

东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)对中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)摄食和消化酶活性的影响^{*}

谢志浩^{1,2} 王 悠² 唐学玺²

(1. 宁波大学“应用海洋生物技术”教育部重点实验室 宁波 315211; 2. 中国海洋大学生态学研究室 青岛 266003)

提要 采用单养和混养的方法,在实验条件下研究了东海原甲藻对中华哲水蚤摄食和消化酶活性的影响。结果表明:(1) 中华哲水蚤对东海原甲藻存在一定摄食行为,藻类密度对摄食率有明显的影响。实验密度下,中华哲水蚤对东海原甲藻的最大摄食率为 930cells/(ind·h)。滤水率随着藻密度的增加而呈单一性的下降;(2) 混养条件下,中华哲水蚤对金藻和东海原甲藻的摄食率均较单养时下降,滤水率的变化与摄食率相似;(3) 不同藻密度下,昆布多糖酶活性都明显高于麦芽糖酶和纤维二糖酶的活性,而麦芽糖酶活性又稍高于纤维二糖酶的活性。与金藻相比,东海原甲藻实验组中华哲水蚤 3 种消化酶活性明显升高($P<0.05$)。

关键词 东海原甲藻, 中华哲水蚤, 摄食, 消化酶活性

中图分类号 Q958.885.3

浮游桡足类是一类小型低等甲壳动物,是海洋次级生产力的重要组成部分。作为浮游植物和较高消费者的中间连接环节在海洋生态系统中扮演着重要的角色,它们一方面直接捕食藻类等浮游植物,影响着海洋初级生产力,同时又为较高营养级消费者提供食物,在海洋浮游生物食物链中占有重要地位。中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)是我国近海及日本沿岸海的浮游动物优势种之一(Huang *et al.*, 1993; Liu *et al.*, 2002),是多种经济鱼类的主要摄食对象,目前已被列为研究黄、东海生态系统动力学的关键浮游动物种类之一。关于中华哲水蚤的分布、昼夜节律、摄食、生殖和生长已有不少报道(杨纪明, 1997; 张武昌等, 2000; 张芳等, 2001, 2002a, b; 李瑞香等, 2003),赤潮微藻对中华哲水蚤摄食和消化酶活性的影响研究,目前尚未见相关报道。东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)是东海海区引发赤潮的主要原因种之一(李瑞香等, 2003; 韩刚, 2006¹⁾),本文以中华哲水蚤为实验对象,研究了东海原甲藻不同藻密度下对其

摄食和消化酶活性的影响,以期揭示赤潮微藻对浮游动物摄食的影响机制,为海洋生态系统的物质循环和能量流动的研究提供有价值的参考资料。

1 材料与方法

1.1 实验材料

中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)采自青岛太平角,用浅水型浮游生物网沿海面水平拖曳,放于 10L 塑料桶中,20min 内返回实验室,用大口吸管将动物挑出,放入盛有灭菌海水的玻璃缸中,置于培养箱中培养。采捕时的温度为 12—14℃,暂养温度为 13℃,逐渐驯化适应至温度为 15℃。每天投喂饵料,为中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、三角褐指藻(*Phaeodactylum tricornutum*)和金藻 8701(*Isochrysis galbana* Parke 8701, 以下称金藻)组成的混合饵料,各占 1/3,总密度为 $(10—20) \times 10^4$ cells/ml。实验所用东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)、中肋骨条藻、三角褐指藻和金藻均取自中国海洋大学微藻培养室。

^{*} 新世纪优秀人才计划项目, NCET-05-0597 号; 浙江省高校优秀青年教师资助计划, 2008.12—2009.12; 宁波市自然科学基金项目, 2008A610075 号; 宁波大学人才和学科项目, RCL2008002、XK0715048 号。谢志浩, 博士, 副教授, E-mail: xiezhihao@nbu.edu.cn

1) 韩 刚, 2006. 东海大规模赤潮对中华哲水蚤和黑褐新糠虾的生态毒理学研究. 中国科学院研究生院硕士学位论文

收稿日期: 2008-02-25, 收修改稿日期: 2008-04-10

培养液采用 *f/2* 营养盐配方, 培养温度为 (20 ± 1) , 光照强度为 3000 lx, 光暗周期为 12L : 12D。取指数生长期的微藻用于实验。实验前将中华哲水蚤置于灭菌海水中饥饿 12—24h, 使之排空肠道。实验时, 挑取健康活泼的个体作为实验对象。

1.2 实验方法

1.2.1 东海原甲藻对中华哲水蚤摄食的影响 单养实验将处于指数生长期东海原甲藻和金藻分别稀释至设置密度, 混养实验按照两种藻不同接种比例进行混合(见实验结果图 1 和图 2)。实验在 150ml 烧杯中进行, 实验藻液体积为 50ml, 温度为 15 , 每个烧杯加入 5 只中华哲水蚤, 每实验组设 3 个平行样, 另设不加中华哲水蚤的对照组。用黑布将实验烧杯罩住在黑暗条件下培养 24h。采用饵料浓度差法, 24h 后计数, 鲁哥氏液固定藻液, 在显微镜下血球计数板计数并计算藻细胞密度。中华哲水蚤对于藻类滤水率 $[CR, \text{ml}/(\text{ind} \cdot \text{h})]$ 和摄食率 $[IR, \text{cells}/(\text{ind} \cdot \text{h})]$ 的计算按照 Frost(1972)的公式:

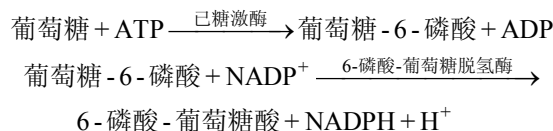
$$CR = (V/N) \times (\ln C_i \times \ln C_f) / t$$

$$IR = CR \times (C_f \times C_0) / (\ln C_f \times \ln C_0)$$

式中, CR 为滤水率 $[\text{ml}/(\text{ind} \cdot \text{h})]$, 指一定水样中浮游动物个体在单位时间内滤过的含有一定数量浮游植物的水样量; IR 为摄食率 $[\text{cells}/(\text{ind} \cdot \text{h})]$ 即为每只浮游动物单位时间内过滤的饵料细胞数; V 为实验水样体积 (ml); N 为每个实验瓶中浮游动物的个体数 (ind); C_0 、 C_i 和 C_f 分别为起始饵料密度、对照瓶中的最终饵料密度和实验瓶中的最终饵料密度 ($\times 10^4 \text{ cells/ml}$); t 为摄食时间 (h)。

1.2.2 不同饵料和密度对中华哲水蚤消化酶活性的影响 单养实验结束后, 中华哲水蚤继续在藻液中适应 3 天, 每天将烧杯底部的排泄物吸出并补充新鲜的藻液以维持藻液的密度。适应 3 天后将中华哲水

蚤挑出进行 3 种消化酶活性的分析, 即昆布多糖酶 (β -1,3-葡聚糖酶)、纤维二糖酶 (β -葡萄糖苷酶) 和麦芽糖酶 (α -葡萄糖苷酶)。选取这 3 种酶是因为在不同种类的浮游动物样品中均发现其具有较高的活性 (Mayzaud *et al.*, 1976, 1978)。消化酶活性分析参照 Hassett 等 (1982) 的方法加以改良。即每组中华哲水蚤 (3 个平行样) 在 Tris 缓冲液 (pH 8.1) 中冰浴研磨, 1500g 低温离心 10min。取上清液加入 3 种消化酶的作用底物, 即 2mg/ml 昆布多糖, 1mg/ml 纤维二糖和 5mg/ml 麦芽糖。至 20 水浴温育 1h (昆布多糖酶) 或 2h (纤维二糖酶和麦芽糖酶), 然后至 95 水浴 2min 终止反应。酶活性用每个桡足类每小时释放的葡萄糖量 $[\mu\text{g}/(\text{copepod} \cdot \text{h})]$ 来表示。葡萄糖的检测采用己糖激酶-UV 法 (HK-UV 法), HITACHI 4500 荧光分光光度计测量荧光, 即通过检测下列酶促反应生成的还原型 NADPH 来计算葡萄糖量。



2 结果与分析

2.1 单养时中华哲水蚤对东海原甲藻和金藻的摄食

从图 1 可以看出, 藻密度对中华哲水蚤的摄食均产生了一定的影响, 当东海原甲藻和金藻密度分别为 $3.00 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ 和 $11.00 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ 时, 中华哲水蚤的摄食率最大, 分别为 930 和 4658 $\text{cells}/(\text{ind} \cdot \text{h})$ 。在实验密度范围内, 2 种藻均存在一饱和密度, 低于饱和密度, 摄食率随藻密度的增加而持续升高并达到最大, 高于饱和密度, 摄食率呈下降趋势。滤水率随着藻密度的增加而呈单一性的下降。

2.2 混养时中华哲水蚤对金藻和东海原甲藻的摄食 金藻密度为 $4.13 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ 。东海原甲藻影响

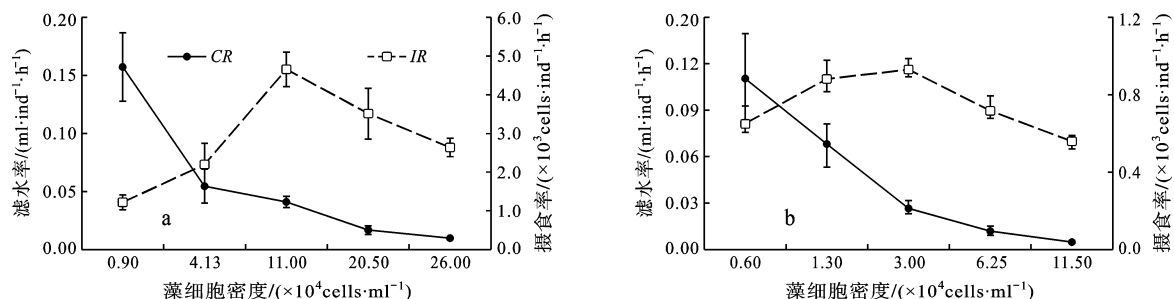


图 1 单养时不同藻密度下中华哲水蚤的摄食率和滤水率

Fig.1 The ingestion (IR) and clearance rates (CR) of *C. sinicus* at different algal cell densities in single culture
a. 金藻; b. 东海原甲藻

了中华哲水蚤对金藻的摄食, 中华哲水蚤对金藻的摄食率较单独喂养时明显下降($P < 0.05$); 摄食率随着东海原甲藻密度的增加 $[(0.60-3.00) \times 10^4 \text{ cells/ml}]$ 而增大, 但当藻密度大于 $3.00 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ 时, 摄食率又呈明显下降趋势。滤水率的变化与摄食率相似(图 2a)。中华哲水蚤对东海原甲藻的摄食率见图 2b。摄食率较单独喂养时明显下降($P < 0.05$), 藻密度为 $3.00 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ 时达到最大, 藻密度继续增加时, 摄食率呈下降趋势。滤水率的变化与单独喂养时相似, 随着藻密度的增加而下降。

金藻密度为 $11.00 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ 。东海原甲藻影响了中华哲水蚤对金藻的摄食, 中华哲水蚤对金藻的摄食率较单独喂养时明显下降($P < 0.05$), 而且显现出一定的密度效应, 摄食率随着东海原甲藻密度的增加而降低。滤水率的变化趋势与摄食率相似(图 2c)。中华哲水蚤对东海原甲藻的摄食率见图 2d。摄食率较单独喂养时明显下降($P < 0.05$), 藻密度为 3.00×10^4

cells/ml 时达到最大, 藻密度继续增加时, 摄食率呈下降趋势。滤水率的变化与单独喂养时相似, 随着藻密度的增加而下降。

金藻密度为 $20.50 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ 。中华哲水蚤对金藻的摄食率和滤水率与图 2a 相似(图 2e)。中华哲水蚤对东海原甲藻的摄食率见图 2f。摄食率较单独喂养时明显下降($P < 0.05$), 藻密度为 $6.25 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ 时达到最大, 藻密度继续增加时, 摄食率呈下降趋势。滤水率的变化与单独喂养时相似, 随着藻密度的增加而下降。

2.3 不同饵料和密度对中华哲水蚤消化酶活性的影响

不同密度的金藻和东海原甲藻对中华哲水蚤消化酶活性的影响如图 3 所示。不同藻密度下, 昆布多糖酶活性都明显高于纤维二糖酶和麦芽糖酶的活性, 而纤维二糖酶活性又稍高于麦芽糖酶的活性。随着藻密度的增加, 中华哲水蚤 3 种消化酶的活性发生了不同程度的变化; 东海原甲藻喂养条件下, 中华哲水蚤消化酶活性较金藻喂养条件下出现了明显地升高。

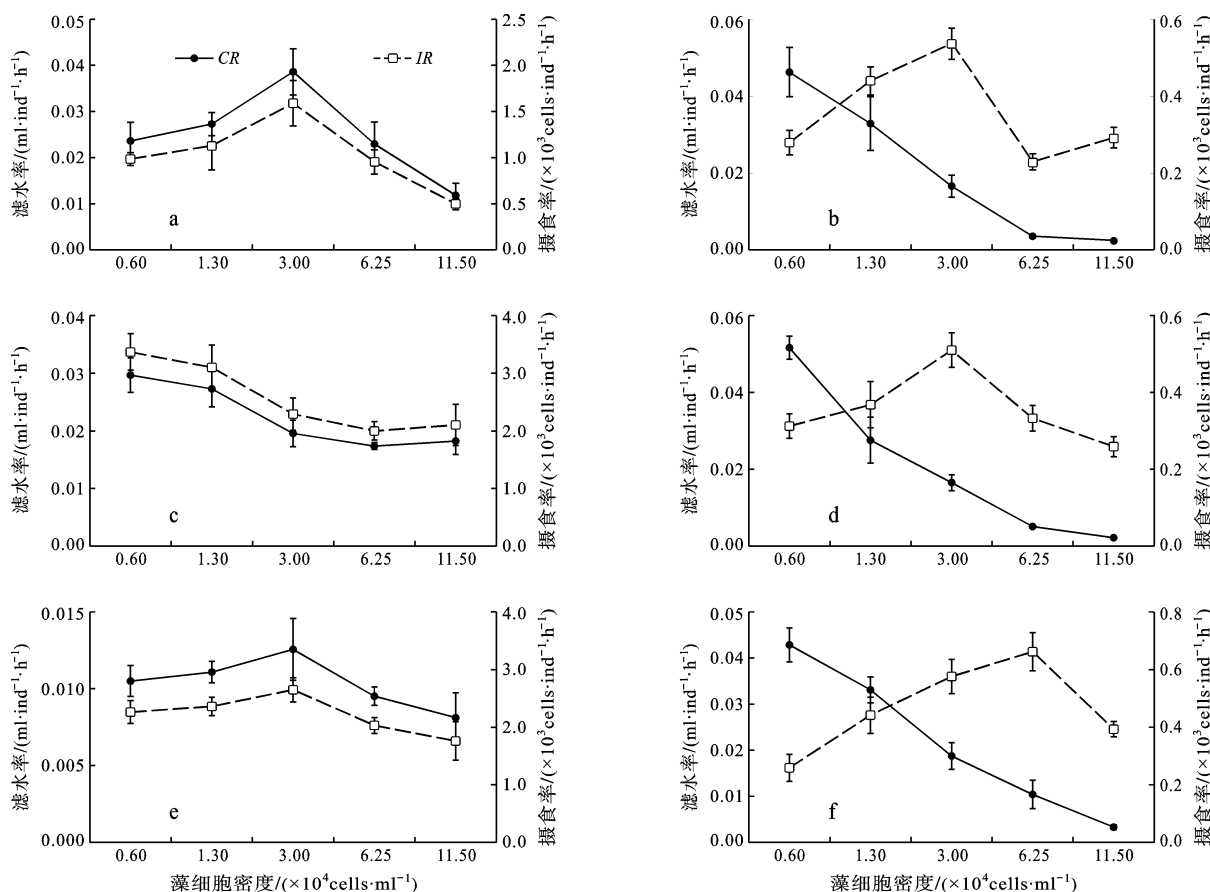


图 2 混养时不同藻密度下中华哲水蚤的摄食率和滤水率

Fig.2 The ingestion (IR) and clearance rates (CR) of *C. sinicus* at different algal cell densities in mixed cultures
a、c、e. 金藻; b、d、f. 东海原甲藻

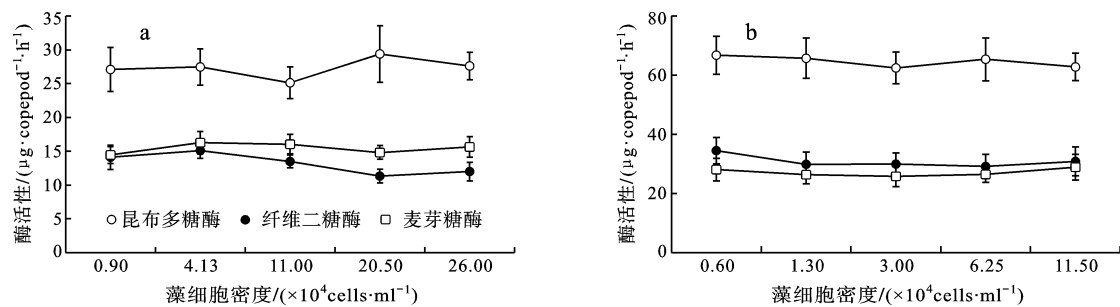


图3 不同藻密度对中华哲水蚤消化酶活性的影响

Fig.3 The effects of different algal cell densities on digestive enzyme activities of *C. sinicus*a. 金藻; b. 东海原甲藻。纵坐标的消化酶活性以每个桡足类每小时释放的葡萄糖量(μg)表示

3 讨论

饵料密度对桡足类摄食的影响研究已经有很多报道, Fuller(1937)和 Gauld(1951)认识到桡足类的摄食率与浮游植物的密度有关。已有很多研究表明,滤食性桡足类的摄食率一般随食物密度的增加而升高,而滤水率则相反(Anraku, 1964; 沈国英等, 1965; 高亚辉等, 1999)。这是由于在较高食物密度下, 桡足类只要用较小的滤水率便可得到充分的食物。而当食物密度增加到一定程度(饱和密度)后, 桡足类已经达到了最大摄食潜能, 这时食物密度再增加, 摄食率则保持在一定的水平不再升高, 或者下降(Mullin, 1963; Marshall, 1973; 江天久等, 1994; 赵文等, 2002)。

关于中华哲水蚤对饵料藻摄食的研究, 杨纪明(1997)报道了中华哲水蚤营植食性, 主要摄食硅藻类。张武昌等(2000)采用饵料浓度差法和排粪率法研究了中华哲水蚤对不同浓度青岛大扁藻(*Platymonas halgolankeca* var. *tsingtaoensis* Tseng et Chang)和新月菱形藻(*Nitzschia closterium* Ehrenb)的摄食, 发现中华哲水蚤具有很强的摄食潜力, 摄食率在实验饵料浓度范围内一直在增加, 在较低的饵料浓度下停止摄食。单养实验显示金藻密度是影响中华哲水蚤摄食的重要因子, 在一定密度范围内, 中华哲水蚤的摄食率随着金藻密度的增加而增大, 金藻密度继续增加, 摄食率又呈下降趋势, 出现了饱和摄食现象, 中华哲水蚤的滤水率随着饵料密度的增加而始终下降, 这一结果与其他学者的实验结论一致(沈国英等, 1965; Vidal, 1980; Harris, 1994)。浮游动物对赤潮微藻的摄食研究, 国内已有相关报道(孙雷等, 1993; 江天久等, 1994; 王岩等, 1999)。关于赤潮微藻对中华哲水蚤的摄食影响, 目前的报道较少。Liu 等(2002)发现中华哲

水蚤对有毒塔玛亚历山大藻的摄食率高于无毒塔玛亚历山大藻。韩刚(2006)¹⁾研究发现中华哲水蚤能摄食东海原甲藻, 但很少或基本上没有摄食米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)和链状亚历山大藻。单养实验结果显示中华哲水蚤对东海原甲藻具有一定的摄食行为, 藻密度对中华哲水蚤的摄食率具有明显影响, 在实验密度范围内, 存在中华哲水蚤较合适的摄食密度, 高于或者低于此密度, 其摄食率均明显下降。孙军等(2007)也报道了中华哲水蚤对东海有害藻华物种的选择性摄食具有食物密度依赖性。

东海原甲藻与金藻混合后, 中华哲水蚤对东海原甲藻和金藻的摄食率较单独喂养时下降或明显下降($P < 0.05$), 摄食率的变化趋势与东海原甲藻和金藻的密度密切相关。金藻密度为 $11.00 \times 10^4 \text{ cells/ml}$ 时, 东海原甲藻显著影响了中华哲水蚤对金藻的摄食($P < 0.05$), 而且显现出一定的密度效应, 即摄食率随着东海原甲藻密度的增加而下降。Fielder(1982)、Liu 等(2002)研究发现, 当饵料中混入有毒赤潮藻时, 桡足类明显排斥后者。江天久等(1994)发现链状亚历山大藻和亚心形扁藻(*Platymonas subcordiformis*)组成的混合藻液中, 刺尾纺锤水蚤(*Acartia spinicauda*)明显偏食后者。本实验中中华哲水蚤对混合饵料的摄食, 表现出明显地偏食金藻, 尽管摄食率较单养时下降, 但仍然明显高于其对东海原甲藻的摄食率。

桡足类个体小, 消化机制复杂, 对环境因子影响较为敏感, 消化酶活性受到许多因素的综合影响(汤鸿等, 1994)。从饥饿至饱和进行驯化的一系列饵料密度, 桡足类消化酶活性有不同的反应。一般认为, 实验条件下, 饥饿的桡足类, 其消化酶活性先维持恒定或提高, 而后降低; 或是持续下降(Cox et al, 1981;

1) 韩 刚, 2006. 东海大规模赤潮对中华哲水蚤和黑褐新糠虾的生态毒理学研究. 中国科学院研究生院硕士学位论文

Mayzaud *et al.*, 1985; Harris, 1986)。有学者提出“桡足类在低食物密度时维持高酶活性,是为了将来可能的摄食机会作准备”的假说(Hasset *et al.*, 1983, 1990)。由于维持较高酶活性的耗能只是基础代谢的一部分,而突遇高密度食物后的强化摄食耗能更大,因此,维持较高酶活性符合生活于食物斑块分布环境中桡足类的最适能量对策。但该假说尚未得到证实,而且也不能解释其他学者得到的消化酶活性随食物密度降低而下降的现象。

Poulet(1974)发现当桡足类以周围环境浓度被投喂自然食物微粒时,摄食率与食物丰度呈线性相关。Huntley(1981)也观察到了类似的结果。另外, Mayzaud 等(1976)发现混合种群中浮游动物消化酶活性的季节性变化与食物微粒丰度的变化呈正相关。这些发现形成桡足类摄食行为适应假说的基本原理:桡足类消化酶适应于可利用的食物丰度,因此对于食物的消化直接地和周围环境食物浓度相均衡。由于浮游动物能够适应周围环境的食物浓度,因此在高食物浓度条件下,可以达到较高的消化酶活性,从而对食物维持较高的消化率。适应假说意味着桡足类所处的食物环境将在消化酶活性上被反映出来(Cox *et al.*, 1981)。本实验结果也证实对于不同藻类和密度,摄食率和消化酶活性均产生了变化。然而,消化酶活性实验中出现了与适应假说不相一致的结果,在较低的藻细胞密度下,消化酶的活性就维持在较高水平,与高密度的酶活性相当甚至稍高一些;藻密度的变化对酶活性的影响不大,酶活性的变化相对较为平缓。实验结果显示了中华哲水蚤高酶活性和高摄食率之间的一种潜在关系:在低食物密度阶段高消化酶活性的维持可能是对将来摄食机会的一种预期。因此,如果增强摄食的潜力大于酶活性维持的能量消耗,本实验结果就与生活于食物斑块分布环境中浮游动物的能量最优化策略相一致。另外,不同食物条件下消化酶活性的差异可能与桡足类的不同生活史(迁移和非迁移)、栖息环境的食物丰度不同有关。

引发赤潮的赤潮藻种类较多,有害赤潮藻可以通过产生藻毒素或其它一些胞外分泌物对浮游动物造成影响。浮游动物吞噬有害物质后影响了消化,或者由于体内需要降解有害物质消耗能量导致其它方面的可利用能量减少。高密度的东海原甲藻可导致褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis*)繁殖力和种群数量的下降(王丽平等, 2003), 其是否产生有害物质尚未见报道。另外,食物中如果缺乏必要的多不饱和脂肪

酸就会影响浮游动物正常的生命活动(Ianora *et al.*, 1995),而赤潮爆发时往往是某些单一藻种占绝对优势,势必会造成浮游动物营养成分单一,对消化酶的活性也可能造成影响。

参 考 文 献

- 王 岩, 张鸿雁, 1999. 海水实验围隔中桡足类对海洋原甲藻摄食的研究. 应用生态学报, 10(4): 189—191
- 王丽平, 颜 天, 谭志军等, 2003. 塔玛亚历山大藻和东海原甲藻对褶皱臂尾轮虫种群数量的影响. 应用生态学报, 14(7): 1151—1155
- 江天久, 杞 桑, 1994. 广东深圳大鹏湾的桡足类腹刺纺锤水蚤对链状亚历山大藻摄食的研究. 暨南大学学报(自然科学版), 15(3): 99—105
- 汤 鸿, 李少菁, 1994. 桡足类消化酶活力的影响因子. 生态学杂志, 13(1): 45—50
- 孙 军, 王小冬, 宋书群, 2007. 春季东海中华哲水蚤对有害藻华物种的选择性摄食. 应用生态学报, 18(1): 151—157
- 孙 雷, 杞 桑, 1993. 桡足类刺尾纺锤水蚤(*Acartia spinicauda*)对海洋原甲藻(*Prorocentrum micans*)摄食的研究. 暨南大学学报(自然科学版), 14(3): 74—79
- 李瑞香, 朱明远, 王宗灵等, 2003. 东海两种赤潮生物种间竞争的围隔实验. 应用生态学报, 14(7): 1049—1054
- 杨纪明, 1997. 渤海中华哲水蚤摄食的初步研究. 海洋与湖沼, 28(4): 376—382
- 沈国英, 郑 重, 萧景霖, 1965. 几种环境因子对太平洋哲水蚤清除率和摄食率的影响. 厦门大学学报(自然科学版), 12(2): 99—100
- 张 芳, 孙 松, 2001. 中华哲水蚤生态学研究进展. 海洋科学, 25(11): 16—19
- 张 芳, 孙 松, 张光涛, 2002a. 中华哲水蚤室内产卵和孵化的初步研究. 海洋与湖沼(浮游动物研究专辑): 10—18
- 张 芳, 孙 松, 王新刚, 2002b. 温度和饵料对中华哲水蚤生长影响的初步研究. 海洋与湖沼(浮游动物研究专辑): 19—25
- 张武昌, 王 荣, 2000. 饵料浓度对中华哲水蚤摄食的影响. 海洋学报, 22(6): 88—94
- 赵 文, 宋青春, 高 放, 2002. 大连近海两种桡足类摄食生态的初步研究. 大连水产学院学报, 17(1): 8—14
- 高亚辉, 林 波, 1999. 几种因素对太平洋纺锤水蚤摄食率的影响. 厦门大学学报(自然科学版), 38(5): 751—757
- Anraku M, 1964. Some technical problems encountered in quantitative studies of grazing and predation by marine planktonic copepods. J Oceanogr Society of Japan, 20: 221—231
- Cox J L, Willason S W, 1981. Laminarinase induction in *Calanus pacificus*. Mar Biol Lett, 2: 307—311
- Fielder P C, 1982. Zooplankton avoidance and reduces grazing responses to *Gymnodinium splendens* (Dinophyceae). Limnol Oceanogr, 27: 961—965
- Frost B W, 1972. Effects of size and concentration of food particles on the feeding behavior of the marine planktonic cope-

- pod *Calanus pacificus*. Limnol Oceanogr, 17: 805—815
- Fuller J L, 1937. Feeding fate of *Calanus finmarchicus* in relation to environmental conditions. Biol Bull Mar Biol Lab, Woods Hole, 72: 233—246
- Gauld D T, 1951. The grazing rates of planktonic copepods. J Mar Biol Associate of U K, 29: 695—706
- Harris R P, 1986. Effect of algal diet on digestive enzyme activity in *Calanus helgolandicus*. Mar Ecol-Progr Ser, 11(3): 281—290
- Harris R P, 1994. Zooplankton grazing on the coccolithophorid *Emiliania huxleyi* and its role in inorganic carbon flux. Mar Biol, 119: 431—439
- Hasset R P, Landry M R, 1982. Digestive carbohydrates in marine particulate matter. Mar Biol, 2: 228—235
- Hasset R P, Landry M R, 1983. Effects of food-level acclimation on digestive enzyme activities and feeding behavior of *Calanus pacificus*. Mar Biol, 75: 47—55
- Hasset R P, Landry M R, 1990. Effect of diet and starvation on digestive enzyme activity and feeding behavior of marine copepod *Calanus pacificus*. J Plank Res, 12(5): 991—1010
- Huang C, Uye S, Onbé T, 1993. Geographic distribution, seasonal life cycle, biomass and production of a planktonic copepod *Calanus sinicus* in the inland Sea of Japan and its neighboring Pacific Ocean. J Plank Res, 15(11): 1229—1246
- Huntley M E, 1981. Nonselective, nonsaturated feeding by three calanid copepod species in the Labrador Sea. Limnol Oceanogr, 26: 831—842
- Ianora A, Poulet S A, Miralto A, 1995. A comparative study of the inhibitory effect of diatoms on the reproductive biology of the copepod *Temora stylifera*. Mar Biol, 121: 533—539
- Liu S, Wang W X, 2002. Feeding and reproductive responses of marine copepods in South China Sea to toxic and nontoxic phytoplankton. Mar Biol, 140: 595—603
- Marshall S M, 1973. Respiration and feeding in copepods. Adv Mar Biol, 11: 57—120
- Mayzaud P, Conover R J, 1976. Influence of potential food supply on the activity of digestive enzymes of neritic zooplankton. Proc 10th Eur Mar Biol Symp, 2: 415—427
- Mayzaud P, Mayzaud O, 1985. The influence of food limitation on nutritional adaptation of marine zooplankton. Archiv für hydrobiologie: Beihefte: Erge Bnisseder Limnologie, 21: 223—233
- Mayzaud P, Poulet S A, 1978. The importance of the time factor in the response of zooplankton to varying concentrations of naturally occurring particulate matter. Limnol Oceanogr, 23: 1144—1154
- Mullin M M, 1963. Some factors affecting the feeding of marine copepods of the genus *Calanus*. Limnol Oceanogr, 8: 239—250
- Poulet S A, 1974. Seasonal grazing of *Pseudocalanus minutus* on particles. Mar Biol, 25: 109—123
- Vidal J, 1980. Physioecology of zooplankton. . Effects of phytoplankton concentration, temperature and body size on the growth rate of *Calanus pacificus* and *Pseudocalanus* sp. Mar Biol, 56: 111—134

EFFECT OF *PROROCENTRUM DONGHAIENSE* ON FEEDING AND DIGESTIVE ENZYME ACTIVITY OF *CALANUS SINICUS*

XIE Zhi-Hao^{1,2}, WANG You², TANG Xue-Xi²

(1. Key Laboratory of Applied Marine Biotechnology, Ministry of Education, Ningbo University, Ningbo, 315211;

2. Marine Ecology Laboratory, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

Abstract Effect of *Prorocentrum donghaiense* on feeding and digestive enzyme activity of marine planktonic copepod *Calanus sinicus*, a key species of Yellow Sea and East China Sea, was studied using single and mixed culture methods under controlled laboratory conditions. The results show that: (1) *C. sinicus* takes some *P. donghaiense* with the maximum ingestion rate (*IR*) of 930 cells/(ind · h), and the *IR* is closely related with the microalga density. Differently, the clearance rate (*CR*) decreases monotonically with microalga density increasing during the whole experiment. (2) The *IR*s of *C. sinicus* on *Isochrysis galbana* and *P. donghaiense* in mixed cultures are lower than those of two microalga species in single culture. (3) The digestive enzyme activity of *C. sinicus* changes with microalga species and density. The activity of laminarinase is higher than those of maltase and cellobiase, and cellobiase has little lower activity than those of other two. The result also shows that the microalga species affects the digestive enzyme activity. *C. sinicus* fed with *P. donghaiense* showed relatively higher digestive enzyme activity than those fed with *I. galbana* ($P < 0.05$).

Key words *Prorocentrum donghaiense*, *Calanus sinicus*, Feeding, Digestive enzyme activity