

光照及营养盐对 3 种赤潮甲藻吞噬营养行为的影响

张淑雯, 欧林坚, 吕颂辉, 陈菊芳

(暨南大学 赤潮与水环境研究中心, 广东 广州 510632)

摘要: 通过在室内批量培养实验中添加活体藻类及荧光标记藻类(Fluorescent Labeled Algae, FLA)的方式, 研究不同光照及营养盐条件下 3 种赤潮甲藻米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)、链状亚历山大藻(*Alexandrium catenella*)及东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)的吞噬营养行为; 通过现场船基围隔实验, 研究 2010 年春季, 东海原甲藻赤潮发生时其对荧光标记的球等鞭金藻(Fluorescent Labeled *Isochrysis galbana*, FLIg)和骨条藻(Fluorescent Labeled *Skeletonema* sp., FLS)的摄食行为。结果表明, 米氏凯伦藻、链状亚历山大藻和东海原甲藻均具有吞噬营养行为, 属混合营养甲藻。米氏凯伦藻能摄食活体球等鞭金藻; 链状亚历山大藻摄食荧光标记的旋转海链藻(Fluorescent Labeled *Thalassiosira curviseriata*, FLTc)。在围隔实验前期, 东海原甲藻可对 FLIg、FLS 进行摄食, 但该摄食行为随培养时间的延长近乎消失。无论是在黑暗或是在营养盐胁迫的条件下, 仅发现极个别目标甲藻存在摄食行为, 发生摄食的概率极低; 在围隔现场, 东海原甲藻对 FLA 的摄食概率仅为 0.4%~1.4%, 表明吞噬营养并非 3 种目标甲藻的主要营养方式, 它们属于主要依赖光合自养获取营养的种类。

关键词: 甲藻; 吞噬营养; 混合营养; 荧光标记藻类(FLA)

中图分类号: P735, Q493

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2011)04-0094-06

近年来, 越来越多过去被认为完全依赖光合自养的甲藻被证实具有吞噬功能而成为混合营养生物^[1-2]。吞噬营养可能是甲藻一项重要的生理生态适应策略, 有利于甲藻在不断变化的环境条件下保持营养竞争优势, 尤其是在藻类受到光强或营养盐限制无法光合自养时, 吞噬营养可作为获取有机碳或主要限制性营养盐的补充途径^[3-5]。混合营养策略在甲藻赤潮的形成及发展过程中可能发挥重要作用, 开展赤潮甲藻吞噬营养行为的研究有助于深入了解赤潮甲藻的营养竞争策略机制, 解释某些甲藻赤潮在低营养盐浓度下爆发和长时间维持的机制^[4-6]。

东海原甲藻(*Prorocentrum donghaiense*)、米氏凯伦藻(*Karenia mikimotoi*)和链状亚历山大藻(*Alexandrium catenella*)是中国东海主要的赤潮原因种^[7]。本论文以人工培养的活体藻类和荧光标记藻类(FLA)为饵料, 研究实验室不同光照及营养盐条件下 3 种目标甲藻的吞噬营养行为, 并与东海原甲藻赤潮发生现场围隔实验中获得的东海原甲藻的吞噬营养数据进行比较, 分析 3 种赤潮甲藻的营养模式, 初步探讨吞噬营养模式对 3 种赤潮甲藻获取营养的重要性。

1 材料和方法

1.1 实验材料及培养条件

米氏凯伦藻、链状亚历山大藻、东海原甲藻及饵料藻球等鞭金藻(*Isochrysis galbana*)、骨条藻(*Skeletonema* sp.)、旋转海链藻(*Thalassiosira curviseriata*)、亚心形四片藻(*Platymonas subcordiformis*)、赤潮异弯藻(*Heterosigma akashiwo*)、微小原甲藻(*Prorocentrum minimum*)来自暨南大学赤潮与水环境研究中心藻种库。按照低/富营养盐条件设计将目标甲藻长期用灭菌 f/8 或 f/2 培养基培养, 饵料藻则都用灭菌 f/2 培养基培养, 在藻类培养至指数生长期时加入抗生素抑菌。培养条件为: 光暗周期 L:D=12:12, 光照 60 $\mu\text{E}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 温度 $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 。采用 Retiga 4000R 图像分析系统, 按照细胞的宽度

收稿日期: 2010-08-09; 修回日期: 2010-10-11

基金项目: 国家重点基础发展计划项目 (2010CB428702, 2011CB403603); 国家自然科学基金资助项目 (40806058); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目

作者简介: 张淑雯(1985-), 女, 广东佛山人, 硕士研究生, 主要从事海洋微藻营养生理研究, E-mail: shuwen0626@163.com; 欧林坚, 通信作者, 主要从事海洋微藻的生理生态学研究, E-mail: torangeou@jnu.edu.cn

和深度相等的原则^[8], 根据 Hillebrand^[9]建立的公式计算细胞体积, 并将体积转换成单位细胞碳含量^[10]。

按 Rublee & Gallegos 的方法制备 FLA^[11]。包括有荧光标记的球等鞭金藻(FLIg)、骨条藻(FLS)及旋转海链藻(FLTc), 冷冻保存备用。

1.2 有/无光照及低/富营养盐条件下 3 种赤潮甲藻对活体饵料藻的摄食

将 3 种目标甲藻分别接种至 f/2(富营养)及 f/8(低营养)培养基中, 待目标甲藻生长至指数生长期, 取 10 mL 目标甲藻到 50 mL 的锥形瓶, 根据碳生物量相当的原则, 分别加入一定数量处于指数生长期的 3 种饵料藻进行混合培养, 若未发现甲藻吞噬行为, 则相对提高添加的饵料藻浓度(表 1)。其中一组实验在正常光照条件下进行, 另一组则采用黑暗培养, 每组两个平行, 4~6 h 后, 取一定体积的藻液, 在正置荧光显微镜(Olympus BX61)的明场模式下观察甲藻是否有摄食现象, 并计算摄食入细胞内的饵料藻的数目, 每个样品观察细胞数 > 200 个。采用图像分

析系统拍摄有吞噬营养行为的目标甲藻。实验中, 采用 DAPI(4', 6'-diamidino-2-phenylindole)染色样品, 在荧光显微镜紫外激发光波段($E_x = 306 \sim 370$ nm, $E_m > 420$ nm)下观察, 基本排除细菌的影响。

1.3 有/无光照及低/富营养盐条件下 3 种赤潮甲藻对 FLA 的摄食

取 10 mL 上述 f/2 和 f/8 培养基中培养的目标甲藻到 50 mL 的锥形瓶(目标甲藻的起始浓度如表 1), 分别向实验瓶中添加 FLIg、FLS 和 FLTc(f/2 培养条件下饵料藻的终密度分别为 2×10^6 , 0.8×10^6 和 1×10^6 个/mL, f/8 低营养条件下 FLA 的添加量减半), 同样设置两组实验, 一组是在正常光照下培养, 另一组实验黑暗培养, 每组设两个平行。4~6 h 后, 分别取一定体积的藻液, 在荧光显微镜的明场及蓝光波段($E_x = 460 \sim 495$ nm, $E_m > 510$ nm)下切换观察目标甲藻是否具有摄食行为, 并计算摄食入甲藻细胞里的 FLA 个数, 观测细胞数 > 200 个。实验中, 采用 DAPI 染色样品, 在荧光显微镜紫外激发光波段下观察, 基本排除细菌的影响。

表 1 实验藻种的体积、碳含量及起始密度

Tab. 1 Volume, carbon biomass, and initial concentrations of species tested

藻种	体积 (μm^3)	碳含量 (pg/个)	起始密度(个/mL)	
			f/2 培养基	f/8 培养基
米氏凯伦藻(甲藻)	$8\,809.6 \pm 398.0$	$1\,283.68 \pm 47.87$	8 315	8 000
链状亚历山大藻(甲藻)	$9\,486.6 \pm 456.4$	$1\,363.01 \pm 53.64$	8 500	7 160
东海原甲藻(甲藻)	818.9 ± 44.6	182.80 ± 8.23	1.3×10^5	1.3×10^5
球等鞭金藻(金藻)	60.6 ± 4.4	10.92 ± 0.69	$2.0 \times 10^6 \sim 3.0 \times 10^6$	$0.6 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^6$
旋转海链藻(硅藻)	220.2 ± 12.9	22.59 ± 1.08	$7.0 \times 10^5 \sim 8.0 \times 10^5$	$2.0 \times 10^5 \sim 6.0 \times 10^5$
骨条藻(硅藻)	482.5 ± 35.3	42.44 ± 2.50	$5.0 \times 10^5 \sim 6.0 \times 10^5$	$1.0 \times 10^5 \sim 5.0 \times 10^5$
亚心形四片藻(绿藻)	500.44 ± 26.5	73.69 ± 3.67	3.1×10^5	5.84×10^5
赤潮异弯藻(甲藻)	843.3 ± 49.1	120.21 ± 6.58	1.8×10^5	1.04×10^5
微小原甲藻(甲藻)	$1\,005.7 \pm 45.13$	217.02 ± 8.02	5.5×10^5	5.3×10^5

1.4 东海赤潮高发区现场船基围隔实验中东海原甲藻对荧光标记藻类的摄食

2010 年春季, 在东海长江口邻近海域发生了大面积的东海原甲藻赤潮。5 月 11 日, 取东海原甲藻赤潮中心区域 Rb16 测站($123^\circ 17.95' \text{ E}$, $30^\circ 1' \text{ N}$)的表层海水进行现场船基围隔实验, 实验周期为 10 天。共设 6 个围隔袋(M1~M6), 每个围隔袋水体积大约为 700 L, 其中 M1 为对照袋, M2、M3 及 M6 在实验起始时一次性加入不同浓度的硝酸盐($\text{NO}_3 - \text{N}$)、磷

酸盐($\text{PO}_4 - \text{P}$)和尿素, M4 和 M5 则是每天早上 8: 30 分次加入营养盐(如表 2 所示)。实验期间, 利用水泵将现场海水抽入帆布袋内作为循环水, 以保持围隔袋内水温与现场海水一致。在现场每天测定围隔袋中的 Chla 值, 分别在实验进行的第 2、5 和 8 天(分别代表东海原甲藻藻华的指数生长期、平稳期、衰亡期)进行东海原甲藻对 FLA 的摄食实验。

取 500 mL 水样, 经 $120 \mu\text{m}$ 筛绢过滤后分装到 3 个 300 mL 的聚乙烯瓶中, 置于现场表层海水的水浴中培养 30 min, 使瓶中温度接近于表层海水水温,

分别在瓶中加入 FLIg 和 FLTc(终密度约为 2.0×10^4 个/mL), 另外一组不加 FLA 作对照, 黑暗中培养 4 h。取 20 mL 样品, 依次加入鲁格试剂(终浓度 0.5 %)、福尔马林(终浓度 3 %)及硫代硫酸钠溶液(终浓度 0.1 %)进行固定^[12]。放在 4 °C 冰箱保存 4 h 使细胞变硬。

表 2 围隔实验中添加的营养盐量

Tab. 2 Concentrations of nutrients added in mesocosms

实验组	营养盐($\mu\text{mol/L}$)		
	NO ₃ -N	尿素	PO ₄ -P
M1	—	—	—
M2	32	—	1
M3	32	—	2
M4	2/D	—	0.1/D
M5	2/D	—	0.2/D
M6	—	10	2

注: “—”表示未添加。M2、M3 和 M6 在实验起始时一次性加入营养盐, M4 及 M5 则是每天早上 8:30 分别加入营养盐

在低负压条件下将样品过滤至 8 μm 孔径的黑膜上。在样品快过滤完时, 加入 1 mL 的 DAPI, 终浓度为 25 mg/L, 摇匀, 黑暗培养 10 min, 将藻液滤干。滤膜在 -20 °C 冷冻保存, 带回实验室镜检。观察时先在荧光显微镜的紫外波段下确定为东海原甲藻, 在蓝光激发波段下观测原甲藻是否存在吞噬 FLA 的现象。

2 结果与分析

2.1 有/无光照及低/富营养盐条件下 3 种赤潮甲藻对活体饵料藻的摄食

无论是在富营养的 f/2 培养基还是低营养的 f/8 培养基, 也无论是正常光照条件还是黑暗条件, 在添加入活体饵料藻的 4~6 h 后, 在显微镜下观测到 3 种目标甲藻的生理活性良好, 在显微镜视野下快速游动。

在不同培养条件的实验组中, 分别跟踪观测混合培养的 3 种目标甲藻的摄食行为。但仅在富营养的 f/2 及正常光照条件下, 观测到 1 个游动中的米氏凯伦藻细胞内部摄食有 2 个球等鞭金藻, 在黑暗及低营养条件下未发现目标甲藻有吞噬营养行为, 表明米氏凯伦藻具有吞噬营养行为, 但发生摄食的概率极低, 是一偶然现象。增大饵料藻的密度, 未观测到 3 种目标甲藻的吞噬营养行为。

2.2 有/无光照及低/富营养盐条件下 3 种赤潮甲藻对 FLA 的摄食

无论是何种培养条件, 添加入 FLIg、FLS 和 FLTc 的 4~6 h 后, 在显微镜下观测到东海原甲藻、链状亚历山大藻和米氏凯伦藻在视野下快速游动, 表明生理状态良好。

研究结果发现, 富营养的 f/2 培养基条件下, 链状亚历山大藻在正常光照及黑暗下均有摄食 FLTc 的现象, 观察 > 200 个细胞, 仅各观测到 1 个游动的链状亚历山大藻细胞摄食 2~3 个 FLTc, 表明摄食概率低。实验中未观测到链状亚历山大藻对 FLIg 和 FLS 的摄食, 也未观测到东海原甲藻或米氏凯伦藻对 FLA 的任何摄食。

低营养的 f/8 培养基中, 无论是正常光照还是黑暗条件下, 均未观测到 3 种目标甲藻对 FLA 的摄食。



图 1 游动中的米氏凯伦藻摄食活体球等鞭金藻

Fig. 1 A swarming *Karenia mikimotoi* ingested two live *Isochrysis galbana*

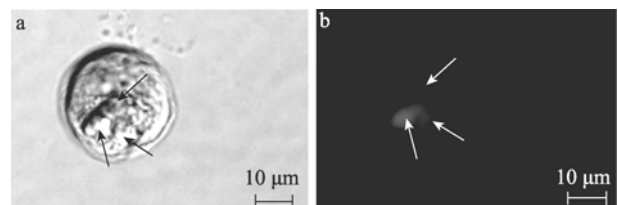


图 2 荧光显微镜下链状亚历山大藻对荧光标记海链藻的摄食

Fig. 2 The ingestion of fluorescent labeled *Thalassiosira curviseriata* by *Alexandrium catenella* under epifluorescence microscopy

a. 明场; b. 蓝光波段

a. Bright field; b. Blue-set field

2.3 东海赤潮高发区现场船基围隔实验中
东海原甲藻对 FLA 的摄食

实验早期, 6 个围隔袋中均发现东海原甲藻对 FLIg 的摄食; 而仅在未添加营养盐的 M1 和每天仅添加微量营养盐的 M4 中, 发现东海原甲藻对 FLS 具有摄食(表 3)。东海原甲藻摄食 FLIg 的数量为 1~

4 个, 而一般只摄食 1 个 FLS(图 3), 这可能与多数骨条藻为长链结构, 较难吞噬有关。在观测的 500 个细胞中, 仅 2~7 个东海原甲藻细胞具有摄食行为, 摄食概率 0.4%~1.4 %。

而在实验的中后期, 即东海原甲藻藻华的发展及衰亡阶段, 各围隔袋中均未观测到东海原甲藻的

表 3 围隔实验中东海原甲藻对荧光标记藻类的摄食

Tab. 3 Feeding occurrences of *Prorocentrum donghaiense* on fluorescent labeled *Isochrysis galbana* (FLIg) and *Skeletonema* sp. (FLS)

实验组	观察细胞数(个)	摄食细胞数(个)					
		前期		中期		后期	
		FLIg	FLS	FLIg	FLS	FLIg	FLS
M1	500	3	2	N	N	N	N
M2	500	7	N	N	N	N	N
M3	500	2	N	N	N	N	N
M4	500	4	2	N	N	N	N
M5	500	1	N	N	N	N	N
M6	500	3	N	N	N	N	N

注: 表中数字表示观测到有摄食行为的东海原甲藻个数, “N”表示未发现

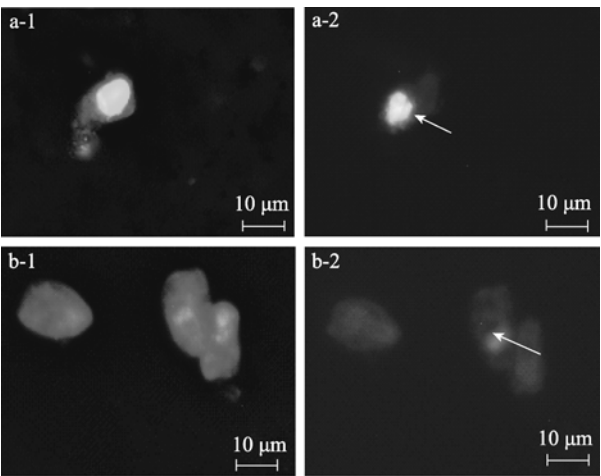


图 3 荧光显微镜下东海原甲藻对荧光标记金藻(a)和骨条藻(b)的摄食

Fig. 3 The ingestion of fluorescent labeled *Isochrysis galbana* (a) and *Skeletonema* sp. (b) by *Prorocentrum donghaiense* under epifluorescence microscopy

1.紫外波段; 2.蓝光波段

摄食行为。

3 讨论

在室内实验中, 首次发现米氏凯伦藻对球等鞭金藻, 链状亚历山大藻对旋转海链藻具有摄食行为;

且通过现场船基围隔实验, 发现东海原甲藻在赤潮发生时, 对荧光标记的球等鞭金藻和骨条藻具有摄食行为, 这一结果丰富了赤潮甲藻的吞噬营养行为的研究。此前, 尚未见米氏凯伦藻吞噬营养行为方面的任何报道。有研究认为链状亚历山大藻具有食物泡结构且能摄食细菌、蓝细菌等原核生物, 为混合营养生物^[13-14], 但报道链状亚历山大藻摄食真核生物尚属首次。东海原甲藻和中肋骨条藻是东海海区的两个重要的赤潮藻种^[15-16], Yoo 等^[17]在实验室内发现, 东海原甲藻能摄食中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)。本文首次在东海原甲藻赤潮发生现场, 观测到东海原甲藻对球等鞭金藻和骨条藻的摄食。

Jeong 的研究团队认为, 多数自养甲藻都可能具有吞噬营养的行为和能力, 且这种吞噬行为非常普遍^[17-18]。其研究结果表明, 处于指数生长期的东海原甲藻、海洋原甲藻在富营养的 f/2 条件下对中肋骨条藻的摄食率可分别达到 0.5 和 3.1 cells/(dinoflagellate·d)^[17]。然而, 从本室内研究发现, 无论是在黑暗或是在营养盐胁迫的条件下, 3 种目标甲藻的摄食概率都非常低。虽然不排除目标甲藻对饵料藻的种类及粒径的选择性问题^[19-20](本文选取不同门类、易被摄食的较小粒径及海区常见种类), 本研究结果认为目标甲藻虽具有吞噬营养的行为及能力, 但主要还是依赖光合自养方式获取营养盐。也可能存在一种

解释就是,在室内长期富营养和光照充足的培养条件下,目标甲藻的吞噬营养能力已经减弱甚至丧失,造成实验中对甲藻吞噬行为及其重要性的低估。

围隔实验中海原甲藻摄食概率数据支持了室内研究的结果。实验前期,东海原甲藻可以摄食 FLI_g 和 FLS,但是发生摄食的概率仅达到 0.4%~1.4%,表明即使在营养盐胁迫的条件下,光合自养仍然是东海原甲藻主要获取营养盐的方式。有趣的是,在围隔实验的中后期,东海原甲藻在营养盐胁迫加重的情况下,却未发生摄食行为,该原因是否与不同生长时期东海原甲藻具有不同的营养竞争模式及策略,或一旦进入人工培养状态甲藻即丧失吞噬营养行为有关,尚有待进一步研究。

4 结论

在富营养的正常光照条件下,观测到 1 个米氏凯伦藻摄食球等鞭金藻;在富营养培养的正常光照及黑暗条件下,各观测到 1 个链状亚历山大藻摄食旋转海链藻。2010 年 5 月,在东海原甲藻赤潮发生现场的船基围隔实验中,前期发现东海原甲藻能摄食球等鞭金藻及骨条藻,但发生摄食的概率也仅为 0.4%~1.4%,且随着培养时间的延长吞噬行为消失。该研究结果表明,虽然东海原甲藻、米氏凯伦藻和链状亚历山大藻具有吞噬营养行为,为混合营养生物。但无论是在黑暗或是营养饥饿的条件下,3 种目标藻发生吞噬营养的概率都非常低,是属于主要依赖光合自养获取营养的种类。

致谢:现场围隔实验获得国家海洋局第一海洋研究所孙萍老师的大力帮助,在此表示诚挚感谢。

参考文献:

- [1] Glibert P M, Burkholder J M, Kana T M, et al. Grazing by *Karenia brevis* on *Synechococcus* enhances its growth rate and may help to sustain blooms [J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2009, 55: 17-30.
- [2] Jeong H J, Yoo Y D, Kim J S, et al. Growth, Feeding and ecological roles of the mixotrophic and heterotrophic dinoflagellates in marine planktonic food webs [J]. *Ocean Science Journal*, 2010, 45(2): 65-91.
- [3] Skovgaard A, Hansen P J, Stoecker D K. Physiology of the mixotrophic dinoflagellate *Fragilidium subglobosum*. I. Effects of phagotrophy and irradiance on photosynthesis and carbon content [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, 201: 129-136.
- [4] Stoecker D, Tillmann U, Granéli E. Phagotrophy in harmful algae [C]// Granéli E, Turner J T. *Ecology of Harmful Algae*. Berlin:Springer-Verlag, 2006: 189: 177-187.
- [5] Burkholder J M, Glibert P M, Skelton H M. Mixotrophy, a major mode of nutrition for harmful algal species in eutrophic waters [J]. *Harmful Algae*, 2008, 8: 77-93.
- [6] Smayda T J, Reynolds C S. Strategies of marine dinoflagellate survival and some rules of assembly [J]. *Journal of Sea Research*, 2003, 49: 95-106.
- [7] 周名江, 朱明远. 我国近海有害赤潮发生的生态学、海洋学机制及预测防治研究进展 [J]. *地球科学进展*, 2006, 21(7): 673-679.
- [8] Verity P G, Robertson C Y, Tronzo C R, et al. Relationships between cell volume and the carbon and nitrogen content of marine photosynthetic nanoplankton [J]. *Limnology and Oceanography*, 1992, 37: 1434-1446.
- [9] Hillebrand H, Diersen D, Kirschtel U, et al. Bio-volume calculation for pelagic and benthic microalgae [J]. *Journal of Phycology*, 1999, 35: 403-424.
- [10] Deuer M S, Lessard E J. Carbon to volume relationships for dinoflagellates, diatoms, and other protist plankton [J]. *Limnology and Oceanography*, 2000, 45(3): 569-579.
- [11] Rublee P A, Gallegos C L. Use of fluorescently labelled algae(FLA) to estimate microzooplankton grazing [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1989, 51: 221-227.
- [12] Sherr F B, Sherr E B, PedrosAlio C. Simultaneous measurement of bacterioplankton production and protozoan bacterivory in estuarine water [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1989, 54: 209-219.
- [13] Jeong H J, Park J Y, Nho J H, et al. Feeding by red-tide dinoflagellates on the cyanobacterium *Synechococcus* [J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2005, 41: 131-143.
- [14] Jeong H J, Yoo Y D, Park J Y, et al. Feeding by phototrophic red-tide dinoflagellates: five species newly revealed and six species previously known to be mixotrophic [J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2005, 40: 133-150.
- [15] 赵冉, 孙军, 白洁. 2006 年秋季长江口及其邻近水域浮游植物群集 [J]. *海洋科学*, 2010, 34(4): 32-39.
- [16] 邓光, 耿亚洪, 胡鸿钧, 等. 几种环境因子对高生物量赤潮甲藻—东海原甲藻光合作用的影响 [J]. *海洋科学*, 2009, 33(12): 34-39.
- [17] Yoo Y D, Jeong H J, Kim M S, et al. Feeding by Phototrophic red-tide dinoflagellates on the ubiquitous marine diatom *Skeletonema costatum* [J]. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 2009, 56(5): 413-420.
- [18] Jeong H J, Park J Y, Nho J H, et al. Feeding by red-tide dinoflagellates on the cyanobacterium *Synechococcus* [J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2005, 41: 131-143.
- [19] Jeong H J, Yoo Y D, Seong K A, et al. Feeding by the mixotrophic red-tide dinoflagellate *Gonyaulax polygramma*: mechanisms, prey species, effects of prey concentration, and grazing impact [J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2005, 38: 249-257.
- [20] Sheng J, Malkiel E, Katz J, et al. A dinoflagellate exploits toxins to immobilize prey prior to ingestion [J]. *PNAS*, 2010, 107(5): 2082-2087.

Effects of light and nutrients on the phagotrophic behaviors of three harmful dinoflagellates

ZHANG Shu-wen, OU Lin-jian, LÜ Song-hui, CHEN Ju-fang

(Research Center for Harmful Algae and Aquatic Environment, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Received: Aug., 9, 2010

Key words: Dinoflagellate; phagotrophy; mixotrophy; fluorescent labeled algae (FLA)

Abstract: The effects of light and nutrients on the phagotrophic behaviors of three red-tide dinoflagellates (*Karenia mikimotoi*, *Alexandrium catenella*, and *Prorocentrum donghaiense*) were studied by adding live algae and fluorescent labeled algae (FLA) in the batch culture experiments. During the bloom period in the spring of 2010, the phagotrophic behavior of *P. donghaiense* on fluorescent labeled *Isochrysis galbana* (FLIg) and *Skeletonema* sp. (FLS) was inspected in the mesocosm experiment on board. Results showed that *K. mikimotoi*, *A. catenella*, and *P. donghaiense* could ingest cells, belonging to the mixotrophic organisms. *K. mikimotoi* could ingest live *I. galbana* and *A. catenella* could ingest fluorescent labeled *Thalassiosira curviseriata* (FLTc). In the prophase of the mesocosm experiment, *P. donghaiense* could ingest FLIg and FLS, but the behavior disappeared along with time. However, in the darkness or under the nutrient-deficient conditions, only little amount of dinoflagellates were found to ingest cells. The ingestion frequencies of *P. donghaiense* on FLA were only 0.4%~1.4 % in the mesocosm experiment *in situ*. These results indicate that although these three species are mixotrophic dinoflagellates, autotrophy rather than phagotrophy might play an important role in acquiring nutrients.

(本文编辑: 张培新)

(上接第 93 页)

The ecological basis for legal institutions for sustainable fishery resources

TIAN Qi-yun

(Law and Politics School of Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Received: Mar., 9, 2009

Key words: marine fishery resources; legal institutions of marine fishery resources' restoration; ecological laws; ecological benefits

Abstract: I attempted to analyze Ecology and Law with interdisciplinary analysis, and to approach the Ecological basis of legal institutions of sustainable fishery resources. Abiding by ecological laws and selecting process-oriented recovery mode in the design of legal institutions of marine fishery resources' restoration can improve the feasibility of the legal system. Based on in-depth analysis of the license management of marine resources of the fair distribution, technical laws, and regulations on fishery resources for the ecological control of the recovery process, and the dispute settlement mechanism on the concerns of marine ecosystems, I points out that legal institutions of marine sustainable fishery resources has the intrinsic motivation of restoring marine fishery resources, preservation of the marine ecological balance, and getting a good ecological benefits.

(本文编辑: 刘珊珊)