

龙须菜对锥状斯氏藻抑制作用的机制

张善东^{1,2,3}, 宋秀贤¹, 曹西华¹, 俞志明^{1*}

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室, 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所, 烟台 264003)

摘要: 实验室条件下研究了共培养体系中龙须菜(*Gracilaria lemaneiformis*)对锥状斯氏藻(*Scrippsiella trochoidea*)生长的影响, 并对其作用机制进行了初步探讨. 结果显示, 当龙须菜起始生物量为 $0.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 在彼此隔离的共培养体系中, 锥状斯氏藻的生长受到明显的抑制, 与对照组相比, 细胞最大密度降低并且对数生长期缩短; 但这种抑制作用明显弱于在藻体直接接触的共培养体系中的抑制作用, 说明藻体直接接触所产生的克生作用是导致龙须菜对锥状斯氏藻抑制作用的主要原因. 当龙须菜起始生物量为 $0.2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 对隔离共培养体系中的锥状斯氏藻胞内营养盐含量的测定结果显示, 单独培养组锥状斯氏藻胞内硝酸盐含量是共培养组的 1.5 倍, 说明龙须菜能够通过竞争性吸收环境中的硝酸盐来降低锥状斯氏藻胞内硝酸盐的储存含量, 从而有效抑制其生长.

关键词: 龙须菜; 锥状斯氏藻; 共培养体系; 胞内硝酸盐; 竞争机制

中图分类号: X17; X55 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)08-2291-05

Inhibitory Effect of *Gracilaria lemaneiformis* (Bory) Weber Bosse on the Co-cultured *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich III Under Controlled Laboratory Conditions

ZHANG Shan-dong^{1,2,3}, SONG Xiu-xian¹, CAO Xi-hua¹, YU Zhi-ming¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecology & Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Abstract: The inhibitory effects of *Gracilaria lemaneiformis* on the co-cultured *Scrippsiella trochoidea* were determined under controlled laboratory conditions, and the possible mechanism was studied. Results showed that: ① in the separating *S. trochoidea*-*G. lemaneiformis* co-culture system when the initial cell density of *G. lemaneiformis* was set at $0.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, the growth of *S. trochoidea* was obviously inhibited and its maximum cell density and exponential phase were decreased compared with the control; however, the inhibitory effect was not as strong as that in the direct cell-cell contact co-culture. Result showed that allelopathy basing on the direct cell contact was the most possible reason leading to the observed result; ② when the initial cell density of *G. lemaneiformis* was set at $0.2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ in the direct cell-cell contact co-culture, the intracellular nitrate concentration of *S. trochoidea* in monoculture system was 1.5 times of that in co-culture. It seemed that *G. lemaneiformis* could competitively absorb the environmental nitrate and ultimately led to the decrease of the stock of intracellular nitrate of *S. trochoidea*.

Key words: *Gracilaria lemaneiformis*; *Scrippsiella trochoidea*; co-culture system; intracellular nitrate; competitive mechanism

利用现存于海洋环境中的天然生物因子进行赤潮的生物调控是目前赤潮研究的热点. 大型海藻是其中一类重要的生物调控因子, 它不仅能快速吸收水体中的营养盐, 从而有效净化水质, 减轻水体的富营养化程度, 而且能通过光合作用产生 O_2 , 对富营养化海域具有良好的生物修复作用, 同时又具有较高的经济价值^[1], 是一种极具潜质的赤潮防控新方法.

有关大型海藻抑制赤潮微藻生长的研究已有许多报道. Marshall 等^[2]发现, 只有在大型海藻生物量较低的海区才有可能暴发微藻赤潮; 在威尼斯泻湖的某些区域, 微藻只有在大型海藻衰败或者收获之

后才会大量繁殖^[3]. 进一步的研究发现, 海藻能够通过不同的途径影响微藻的生长, Hogetsu 等^[4]发现, 大藻分泌的克生类化合物能够抑制其他藻类的生长, 并首次提出利用大藻的克生作用作为微藻生长控制手段的观点; 最近的研究表明, 孔石莼可以分泌一些克生类化合物, 抑制共培养体系中的赤潮异弯藻、塔玛亚历山大藻、东海原甲藻等微藻的生

收稿日期: 2007-08-14; 修订日期: 2007-11-15
基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-232, KZCX2-YW-208); 国家自然科学基金重点项目(50339040)
作者简介: 张善东(1980~), 男, 博士, 主要研究方向为有害赤潮的生物防治, E-mail: sdzhang@yic.ac.cn
* 通讯联系人, E-mail: zyu@ms.qdio.ac.cn

长^[5-7]. Smith 等^[8]在旧金山湾河口围隔实验中则认为,对无机氮盐的竞争性吸收可能是造成石莼限制微藻生物量的主要原因; Satoshi 等^[9]也发现大型海藻可以通过对营养盐的竞争性吸收来抑制其培养环境中蓝藻的生长.

本实验室前期的研究已经发现^[10],在实验生态条件下龙须菜可显著抑制锥状斯氏藻的生长:在龙须菜的起始生物量较低时($0.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,以鲜重计,下同),其对锥状斯氏藻抑制主要通过营养竞争途径,而当龙须菜起始生物量相对较高($0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)时,互荫效应、克生作用以及细胞的直接接触等均是导致抑制作用的可能原因.本研究在前期工作的基础上,以共培养过程中胞内营养盐的变化为切入点,对龙须菜对锥状斯氏藻的作用机制进行了进一步的探讨.

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验中所有玻璃容器均经清洗,用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 HCl 浸泡 24 h 后用双蒸水漂洗, 120°C 高温灭菌后用以后续实验.

龙须菜和锥状斯氏藻均取自中国科学院海洋研究所藻种库.龙须菜在实验前需用毛笔轻刷去除藻体附着物.二者的培养温度均为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$,照度为 $3\,000 \text{ lx}$,光暗比为 $12 \text{ h}:12 \text{ h}$.实验用海水为经过滤、消毒的自然海水,用已灭菌的 KNO_3 和 KH_2PO_4 溶液调整 N、P 浓度.微量元素和维生素参照 f/2 配方^[11].培养液 pH 值为 8.2,盐度为 30.

1.2 共培养实验体系的建立

图 1 为本实验所用的隔离装置示意. 2 L 玻璃烧杯中放入 1 个切除相对两面 $1/4$ 面积的横向中空塑料管,塑料管外包以 $20 \mu\text{m}$ 孔径的筛绢,其目的在于使筛绢内外培养液可以相互流通,而龙须菜与锥状斯氏藻彼此隔离.在本装置中注入营养液,使其总体积为 1 L,并预先补充 NO_3^- $50 \mu\text{mol}$, PO_4^{3-} $3.3 \mu\text{mol}$,其余营养盐按 f/2 配方添加.实验时将龙须菜均放入外包筛绢的塑料管内培养液中,将处于对数生长期的锥状斯氏藻接入塑料管外烧杯内培养液中,建立龙须菜—锥状斯氏藻共培养体系,光照培养箱中培养.

共培养体系中,龙须菜起始密度为 $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,锥状斯氏藻的起始密度为 $4.5 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$,实验以相同条件下单独培养的锥状斯氏藻为对照组.实验中每隔 24 h 取样,血球计数板计数,按公式(1)计

算其对数生长期内的生长率,观察龙须菜对锥状斯氏藻生长的影响.每组设 3 个重复($n=3$).

$$\mu = (\ln N_t - \ln N_0) / t \quad (1)$$

式中, N_0 和 N_t 分别为单位水体藻细胞的起始数量和经 t 时间后的细胞数量($\text{cells} \cdot \text{mL}^{-1}$).

同时跟踪共培养体系、锥状斯氏藻和龙须菜单独培养体系中营养盐的变化.每天从培养体系中取 18 mL 水样,经 $0.45 \mu\text{m}$ 醋酸纤维素膜抽滤后分别采用铈镭还原法^[12]和磷钼蓝分光光度法^[13]测定 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 的浓度.

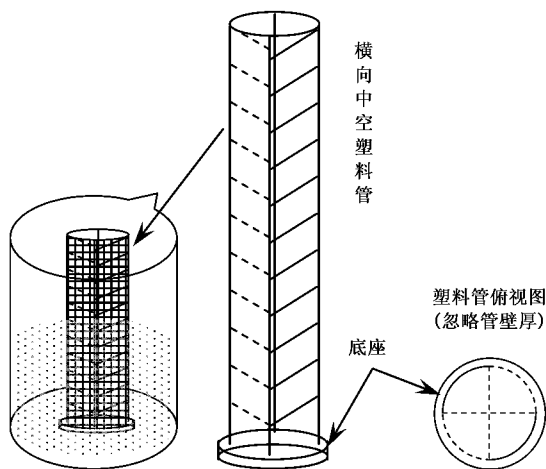


图 1 实验生物隔离装置

Fig. 1 Separating apparatus used in experiments

1.3 锥状斯氏藻胞内营养盐的测定

前期的研究结果表明^[10],锥状斯氏藻具有快速吸收储存磷酸盐的能力,实验条件下磷酸盐不会成为锥状斯氏藻生长的限制因子,因此在本实验中选择硝酸盐为衡量锥状斯氏藻在不同培养条件下(共培养和单独培养)胞内营养盐含量差异的指标.

共培养组中,设定龙须菜起始密度为 $0.2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,锥状斯氏藻起始密度为 $3.0 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$;实验以相同条件下单独培养的锥状斯氏藻为对照,其余条件同 1.2 所述.实验时每天定时移取 6 mL 藻液,用活体荧光计测量藻液荧光吸收值(f_{su}),以此作为度量微藻生物量的单位绘制生长曲线.同时跟踪培养液中营养盐的变化,测定方法同 1.2.

待培养液中的硝酸盐浓度降至最低且微藻生长进入平台期时,测定微藻细胞内营养盐含量,测定方法如下^[14-16]:取一定体积的藻液,用 $0.45 \mu\text{m}$ 微孔滤膜($\phi 47 \text{ mm}$)抽滤.将滤膜上的藻细胞转移至 7 mL 离心管中后,加入 5 mL 90% (体积分数)的乙醇溶

液,超声破碎至镜检无完整细胞.静置过夜,室温萃取.以 $6\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的转速离心 10 min 分离,移取 3 mL 上层清液.用双蒸水稀释 10 倍,测定稀释液中硝酸盐浓度.每细胞内硝酸盐浓度按公式(2)计算:

$$c_q = \frac{c \times d \times V_e}{D \times V_c} \times \frac{1}{1\,000} \quad (2)$$

式中, c_q 为每细胞体内储存硝酸盐浓度($\mu\text{mol}\cdot\text{cell}^{-1}$), c 为测得的硝酸盐浓度, d 为测定时的稀释倍数, V_e 为乙醇萃取液体积, D 为原始藻液细胞密度, V_c 为原始培养液体积.

1.4 数据统计

Sigma Plot 8.0 作图;微藻细胞密度的变化以细胞密度平均值 $\pm$ 标准误(mean $\pm$ SD)给出($n = 3$).

2 结果与分析

2.1 共培养体系中龙须菜对锥状斯氏藻生长的影响

2.1.1 微藻细胞密度变化

由图2可以看出,单独培养的(对照组)锥状斯氏藻很快进入对数生长期,经过 4 d 的快速增长后,进入平台期,所能达到的最大细胞密度为 $1.3 \times 10^4\text{ cells}\cdot\text{mL}^{-1}$.相对生长率为 0.26 d^{-1} ,低于前人 $0.4 \sim 0.64\text{ d}^{-1}$ 的报道^[17-19],这可能是由于初始接种密度、光照条件等情况有所不同而引起的.共培养组的锥状斯氏藻在经 1 d 的阻滞期后,只经过了 1 d 的快速增长便进入平台期,所能达到的最大细胞密度为 $8.5 \times 10^3\text{ cells}\cdot\text{mL}^{-1}$.可见,在共存的龙须菜影响下,

无论对照组微藻的对数生长期长度还是所能达到的最大细胞密度均有所下降,共培养组中锥状斯氏藻的生长受到了明显的影响.

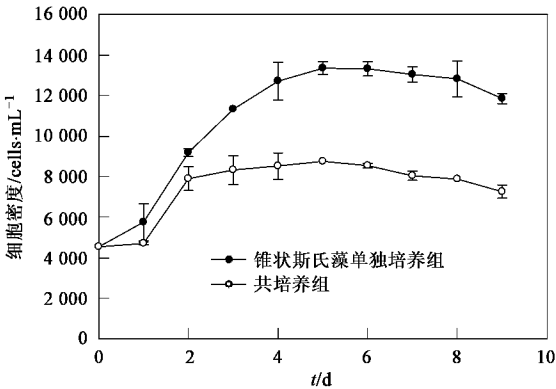


图2 共培养体系中锥状斯氏藻的生长情况
Fig.2 Growth of *S. trochoidea* in co-cultured system

2.1.2 共培养体系中培养液营养盐浓度变化

锥状斯氏藻、龙须菜单独培养及二者共培养时 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 浓度随时间的变化如图3所示. NO_3^- 浓度在锥状斯氏藻单独培养组与共培养组中均于第 2 d 降至最低,而在龙须菜单独培养组的下降速度相对较慢,于第 4 d 降至最低.共培养组的营养盐浓度下降速度比二者各自单独培养组稍快. PO_4^{3-} 浓度的变化也与此类似,锥状斯氏藻单独培养组与共培养组均于第 1 d 就降至最低,而龙须菜单独培养组则相对缓慢,于第 3 d 降至最低.

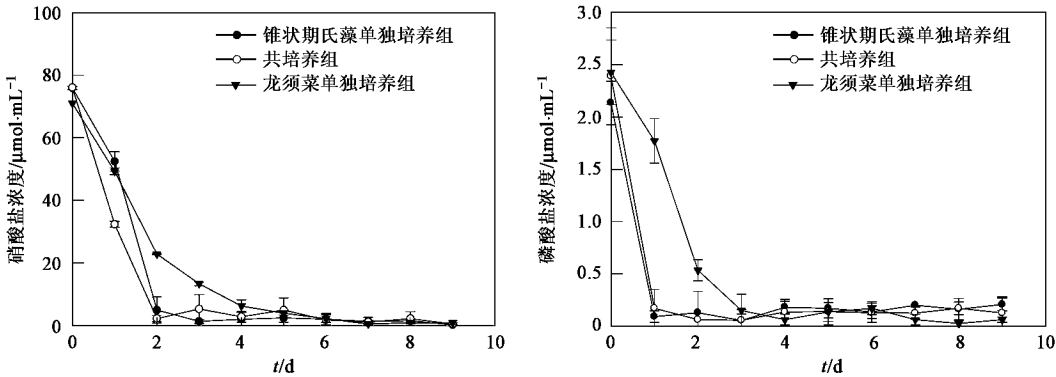


图3 共培养体系中培养液营养盐浓度变化
Fig.3 Changes of nitrate and phosphate in co-culture

2.2 锥状斯氏藻胞内营养盐含量的变化

锥状斯氏藻在单独培养(对照组)和共培养条件下的密度和胞内营养盐变化如图4所示.对照组及

共培养组在接种后的第 6 d 均进入平台期,这时培养液中硝酸盐浓度也降至最低.于第 7 d 量取藻液,经前期处理后,测定胞内营养盐的含量.由于对照组

与共培养组的细胞密度差异较大,分别量取了 70 mL 和 85 mL 的对照组与共培养组藻液,测得的硝酸盐含量分别为 $(5.3 \pm 0.1) \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $(3.6 \pm 0.1) \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,按公式(2)计算每细胞内硝酸盐含量为 $2.2 \times 10^{-7} \mu\text{mol} \cdot \text{cell}^{-1}$ 和 $1.5 \times 10^{-7} \mu\text{mol} \cdot \text{cell}^{-1}$,前者是后者的 1.5 倍.

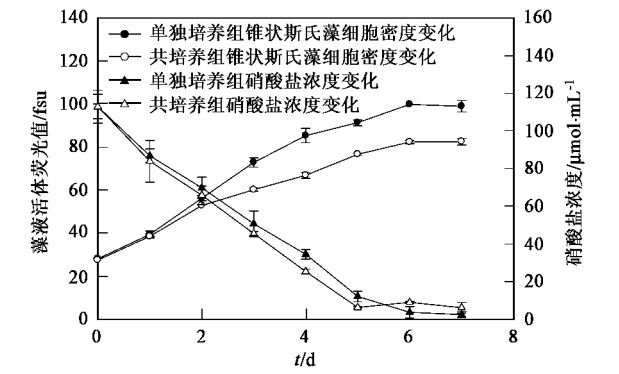


图 4 锥状斯氏藻生长情况及硝酸盐浓度变化曲线
Fig.4 *S. trochoidea* cell densities and nitrate concentrations before intracellular nitrate concentration measured

3 讨论

一种植物对另一种植物的影响是多种作用机制相互耦合的结果^[20].本研究是在实验室控制条件下进行的,排除了温度、光照变化等环境因素可能对实验结果产生的影响.在彼此隔离的共培养体系中,龙须菜因为呈圆柱丝状且生物量较低,因此在实验过程中主要沉降在培养液底部,不会产生遮光作用;而锥状斯氏藻具有向光的游动能力,光照时多悬浮在培养液上层;因此,龙须菜不能使锥状斯氏藻因为互荫效应而受到影响.细胞直接接触是导致大型海藻对微藻抑制作用的可能原因之一. Uchida 等^[21,22]研究了环状原甲藻(*Heterocapsa circularisquama*)和米氏裸甲藻(*Gymnodinium mikimotoi*)共培养时对各自的影响,发现它们对对方起作用的机制主要是通过细胞间的直接接触. Gross 等^[23,24]的研究也发现,费氏蓝细菌(*Fischerella muscicola*)分泌的克生类化合物是通过细胞间的直接接触传递至目标生物.在本实验中发现,在藻体彼此隔离的共培养体系中,当龙须菜起始生物量为 $0.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,锥状斯氏藻单独培养组(对照组)及与龙须菜共培养组的培养液 NO_3^- 浓度均于第 2 d 降至最低,此后,共培养组微藻转入平台期而对照组微藻又持续了 2 d 的对数生长期.可见,共培养组微藻的增殖受到了一定程度的抑制.但是,这与二者直接接触共存于同一水体中时的竞争结果

又有所不同:在直接接触条件下,共培养体系中的锥状斯氏藻在对数生长期后没有经过平台期而直接进入衰亡期^[10],与本研究结果相比可以看出,筛绢装置的引入减缓了龙须菜对锥状斯氏藻的影响,换言之,细胞的直接接触能加剧龙须菜对锥状斯氏藻生长的抑制作用.其可能的原因在于,龙须菜能够分泌一些克生类化合物至藻体表面和周围环境中,筛绢的孔径($20 \mu\text{m}$)能够阻止藻体间的直接接触,却无法阻止克生类化合物在筛绢内外的水体中交换,因此无论在隔离或非隔离状态的共培养体系中,锥状斯氏藻的生长都会受到抑制;这种抑制作用在直接接触的情况下更显著.

营养竞争作用是大型海藻影响微藻的另一个重要因素. McGlathery^[15]研究了在大型海藻线形硬毛藻(*Chaetomorpha linum*)中氮的存在形式,主要包括 NO_3^- 、 NH_4^+ 、RON(residual organic N, 主要成分为氨基酸和氨基化合物)、蛋白质氮和叶绿素等, RON 是最大的氮源,硝酸盐其次.硝酸盐相对不稳定,但在外在氮源耗尽以后,硝酸盐仍可在藻体内存在数日后才被耗尽(图 5).因此在本研究中,微藻细胞密度达到平台期后立即取样进行胞内营养盐的测定.

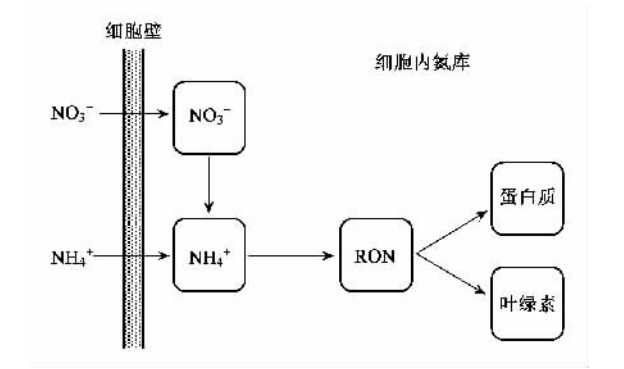


图 5 藻类吸收同化 NO_3^- 和 NH_4^+ 的过程^[15]
Fig.5 Process of uptake and assimilation of NO_3^- and NH_4^+ into intracellular nitrogen pools in algae

由对照组和与龙须菜共培养组胞内硝酸盐含量可以看出,与龙须菜共培养组锥状斯氏藻细胞内储存的硝酸盐浓度明显低于对照组.由于共存的龙须菜也需要吸收营养盐作为其生长的物质基础,在营养盐总量一定的情况下,可供锥状斯氏藻吸收的营养盐量必然减少,共培养组的锥状斯氏藻体内储存的营养盐量与对照组微藻相比相应降低.当培养液中营养盐浓度降至最低之后,共培养组微藻体内储存的营养盐也更快被耗尽,缺少了赖以生长的物质基础——营养盐,共培养组微藻的生长增殖就受到

了抑制。因此,龙须菜通过竞争吸收利用环境中的营养盐,使锥状斯氏藻可以储存于体内的营养盐含量降低,这是二者共培养时锥状斯氏藻的生长受到抑制的主要原因。

4 结论

当龙须菜起始生物量相对较高时($0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),龙须菜主要通过细胞直接接触所产生的克生作用来抑制锥状斯氏藻的生长;当龙须菜起始生物量相对较低时($0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),龙须菜对营养盐的竞争性吸收所导致的锥状斯氏藻的胞内营养盐含量下降是抑制锥状斯氏藻的生长的主要原因。

致谢:衷心感谢王悠博士、韩笑天老师在藻类培养以及实验实施过程中所给予的指导和帮助。

参考文献:

- [1] 杨宇峰,费修绶. 大型海藻对富营养化海水养殖区生物修复的研究与展望[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, **33**(1): 53-57.
- [2] Marshall S M, Orr A P. Further experiments on the fertilization of a sea loch (Loch Craiglin) [J]. Journal of Marine Biological Association UK, 1949, **27**: 360-379.
- [3] Sfriso A, Pavoni B, Marcomini A. Macroalgae and phytoplankton standing crops in the central Venice lagoon: primary production and nutrient balance [J]. Science of the Total Environment, 1989, **80**: 139-159.
- [4] Hogetsu K, Okanishi R. Studies on the antagonistic relationship between phytoplankton and rooted aquatic plants [J]. Japanese Journal of Limnology, 1960, **21**: 124-130.
- [5] Jin Q, Dong S L. Comparative studies on the allelopathic effects of two different strains of *U. pertusa* on *Heterosigma akashiwo* and *Alexandrium tamarense* [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2003, **293**: 41-55.
- [6] 王悠,俞志明,宋秀贤,等. 大型海藻与赤潮微藻以及赤潮微藻之间的相互作用研究[J]. 环境科学, 2006, **27**(2): 274-280.
- [7] 王悠,俞志明,宋秀贤,等. 共培养体系中石莼和江蓠对赤潮异弯藻生长的影响[J]. 环境科学, 2006, **27**(2): 246-252.
- [8] Smith D W, Home A J. Experimental measurement of resource competition between planktonic microalgae and macroalgae (seaweed) in mesocosms simulating the San Francisco Bay-Estuary, California [J]. Hydrobiologia, 1988, **159**: 259-268.
- [9] Nakai S, Inoue Y, Hosomi M, *et al.* Growth inhibition of blue-green algae by allelopathic effects of macrophytes [J]. Water Science and Technology, 1999, **39**(8): 47-53.
- [10] 张善东,宋秀贤,王悠,等. 大型海藻龙须菜与锥状斯氏藻间的营养竞争研究[J]. 海洋与湖沼, 2005, **36**(6): 556-561.
- [11] Guillard R R L, Ryther J H. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* Cleve [J]. Canadian Journal of Microbiology, 1962, **8**: 229-239.
- [12] Jones M N. Nitrate reduction by shaking with cadmium, alternative to cadmium columns [J]. Water Research, 1984, **18**: 643-646.
- [13] Hager S W, Gordon L I, Park P K. A practical manual for use of the Technicon Autoanalyzer in seawater nutrient analyses [R]. Final report to Bureau of Commercial Fisheries, Contract 14-17-0001-1759, Department of Oceanography, Oregon State University, Ref. No. 68-33, 1968. 1-31.
- [14] Hwang S P L, Williams S L, Brinkhuis B H. Changes in internal dissolved nitrogen pools as related to nitrate uptake and assimilation in *Gracilaria tikvahiae* McLachlan [J]. Botanica Marina, 1987, **30**: 11-19.
- [15] McGlathery K J. Changes in intracellular pools and feedback controls on nitrogen uptake in *Chaetomorpha linum* (Chlorophyta) [J]. Journal of Phycology, 1996, **32**: 393-401.
- [16] Fong P, Boyer K E, Kamer K, *et al.* Influence of initial tissue nutrient status of tropical marine algae on response to nitrogen and phosphorus additions [J]. Marine Ecology Progress Series, 2003, **262**: 111-123.
- [17] Qin X M, Qian P Y, Zou J Z. Effect of nitrogen and phosphorus on the growth of a red tide dinoflagellate *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich III [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 1999, **17**: 212-218.
- [18] Qin X M, Zou J Z, Qian P Y. Effect of Fe and Mn on the growth of a red tide dinoflagellate *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich III [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 1997, **15**: 173-180.
- [19] 秦晓明,邹景忠. N, P, Fe-EDTA, Mn 对赤潮生物锥状斯氏藻增殖影响的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1997, **28**: 594-598.
- [20] Callaway R M. Positive interactions among plants [J]. Botanical Review, 1995, **61**: 306-349.
- [21] Uchida T, Toda S, Matsuyama Y, *et al.* Interactions between the red tide dinoflagellates *Heterocapsa circularisquama* and *Gymnodinium mikimotoi* in laboratory culture [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1999, **241**: 285-299.
- [22] Uchida T, Yamaguchi M, Matsuyama Y, *et al.* The red-tide dinoflagellate *Heterocapsa* sp. Kills *Gyrodinium instriatum* by cell contact [J]. Marine Ecology Progress Series, 1995, **118**: 301-303.
- [23] Gross E M. Allelopathy in benthic and littoral areas: case studies on allelochemicals from benthic cyanobacteria and submerged macrophytes [A]. In: Inderjit D, Dakshini K M M, Foy C L. Principles and practices in plant ecology: Allelochemical interactions [C]. CRC, Boca Raton, 1999. 179-199.
- [24] Gross E M, Wolk C P, Jüttner F. Fischerellin, a new allelochemical from the freshwater cyanobacterium *Fischerella muscicola* [J]. Journal of Phycology, 1991, **27**: 686-692.