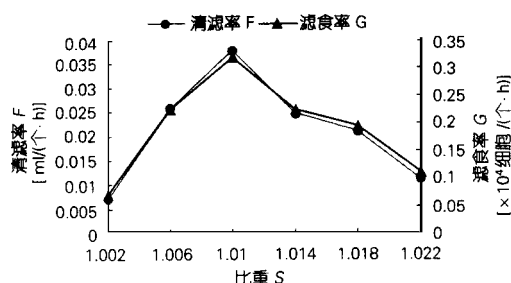


图2 比重对细巧华哲水蚤的清滤率和滤食率的影响

Fig.2 Effect of salinity on filtering rates and grazing rates of *S. tenellus*

2.3 食物浓度

实验将饵料大溪地等鞭金藻设置成如图3的7个浓度梯度,结果表明,清滤率 F 随食物浓度 C_0 的增加逐渐降低 ($0.0151 \sim 0.0052$ ml/个·h),两者呈明显的负相关;而滤食率 G 则在食物浓度 C_0 50 000 ~ 200 000 细胞/ml 范围内,随食物浓度 C_0 的增加而升高 ($0.0692 \sim 0.2083$ 细胞/个·h),食物浓度 250 000 细胞/ml 以后, G 值开始下降。食物浓度对细巧华哲水蚤的清滤率和滤食率有显著的影响 ($P < 0.05$)。

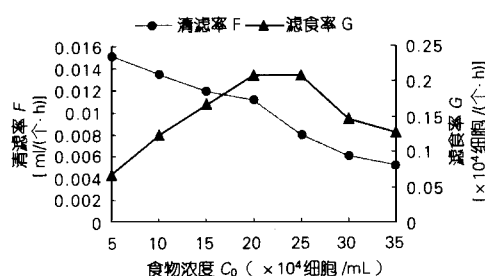


图3 食物浓度对细巧华哲水蚤清滤率和滤食率的影响

Fig.3 Effect of food concentration on filtering rates and grazing rates of *S. tenellus*

大森信等在1976年、高亚辉等在1988年和1999年^[1]曾报道过一些桡足类对不同食物颗粒密度的清滤率和滤食率的响应曲线,由于实验动物的摄食潜力和食物种类的不同,摄食率与食物浓度的相关模式有所不同,但几类桡足类的清滤率一般均随食物浓度的

增加而降低,而滤食率恰恰相反。因为食物浓度较高时,动物只需较小的清滤率即可得到足够的食物;当食物浓度增加到一定程度时,动物达到最大的摄食潜力;这时,如食物浓度进一步增加,滤食率会相对恒定,甚至出现负增长。因为食物浓度过高时,动物可能靠降低清滤率或产生假粪等方法来调节滤食率,以保证其以最经济的方式获取最合适的能量,也可能因食物颗粒堵塞桡足类的滤食结构导致滤食率的下降。由此可见,对于滤食性浮游桡足类均有一个饱和的食物浓度。实验条件下,细巧华哲水蚤摄食大溪地等鞭金藻的浓度饱和点应在 250 000 细胞/ml 上下。

2.4 实验动物密度

分别在食物浓度 C_0 为 152 000 细胞/ml 的 400 ml 试液中放入 25、50、100、200、400 和 800 个实验动物,以观察实验动物密度对细巧华哲水蚤的清滤率和滤食率的影响。结果表明,实验动物密度在 25 ~ 100 个/400 ml 范围内,清滤率 F 和滤食率 G 均较大,大于 100 个/400 ml 后, F 和 G 均呈明显下降趋势(图略),统计表明,实验动物密度对清滤率和滤食率的影响是高度显著的 ($P < 0.01$),而在动物密度 25 ~ 100 个/400 ml 范围内影响不显著。

Marshall 在 1985 年、高亚辉在 1988 年和 1990 年的工作均验证了实验动物密度对桡足类滤食率的影响,这在个体较大或运动性较强的种类中尤为突出。究其原因,除动物因过分拥挤、频繁碰撞影响其生理状态外,动物密度增加使代谢产物积累增多,溶氧减少,也能使耗氧率较高的好动型种类产生明显的不适应。细巧华哲水蚤虽然个体大小中等,但因其为浮游型运动方式,每次跳跃式游动的力量和幅度较大,故单位个体对空间的要求也相对较大。因此如个体密度超出一定范围 (> 100 个/400 ml),其滤食率会明显下降。

2.5 正交试验

在单因素试验的基础上,为进一步检验上述因素对细巧华哲水蚤滤食率的影响,利用正交表 $L_{27}(3^3)$ 安排了四因素三水平正交试验(表1),同时还考察了4个因素之间的交互作用。结果(表2)表明,在作者选定的因素和水平中,除比重对滤食率无显著影响外 ($P > 0.05$),其余各因素对实验结果的影响是显著或高度显著的,而且,温度和食物密度的交互作用对细巧华哲水蚤滤食率的影响也是显著的。并得出这样一个结论:在水温 15 °C、比重 1.010、食物浓度 150 000 个细胞/ml、试验动物密度 0.25 个/ml 的条件下,细巧华哲水蚤的滤食率达到最大。由于高的滤食率代表了动物摄食和体内代谢机能的良好状态,由此可以认为细巧华哲水蚤最大滤食率的优水平组合基本代表了其生

表 1 正交试验的因子水平

Tab.1 The table of orthogonal test factors and levels

水平	A 温度 (℃)	B 比重	C 饵料密度 ($\times 10^4$ 细胞/ml)	D 动物密度 (个/80 ml)
1	15	1.008	10	20
2	20	1.011	15	40
3	25	1.014	20	80

表 2 方差分析

Tab.2 The table of variance analysis

离差来源	离差平方和	自由度 df	均方	F 比	显著性	最优水平
A	3.206	2	1.603	3.919	*	A_1
C	3.367	2	1.684	4.116	*	C_3
$A \times C$	5.356	4	1.339	3.874	*	$A_1 C_2$
D	6.014	2	3.007	7.352	* *	D_1
$A \times D$	3.942	4	0.985	2.410		
B	0.776	2	0.388	0.949		
$A \times B$	1.103	4	0.276	0.675		
剩余	13.492	33	0.409			
总和	37.260	53				

长繁殖的适宜环境条件。

由于实验动物本身对变化的环境具有生理适应性,经过对某一特定环境一段时间的适应后,其清滤

率和滤食率可能增加^[3],因而环境对桡足类滤食率的影响不但在种间不同,而且在同种不同实验种群之间也存在差异。为比较某种桡足类摄食研究的量化指标,了解实验动物采集地的环境条件及规范实验动物的驯化条件和驯化时间是必要的。此外,由于目前国内有关桡足类滤食率的研究大都在实验室开展,且所用饵料都是单一藻类或少数几种藻类的混合,这和桡足类在自然环境中的饵料组成有很大差异,故实验结果与桡足类在自然环境

条件下滤食率变化的实际情况有一定差距。国外 Boyd, Dagg 和 Grall 等学者在 1980 年曾通过测定自然海区标本的消化道内含物变化来计算桡足类的滤食率,为桡足类能量代谢的研究提供了比较真实的背景资料。今后探讨如何利用自然海区的海水作为实验饵料,并模拟桡足类的自然生存环境进行桡足类滤食率的研究值得关注。

参考文献

- 1 高亚辉,林波.厦门大学学报(自然科学版),1999,38(5):751~757
- 2 董波等.海洋科学,1999,3:26~29
- 3 Bayne B.L. J. Exp. Biol. Ecol.,1998,219:1~19

EFFECTS OF THE EXPERIMENTAL FACTORS ON FILTERING AND GRAZING RATES OF *Sinocalanus tenellus*

LU Kai-hong¹ LU Yaoping² LIN Xia¹ ZHENG Zhen¹ YAO Guoqin¹

(¹ Department of Oceanography and Fisheries, Ningbo University, 315211)

(² Lishui Agricultural School, 323000)

Received: Mar., 16, 2000

Key Words: *Sinocalanus tenellus*, Filtering rate, Grazing rate, Affecting factors

Abstract

The effects of some factors on filtering rates (F , ml/ind $\cdot$ h) and grazing rates (G , cells/ind $\cdot$ h) of *Sinocalanus tenellus*, a dominant marine planktonic copepod in Xiangshan Harbour, were studied by feeding with the only food *Isochrysis galbana*. The results show that the effects of experiment temperature, water salinity, food concentration and copepod density on F and G are significant. It was found by orthogonal test that G of *S. tenellus* reached the maximum when the experimental factors were below: temperature 15℃, water specific gravity 1.010, food concentration 150 000 cells/ml and copepod density 0.25 ind/ml.

(本文编辑:张培新)