

琼枝麒麟菜对富营养化海水氮磷的去除 及对水体中 Chl *a* 含量的影响

李春强, 于晓玲, 王树昌, 彭明

(中国热带农业科学院热带生物技术研究所 农业部热带作物生物学与遗传资源利用重点实验室, 海南海口 571101)

摘要:研究了琼枝麒麟菜对富营养化海水氮磷的吸收及其对 Chl *a* 的影响。结果表明, 养殖琼枝麒麟菜能有效去除富营养化海水中的可溶性无机氮 (DIN) 和 PO₄-P。对 DIN 的清除, 72 h 就达到很好的效果, 直至几乎耗尽; 琼枝麒麟菜优先利用 NH₄-N, 而后是 NO₃-N 和 NO₂-N。琼枝麒麟菜对水体中 PO₄-P 的清除效果 24 h 就十分明显, 养殖密度在 6 kg/m³ 以上时 PO₄-P 浓度不会出现回升。养殖琼枝麒麟菜能控制海水中 Chl *a* 含量, 144 h 水体中的 Chl *a* 含量达到最低值, 养殖密度在 4 kg/m³ 以上时 Chl *a* 水平不会出现回升。因此, 琼枝麒麟菜是热带海域最理想的净化水质、控制赤潮的经济大型海藻之一。

关键词:大型海藻; 琼枝麒麟菜; 赤潮; 富营养化

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 1007-6336(2015)02-0190-04

Purification of *Eucheuma gelatinae* on nitrogen and phosphorus and effect on the level of chlorophyll *a* in eutrophic seawater

LI Chun-qiang, YU Xiao-ling, WANG Shu-chang, PENG Ming

(Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Tropical Crops, Ministry of Agriculture, Haikou 571101, China)

Abstract: The ability of *Eucheuma gelatinae* purifies nitrogen and phosphorus and the control of microalgae biomass in eutrophic seawater was studied. The results showed that DIN and PO₄-P can be eliminated efficiently by *E. gelatinae* in eutrophic seawater. The elimination effect of DIN and PO₄-P was obvious after 72 h and 24 h respectively. Compare with the uptake of nitrate nitrogen and nitrite nitrogen, *E. gelatinae* preferentially absorbs ammonia nitrogen. The content of chlorophyll *a* in seawater can be control by *E. gelatinae*. The level of chlorophyll *a* achieved to the lowest value after 144 h and didn't rise back when the density of *E. gelatinae* was up 4 kg/m³. Therefore, *E. gelatinae* is one of the most ideal macroalgae in tropical sea to seawater purification and red tide control.

Key words: macroalgae; *Eucheuma gelatinae*; red tide; eutrophication

近几十年来,随着现代化工农业生产的迅猛发展,沿海地区人口的增多、开发程度的增高和海水养殖业的扩大,带来了海洋生态环境和养殖业的自身污染,导致生态系统和水功能受到破坏,赤

潮时有发生。大型海藻能够吸收海水中的营养盐,并且通过收获的途径把这些多余的营养盐去除,防止海水富营养化,达到防治赤潮的目的^[1];有些大型海藻还有很高的经济价值,起到净化水体和增加经济收入的双重效果,麒麟菜就是这样

收稿日期:2014-02-08,修订日期:2014-07-16

基金项目:海南省重点科技计划(ZDXM20110015);海南省重大科技专项(ZDZX2013023-1-10);科技部科研院所社会公益研究专项(2004DIB3J074)

作者简介:李春强(1973-),男,江西永丰人,硕士,主要研究方向为海洋环境,E-mail:chunqiangli888@163.com

通讯作者:彭明,E-mail:mmpeng_2000@yahoo.com

一类热带性的大型海藻。麒麟菜有异枝麒麟菜 (*Euचेuma striatum*)、琼枝麒麟菜 (*E. gelatinae*)、珍珠麒麟菜 (*E. okamurai*)、锯齿麒麟菜 (*E. serrata*)、细齿麒麟菜 (*E. denticulatum*) 和柏状麒麟菜 (*E. arnoldii*)。我国常见的主要有3种:琼枝麒麟菜、异枝麒麟菜、珍珠麒麟菜^[2]。麒麟菜是生产卡拉胶的重要原料之一。

琼枝麒麟菜隶属于红藻门 (Rhodophyta)、真红藻纲 (Florideae)、杉藻目 (Gigartinales)、红翎菜科 (Solieriaceae)、麒麟菜属 (*Euचेuma* sp.), 主要分布在我国海南岛沿海、西、东沙群岛以及台湾的澎湖列岛等地。琼枝麒麟菜在水温 25 ~ 30℃, 海水相对密度为 1.016 ~ 1.030, 光照强度 500 ~ 11000 lx 均可生长^[2]。目前, 琼枝麒麟菜主要来源于海南省, 大部分为海南岛产的野生种^[2], 是热带性的大型海藻, 更适宜在海南岛海域栽培。麒麟菜能够吸收海水中的营养盐, 控制水体中的藻类生物量, 如异枝麒麟菜对 DIN 和 PO₄-P 均有很高的吸收速率^[3-4]; 但对于琼枝麒麟菜, 目前还没有关于其对营养盐吸收和对微藻生物量控制方面的报道。为了在热带海域利用琼枝麒麟菜来改善海水水质, 控制赤潮发生, 本文对琼枝麒麟菜对富营养化海水氮磷的吸收效果及其对微藻生物量的影响进行研究。

1 材料与方法

1.1 材料

琼枝麒麟菜, 采自海南岛西部海域, 为海南岛本地种。

试验用水体: 富营养化海水 (参照三亚红沙港海域营养盐的含量, 海水消毒后调整各种形式 N、P 终浓度分别为: NO₃-N, 24.3 μmol/L; NH₄-N, 9.3 μmol/L; NO₂-N, 2.5 μmol/L 和 PO₄-P, 1.3 μmol/L, 加富时用 NH₄NO₃ 和 KH₂PO₄), 盐度为 34 左右 (相对密度 1.021 ~ 1.023), 试验藻类为牟氏角毛藻 (*Chaetoceros muelleri*), 藻种扩大培养后加入到富营养化海水试验海水中, 调节藻数量约 5 × 10⁶/L。

主要仪器: 真空抽滤器, 0.45 μm 滤膜, 分光光度计, 滴定管, 电热模块。

1.2 实验方法

试验水箱中注入 100 L 的富营养化海水, 水深 50 cm, 依次将 0 (对照)、2 kg/m³、4 kg/m³、

6 kg/m³、8 kg/m³ 琼枝麒麟菜放入水箱底部, 暴气培养, 每个生物量水平设 3 个重复。试验期间光照: 早上 8:30, 3000 ~ 5000 lx; 中午 12:30, 8000 ~ 11000 lx; 下午 17:30, 1000 ~ 7700 lx。前 5 d 每 24 h 采集水样一次, 之后每 48 h 采集水样 1 次; 采集随机分布在水箱四角和中部的 5 个点的水样, 混合均匀, 总体积为 1000 mL。水样采集后立即用 0.45 μm 滤膜过滤, 进行 Chl *a* 的分析测定, 滤液用于 N、P、COD 等指标分析。Chl *a* 的测定采用分光光度法: 过滤后的滤膜剪碎、研磨, 经 90% 丙酮溶液提取, 离心, 依次在 663 nm、645 nm、630 nm 波长下测定吸光值, 用 750 nm 波长的吸光值校正提取液的浊度, 按照 Jeffrey-Humphrey (1975) 的公式计算 Chl *a* 的含量^[5]。PO₄-P、COD、DIN 测定按《海洋监测规范》(GB 17378.4-2007)^[6] 进行。

1.3 数据分析

不同试验组之间的 DIN、PO₄-P 和 Chl *a* 水平的差异显著性分析均采用 spss 11.0 软件进行, 显著性水平 *p* 为 0.05。

2 结果与讨论

2.1 琼枝麒麟菜对海水 N、P 含量的影响

本研究中, 养殖麒麟菜的各试验组水体中的 DIN 在 24 h 后较对照组均大大降低 (图 1D), 且一直呈现下降的趋势, 到试验后期 (192 h) 接近 0; 而对照组的 DIN 由 36 μmol/L 降低至 6.4 μmol/L 后又回升到 14 μmol/L 左右。试验的前 3 d 水体中的 DIN 均明显下降, 72 h 达到低谷 (图 1D), 之后 DIN 的变化很小, 表明麒麟菜对水体中的 DIN 在 72 h 时就达到很好的清除效果, 而对照组的 DIN 在 72 h 时之后却有大幅度回升。从麒麟菜养殖生物量水平来看, 未养殖麒麟菜的对照组与养殖麒麟菜各试验组之间差异显著, 而养殖 2 kg/m³、4 kg/m³、6 kg/m³ 麒麟菜各试验组之间差异不显著 (图 1D), 说明养殖 2 kg/m³、4 kg/m³、6 kg/m³ 麒麟菜对 DIN 的均有较好的清除作用, 且清除效果差异不显著。

从各种形式 N 的变化 (图 1A-C) 来看, 各试验组水体中的 NH₄-N 均下降很快, 72 h 后均耗尽, 只有对照组在第 7 d (144 h) 后有出现回升。各试验组水体中 NO₃-N 也呈现下降趋势, 72 h 后降到最低, 且一直保持较低水平, 而对照组在 96 h

后开始回升到第9 d(192 h)达到 10 μmol/L。同样,各试验组水体中 NO₂-N 呈现下降的趋势,而对照组中 NO₂-N 却呈现上升趋势,到第7 d 达到 6.4 μmol/L,说明牟氏角毛藻藻体的老化死亡会释放 NO₂-N,而其本身不能有效利用 NO₂-N。上述数据说明琼枝麒麟菜能够吸收海水中的各类 DIN,优先利用 NH₄-N,而后是 NO₃-N 和 NO₂-N。研究发现大型海藻紫菜对海水氨氮的去除率最高达 79.6%,对亚硝酸态氮的去除率最高达 67.6%,海带和江蓠对氨氮、硝态氮、亚硝态氮和活性磷也有较好的去除作用^[3,7],本研究结果与紫菜、海带和江蓠等一致。

水体中 PO₄-P 的变化与琼枝麒麟菜放养量之间的关系见图 1E。未放养琼枝麒麟菜的对照组中 PO₄-P 浓度随时间推移逐渐下降,到 96 h 时耗尽,而后大幅度回升,第 9 d 达到 1 μmol/L;原因

可能是水体中的牟氏角毛藻经过爆发性增殖后,营养消耗殆尽藻类老化死亡,死亡藻细胞降解释放出营养盐使水体 PO₄-P 上升。养殖琼枝麒麟菜的试验组中 PO₄-P 浓度变化随时间推移呈现下降趋势,而后保持较低水平;麒麟菜对水体中 PO₄-P 的清除 24 h 就十分明显,且下降幅度非常大(图 1E)。从麒麟菜养殖生物量来看,放养 2 kg/m³ 和 4 kg/m³ 琼枝麒麟菜试验组 48 h 后有所回升,回升的幅度与放养琼枝麒麟菜的数量负相关,放养 6 kg/m³ 和 8 kg/m³ 琼枝麒麟菜的试验组 PO₄-P 浓度未出现回升现象。显著性分析显示,对照组与养殖麒麟菜的试验组之间差异显著,而养殖麒麟菜各试验组之间差异不显著(图 1E)。上述数据说明琼枝麒麟菜能够有效吸收水体中的 PO₄-P,通过营养竞争避免了试验后期牟氏角毛藻的新一轮爆发性增殖。

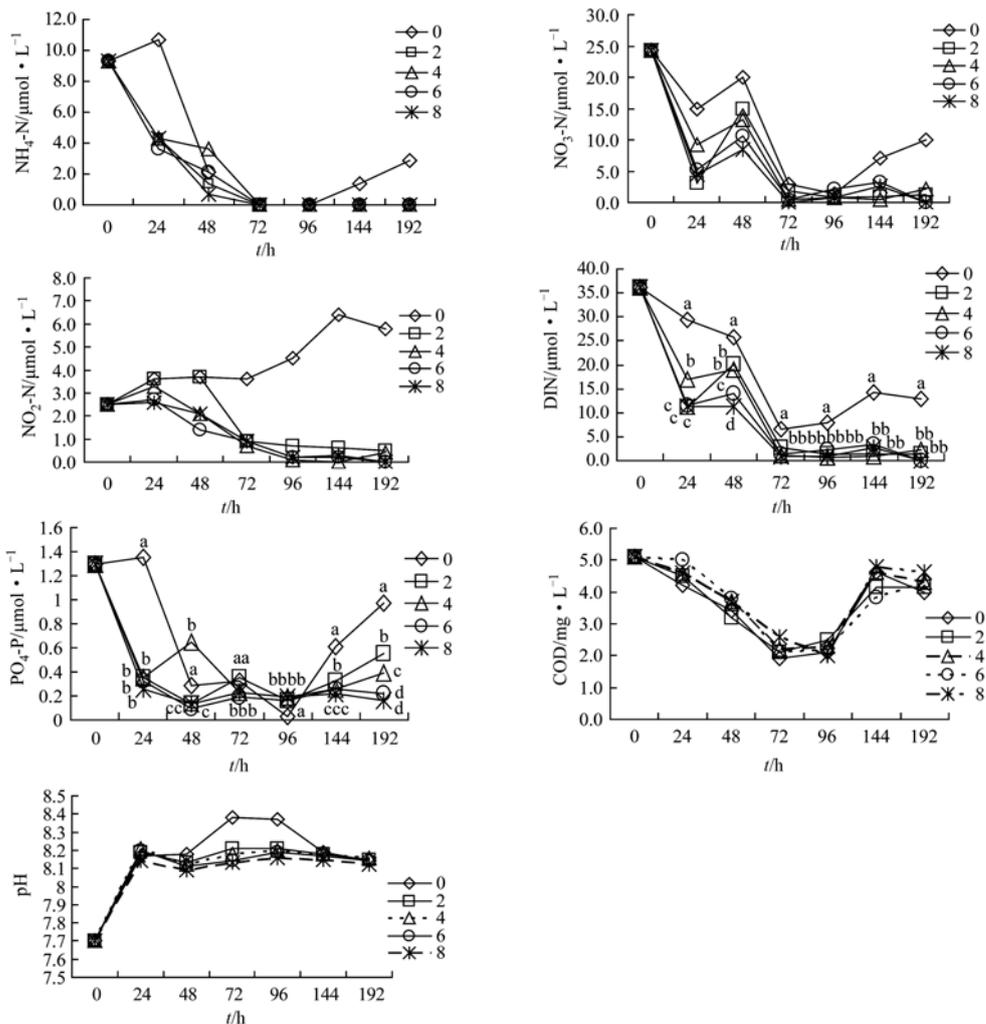


图 1 水体中各因子的变化(标有不同小写字母表示不同试验组间差异显著, $p < 0.05$)

Fig. 1 Changes of several factors in water(The figure marked with different lowercase letters indicated that differences between groups was significantly $p < 0.05$)

张善东等^[8]研究了龙须菜 (*Gracilaria lemaneiformis*) 与东海原甲藻 (*Prorocentrum donghaiense*) 共培养情况下,两者对 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 等营养盐吸收的情况;结果显示,龙须菜能快速吸收营养盐,使得共培养体系中营养盐迅速降低,最终导致东海原甲藻消亡,而东海原甲藻对于龙须菜的生长影响不大;在营养盐充分的条件下,1 g 鲜重的龙须菜对 NO_3^- 的吸收能力相当于 6.0×10^7 个东海原甲藻细胞,对 PO_4^{3-} 的吸收相当于 2.4×10^7 个东海原甲藻细胞。赵先庭等在实验室培养条件下研究龙须菜对养殖废水中 N、P 的吸收情况,发现 50 $\mu\text{mol/L}$ DIN 的实验组中 DIN 消耗的速度最快;100 $\mu\text{mol/L}$ 以上 DIN 的各个实验组中,龙须菜对 DIN 的吸收缓慢^[9]。方哲等发现,异枝麒麟菜对 DIN 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 均有很高的吸收速率,最高吸收速率分别达到 0.26 $\mu\text{mol/g/h}$ 和 0.009 $\mu\text{mol/g/h}$ ^[4]。本研究发现琼枝麒麟菜对海水中的初始浓度为 36 $\mu\text{mol/L}$ 的 DIN 的吸收很快,72 h 就几乎耗尽,结果与上述研究一致。

2.2 琼枝麒麟菜对海水 COD 的影响

为了考察琼枝麒麟菜对海水中有机物含量的影响,对海水中 COD 进行了测量(图 1F),各试验组与对照组的变化趋势基本一致,说明琼枝麒麟菜对有机物污染物并没有直接影响。图中出现的 COD 在 72 h 和 96 h 降低现象,可能是由于此阶段水体中的牟氏角毛藻数量大,其光合作用释放氧气使 COD 的测量值较低缘故。

2.3 琼枝麒麟菜对海水 Chl *a* 的影响

养殖不同琼枝麒麟菜各试验组海水中 Chl *a* 的变化见表 1。可以看出,各试验组的 Chl *a* 含量都随时间呈先升高后下降的趋势。空白对照组的 Chl *a* 含量显著高于其他试验组,在 72 h 时

达到峰值;而养殖琼枝麒麟菜各试验组均远低于空白对照组,且水体中 Chl *a* 含量与养殖琼枝麒麟菜的数量呈负相关。144 h 之后,各试验组海水中的 Chl *a* 含量达到最低值,表明经过 144 h (第 7 d) 养殖琼枝麒麟菜对 Chl *a* 的控制效果得到充分体现。随着时间的推移,2 d 后(192 h) 对照组中 Chl *a* 水平大幅回升至 17.8 $\mu\text{g/L}$,水体中的牟氏角毛藻重新出现大幅增长;而养殖琼枝麒麟菜各试验组的 Chl *a* 却一直保持较低水平,养殖 2 kg/m^3 麒麟菜的试验组 Chl *a* 水平虽略有回升,但藻数量低于赤潮发生临界密度($10^7/\text{L}$)。养殖 4 kg/m^3 、6 kg/m^3 和 8 kg/m^3 麒麟菜的试验组中 Chl *a* 水平均未见回升,且远低于赤潮密度水平,显示要达到对 Chl *a* 的理想控制效果麒麟菜的养殖密度应在 4 kg/m^3 以上。这些结果表明,养殖琼枝麒麟菜对海水中的微藻具有很好的控制效果。笔者前期研究也发现异枝麒麟菜和沟纹巴非蛤混养体系能有效地清除富营养化水体中的 N、P 和 Chl *a*,且综合评价指标、N 清除率、P 清除率和 Chl *a* 清除率的影响因素均为麒麟菜 > 贝^[1]。本研究的结果与上述研究相似,养殖琼枝麒麟菜能够有效去除富营养化海水中的 DIN 和 $\text{PO}_4\text{-P}$,控制水体中的 Chl *a* 含量。

2.4 琼枝麒麟菜对海水 pH 的影响

海水 pH 是衡量水体质量因子之一,正常海水的 pH 在 8 左右,pH 在 7.0 以下或高于 9.0 时,对鱼、贝类的生长、发育和摄食能力有影响^[10]。从图 1G 可以看出,对照组中由于藻类的爆发性增殖,光合作用放氧量大,导致水体的 pH 在 48 ~ 96 h 时稍高,而各养殖琼枝麒麟菜试验组水体 pH 在 7.7 ~ 8.2 范围内,表明养殖琼枝麒麟菜对海水的 pH 无明显影响。

表 1 各试验组中 Chl *a* 的含量

Tab. 1 Concentrations of chlorophyll *a* in water

时间	$c_{\text{Chl } a}/\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$				
	0 kg/m^3 麒麟菜	2 kg/m^3 麒麟菜	4 kg/m^3 麒麟菜	6 kg/m^3 麒麟菜	8 kg/m^3 麒麟菜
0 h	5.1a	5.1a	5.1a	5.1a	5.1a
24 h	11.7a	11.3a	13.1b	7.8cd	8.9da
48 h	33.7a	47.3b	53.4c	49.5b	31.4a
72 h	163.2a	123.7b	97.8c	60.0d	41.7e
96 h	160.5a	112.0b	70.2c	40.3d	25.2e
144 h	6.7a	4.1b	3.1c	2.5c	0.6d
192 h	17.8a	5.2b	2.8c	1.2d	0.5d

注:不同字母表示不同试验组间差异显著($p < 0.05$)

(下转第 239 页)

- search,2000,50(1/2/3/4/5):169-173.
- [6] 李正炎,卫东. 壬基酚对牡蛎血淋巴细胞的DNA损伤[J]. 畸变·癌变·突变,2006,18(6):0469-0471.
- [7] EKELUND, BERGMAN, GRANMO, et al. Bioaccumulation of 4-nonylphenol in marine animals A reevaluation [J]. Environmental Pollution,1990,64(2):107-120.
- [8] 张毅,张高峰,魏华. 壬基酚对鲫鱼原代肝细胞增殖和抗氧化功能的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(2):352-357.
- [9] 陈海刚,马胜伟,林钦,等. 氯化三丁基锡对黑鲷鳃和肝组织SOD、MDA和GPx的影响[J]. 南方水产,2009,5(2):23-27.
- [10] 孔志明. 环境毒理学[M]. 第3版. 南京:南京大学出版社,2006.
- [11] 国家环境保护局. 生物监测技术规范(水环境部分)[R]. 北京:国家环境保护局,1986:95.
- [12] 高永刚,李正炎. 壬基酚对栉孔扇贝组织抗氧化酶活性的影响[J]. 中国海洋大学学报,2006,36(Sup):135-138.
- [13] CALABRESE E J. Hormesis: changing view of the dose-response, a personal account of the history and current status [J]. Mutation Research,2002,511:181-189.
- [14] 陈家长,杨光,马晓燕,等. 低浓度阿维菌素对鲤鱼超氧化物歧化酶(SOD)的影响[J]. 生态毒理学报,2009,4(6):823-828.
- [15] 张晓红,张虎芳. 两种除草剂对金鱼血清POD同工酶的影响[J]. 太原师范学院学报,2009,8(4):137-139.
- [16] 张喆,马胜伟,王贺威,等. 十溴联苯醚BDE-209对菲律宾蛤仔外套膜抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学杂志,2013,32(1):122-128.
- [17] LZAWA, INOUE Y, KIMURA A. Oxidative stress response in yeast: effect of glutathione on adaptation to hydrogen peroxide stress in Sacchar [J]. FEBS Letters,1995,368(1):73-76.
- [18] 冯涛,郑微云,洪万树,等. 苯并(a)对大弹涂鱼肝脏抗氧化防御系统影响的初步研究[J]. 海洋科学,2000,24(5):27-30.
- [19] 黄志斐,张喆,马胜伟,等. BDE209胁迫对裴翠贻贝SOD、MDA和GSH的影响[J]. 农业环境学报,2012,31(6):1053-1059.
- [20] 孙建光,王文勇,刘舒婷. 壬基酚对金鱼丙二醛含量变化率的影响[J]. 科技信息,2009,33:50-52.

(上接第193页)

3 结论

(1) 养殖琼枝麒麟菜能有效去除富营养化海水中的DIN和 PO_4 -P。对DIN去除,72h就达到很好的清除效果,直至几乎耗尽;琼枝麒麟菜优先利用 NH_4 -N,而后是 NO_3 -N和 NO_2 -N。

(2) 琼枝麒麟菜对水体中 PO_4 -P的清除效果24h就十分明显,养殖密度在 6 kg/m^3 以上时 PO_4 -P浓度不会出现回升。

(3) 养殖琼枝麒麟菜对海水的COD和pH无明显影响。

(4) 养殖琼枝麒麟菜能够控制海水中的微藻生物量(Chl a),144h水体中的Chl a含量达到最低值,且随后一直保持较低水平,养殖密度在 4 kg/m^3 以上时Chl a水平不会出现回升。

(5) 与其它大型海藻相比,产自海南本地海域琼枝麒麟菜更能适应在海南岛周边海域栽培养殖,是热带海域最理想的净化水质、控制赤潮的经济大型藻类之一。

参考文献:

- [1] 黄通谋,李春强,于晓玲,等. 麒麟菜与贝类混养体系净化富

营养化海水的研究[J]. 中国农学通报,2010,26(18):419-424.

- [2] 方哲,鲍时翔. 琼枝麒麟菜的生物学特性与养殖试验[J]. 水利渔业,2008,28(2):55-56.
- [3] 彭明,李春强. 三亚红沙港赤潮及生物防控研究[M]. 北京:中国农业出版社,2009:109-113.
- [4] 方哲,黄惠琴,鲍时翔,等. 异枝麒麟菜对海水中氮、磷吸收的初步研究[J]. 水产养殖,2008(6):1-3.
- [5] LI C Q, ZHU B B, PENG M, et al. The Relationship between the *Skeletonema Costatum* Red tide and Environmental Factors in Hongsha Bay of Sanya, South China Sea [J]. Journal of Coastal Research,2009,25(3):651-658.
- [6] GB 17378.4-2007, 海洋监测规范 第4部分:海水分析[S].
- [7] 徐姗楠,李祯,何培民. 大型海藻在近海水域中的生态修复作用及其发展策略[J]. 渔业现代化,2006(6):12-14.
- [8] 张善东,俞志明,宋秀贤,等. 大型海藻龙须菜与东海原甲藻间的营养竞争[J]. 生态学报,2005,25(10):2676-2680.
- [9] 赵先庭,刘云凌,张继辉,等. 龙须菜处理海水养殖废水的初步研究[J]. 海洋水产研究,2007,28(2):23-27.
- [10] BAYNE B L, HEDGECOCK D, MCGOLDRICK D, et al. Feeding behaviour and metabolic efficiency contribute to growth heterosis in Pacific oysters [*Crassostrea gigas* (Thunberg)] [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,1999,233(1):115-130.