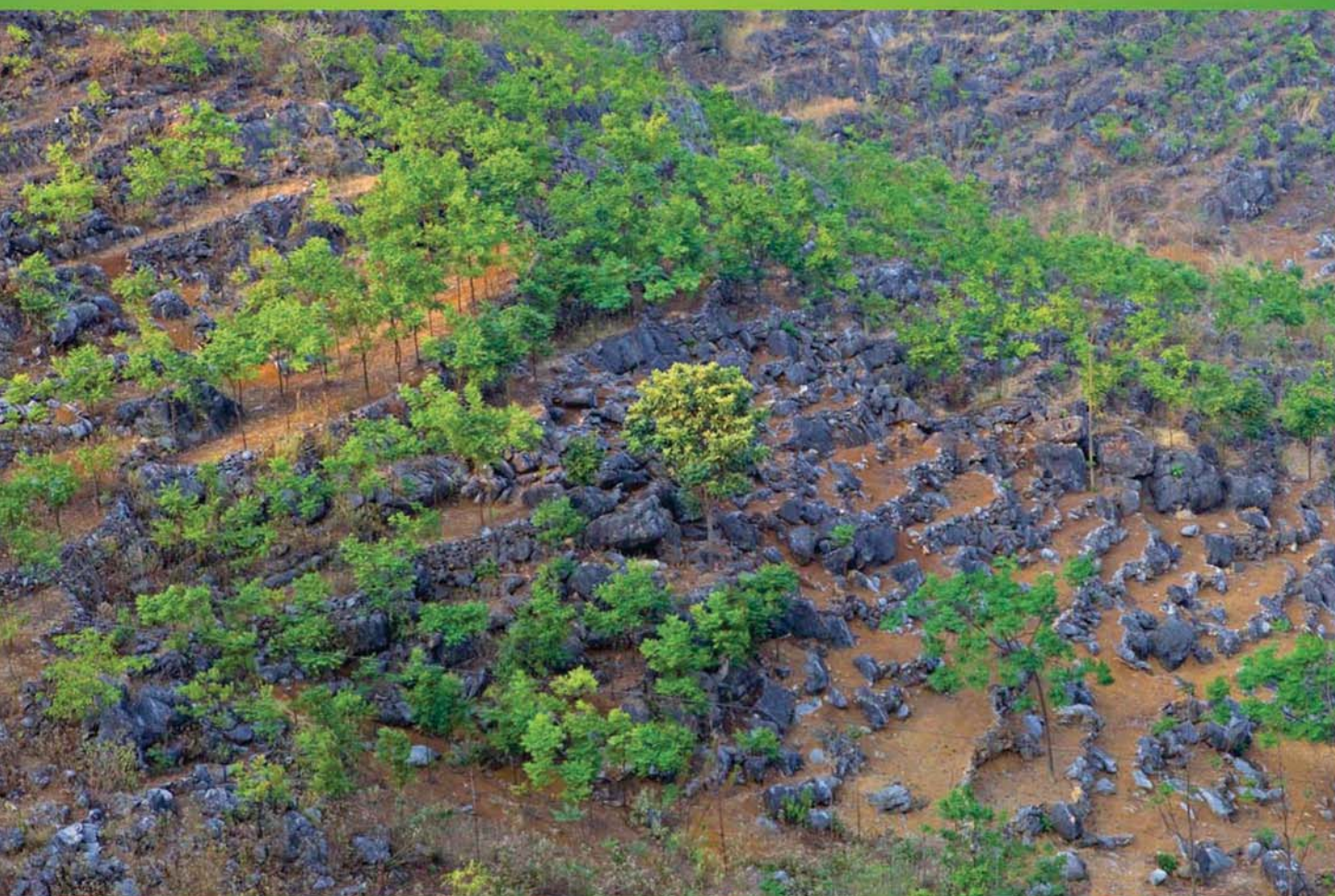


ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

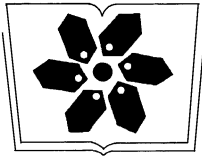
## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **2013**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

## 目次

### 前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的都市代谢过程研究——理论与方法 ..... 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 ..... 赵景柱 (4552)

### 个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 ..... 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 ..... 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对  $\text{SO}_2$  胁迫的生理响应 ..... 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

### 种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 ..... 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 ..... 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 ..... 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 ..... 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 ..... 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 ..... 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 304 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 32 \* 2013-08



**封面图说:** 石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

**彩图及图说提供:** 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com



DOI: 10.5846/stxb201205150717

黄凯旋, 张云, 欧林坚, 吕颂辉, 吕淑果, 齐雨藻. 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性. 生态学报, 2013, 33(15): 4575-4582.

Huang K X, Zhang Y, Ou L J, Lü S H, Lü S G, Qi Y Z. The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4575-4582.

## 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性

黄凯旋<sup>1</sup>, 张 云<sup>1</sup>, 欧林坚<sup>1,\*</sup>, 吕颂辉<sup>1</sup>, 吕淑果<sup>2</sup>, 齐雨藻<sup>1</sup>

(1. 暨南大学赤潮与海洋生物学研究中心, 水体富营养化与赤潮防治广东普通高校重点实验室(暨南大学), 广州 510632;

2. 海南省环境科学研究院, 海口 570206)

**摘要:** 2011 年春季(4—5 月), 对海南岛的海口湾、澄迈湾、文昌八门湾、陵水新村湾和大东海 5 个海湾的尿素浓度及浮游生物的脲酶活性开展调查研究, 结合其它理化环境因子, 分析海南岛近岸海域尿素的可利用性及其对该海区浮游植物生长可能产生的影响。结果表明, 海南岛近岸水体中尿素平均浓度为 2.07—3.30  $\mu\text{mol/L}$ , 占总溶解态氮 TDN 含量的 14%—38%, 尿素占 TDN 比例由北向东、南方向递增。浮游生物脲酶活性为 0.30—0.84  $\mu\text{mol N} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 海口湾最高, 从北部向东、南部逐渐减少。各海湾较高水平的尿素和脲酶活性主要分布在排污口、养殖区或旅游区的近岸海域。硅藻为优势种, 甲藻种类少且密度低, 部分甲藻密度达到  $10^4$ — $10^5$  个/L 的水体, 尿素和脲酶活性也处于较高水平。海区浮游植物细胞密度与脲酶活性或尿素占 TDN 比例等因子存在相关性, 表明尿素是海南海域浮游植物生长不可忽略的重要氮源。尿素在一定程度上促进春季海南岛近岸海域甲藻等浮游植物的生长, 可能对浮游植物群落结构的改变产生重要影响。

**关键词:** 环境海洋学; 尿素; 脲酶活性; 浮游植物; 群落结构; 海南岛; 海湾

## The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring

HUANG Kaixuan<sup>1</sup>, ZHANG Yun<sup>1</sup>, OU Linjian<sup>1,\*</sup>, LÜ Songhui<sup>1</sup>, LÜ Shuguo<sup>2</sup>, QI Yuzao<sup>1</sup>

1 Research Center for Harmful Algae and Marine Biology & Key Laboratory of Eutrophication and Red Tide Prevention of Guangdong Higher Education Institutes, Jinan University, Guangzhou 510632, China

2 Hainan Research Academy of Environmental Sciences, Haikou 570206, China

**Abstract:** Field cruises were carried out in the coastal waters of Hainan Island to survey urea concentrations and urease activities together with other environmental parameters. The bioavailability of urea for phytoplankton growth was analyzed based on these results. Results showed that the average concentrations of urea varied from 2.07 to 3.30  $\mu\text{mol/L}$ , which accounted for 14% — 38% of total dissolved nitrogen (TDN) and showed the trend to increase from the north to the south and the east. The urease activities of plankton were between 0.30 — 0.84  $\mu\text{mol N} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  with the maximum in the Haikou Bay. Most of the high values of urea concentrations and urease activities were detected in the nearshore waters where sewage draining exit, aquaculture area and the tourist area located. Diatoms were the dominant species in the phytoplankton communities. However, in some stations with dinoflagellates densities as high as  $10^4$ — $10^5$  cells/L, the urea concentrations and the urease activities were also higher comparing with other sites. The phytoplankton biomass correlated well with the urease activities or urea/TDN atomic ratios which suggested the significance of urea as one nitrogen source in the coastal waters of Hainan Island. Urea and  $\text{NH}_4^+$  concentrations were the most important factors responsible for the distribution of

**基金项目:** 国家自然科学基金(41176087); 国家重点基础研究发展计划项目(2010CB428702); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(21611205, 21610103)

收稿日期: 2012-05-15; 修订日期: 2012-10-26

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: torangeou@jnu.edu.cn

dinoflagellates in the northern and the southern waters respectively. The terrestrial input of urea promoted the growth of phytoplankton, in particularly dinoflagellates, therefore urea might play an role in the competition and succession in the phytoplankton community in the coastal waters of Hainan Island during the spring period.

**Key Words:** environmental oceanography; urea; urease activity; phytoplankton; community structure; Hainan Island; Bay

过去的几十年间,作为一种重要的氮肥,尿素的使用量在全球范围内增加了 100 倍,中国和印度作为农业大国,尿素的使用量占到全球的一半<sup>[1]</sup>。由于尿素的过量使用,大量未被利用的尿素通过径流等方式进入沿海海域,从而导致近岸和河口水体中尿素含量大幅度升高<sup>[1-3]</sup>。尿素作为一种小分子有机氮源,可以被浮游植物直接吸收利用,在海洋氮循环中可能发挥重要作用<sup>[1,4]</sup>。然而,在很长的一段时间内,包括尿素在内的有机氮源对海洋初级生产力的贡献都被忽视了。水体中浮游植物对尿素的吸收率范围为 0.1—3.6  $\mu\text{molN/h}$ ,有可能高于对无机氮的吸收率,占浮游植物对氮吸收的 50% 以上<sup>[5]</sup>。海区中尿素浓度较低,大洋中尿素浓度通常检测到的浓度为摩尔浓度,而近岸、河口和河流中尿素浓度变化极大,范围为 0.02—23.40  $\mu\text{molN/L}$ <sup>[1]</sup>。尿素并非海洋调查中的常规监测项目,目前对于全球(包括我国)大多数海区中尿素浓度的分布及生物可利用状况知之甚少。

在浮游植物细胞内,尿素主要通过脲酶作用水解为  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{CO}_2$ ,随后进入各种生化代谢途径<sup>[6]</sup>。有研究表明,不同种类的浮游植物在利用尿素的能力上存在差异,海水中尿素浓度的增加可能有利于某些类群的生长,如蓝细菌、甲藻等<sup>[7-8]</sup>。越来越多的研究发现尿素的输入与有害藻华的发生存在一定的相关性<sup>[9-10]</sup>。近岸和河口水域尿素的可利用性及其对浮游生物群落的影响已成为新的研究热点<sup>[11-12]</sup>。

海南省位于我国最南端的南海海域,海水洁净,总体水质良好。但近年来,随着海南经济的发展,大量工农业废水和生活污水直接或间接排入海洋,导致近岸海区富营养化程度加剧,有害藻华频发,且规模不断扩大<sup>[13-14]</sup>。赤潮多发生在 2—5 月间,海口、澄迈、文昌、陵水和三亚沿海一带海域是海南赤潮监控的重点区域<sup>[15]</sup>。2011 年春季(4—5 月),研究者对上述 5 个区域开展调查采样,重点研究水体中的尿素浓度及浮游生物的脲酶活性的水平分布状况,结合相关的理化环境数据,分析海南岛近岸海域尿素的可利用性及其对浮游植物种群生长、种间竞争可能产生的影响,为研判该海域海水的污染程度及赤潮的发生机制提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 站位布设与采样时间

调查区域包括 5 个海湾,分别为位于北部的海口湾(5 个测站)和澄迈湾(6 个测站),位于东部的文昌八门湾(8 个测站),位于南部的陵水新村湾(6 个测站)、大东海(6 个测站)(图 1)。海口湾位于海口市北部,海湾面积 43.7  $\text{km}^2$ ,海口市生活污水以及部分工业废水由龙昆沟和秀英沟排污口直接或间接排入海域,并有来自海口新港和海甸溪入海口等的污染物,海口湾近岸海域富营养化程度高。澄迈湾为澄迈县北部海湾,海湾面积 16  $\text{km}^2$ ,澄迈湾近岸拥有万吨深水泊位码头,并有大量重工业落户于马村港,澄迈湾面临着很大的环境压力,部分水体出现富营养化。文昌八门湾位于海南省东部,铜鼓岭淇水湾海域分布数千亩养虾池,为海南省重要的养殖基地。位于南部的陵水新村湾为天然泻湖性港湾,西部有一窄口与陵水湾想通,集渔港、海水养殖、滨海旅游和居住区为一体。大东海地处海南省最南端,近年来随着旅游业的兴起和养殖业的不断扩大,沿海一带的水质呈现轻度污染状态。澄迈湾、陵水新村湾和文昌八门湾的采样时间为 2011 年 4 月 26 日,海口湾为 2011 年 4 月 29 日,大东海为 2011 年 5 月 25 日。

### 1.2 调查项目及方法

水温和盐度由美国 YSI 6600V2 现场监测。总溶解态氮(TDN)、硝酸盐( $\text{NO}_3^-$ ) + 亚硝酸盐( $\text{NO}_2^-$ )、总溶解态磷(TDP)和磷酸盐(DIP)浓度采用荷兰 Skalar San++ 连续流动分析仪测定。铵盐( $\text{NH}_4^+$ )按照《海洋调查规范》<sup>[16]</sup>测定。溶解无机氮( $\text{DIN}$ ) =  $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$ ,溶解有机氮( $\text{DON}$ ) =  $\text{TDN} - \text{DIN}$ ,溶解有机磷( $\text{DOP}$ ) =

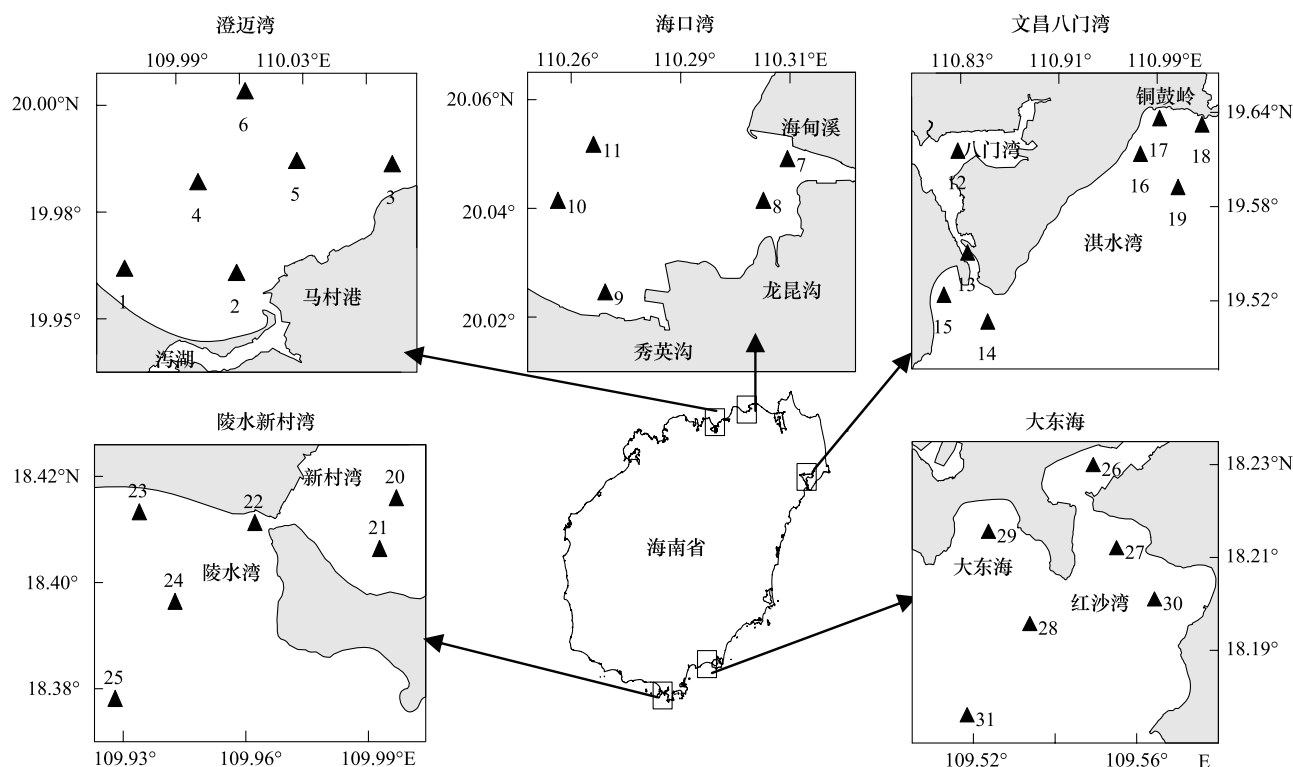


图1 海南岛监测区域与测站位布设

Fig.1 Monitoring areas and stations in Hainan Island

TDP-DIP。

浮游植物的采集、固定和计数均按《海洋调查规范》<sup>[16]</sup>执行,在日本 Olympus BX61 光学显微镜下进行浮游植物种类的鉴定和定量计数。

尿素含量的测定仿照 Revilla 等<sup>[8]</sup>的方法。现场海水经煅烧过的 GF/F 膜(450℃,3 hr)过滤,冻存。样品检测时,取水样各 4 mL 分装入 4 个检测试管中,其中 2 只各加入 1.2 mL 显色试剂,另 2 只各加入 1.2 mL 空白对照试剂。(22±2)℃ 的黑暗环境下涡旋振荡 72 hr,在韩国 Mecasys Optizen 2120UV 分光光度计 520 nm 波段下检测。所得尿素含量以  $\mu\text{mol/L}$  表示。

脲酶活性的测定以 Solomon 等<sup>[6]</sup>的方法为基础进行优化。浮游植物颗粒经 100  $\mu\text{m}$  孔径筛绢过滤后,采用 GF/F 滤膜收集,液氮中保存。在滤膜样品上加入 1 mL 匀浆抽提液,冰浴条件下破碎研磨细胞,离心后取上清液分别转移至检测试管  $t_f$  及对照管  $t_0$  中,加入脲酶反应缓冲液。在  $t_f$  管中加入尿素储备液(N 终浓度为 5 mmol/L),20℃ 水浴下反应 1 h,对照组  $t_0$  管在水浴反应前既沸水灭活处理。待样品冷却至室温后,加入苯酚溶液,按照  $\text{NH}_4^+$  的方法在韩国 Optizen 2120UV 分光光度计 640 nm 波长下检测样品。脲酶活性以  $\mu\text{molN} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  表示。

### 1.3 数据分析处理

使用 SPSS17.0 软件进行数据统计分析:1)不同海湾间同一理化环境参数的差异性采用单因素方差分析方法(ANOVA);2)理化环境参数对浮游生物脲酶活性和浮游植物细胞密度的影响,采用 stepwise 回归相关性分析法,其中北部海区甲藻细胞密度与各参数的 stepwise 分析无法建立回归方程,进而采用 Enter 回归分析法;3)对不同理化环境因子进行主成分分析,并对 5 个海湾不同理化参数进行聚类分析。

## 2 结果

### 2.1 不同海湾理化环境因子的变化

海南岛北部近岸海域(海口湾、澄迈湾)水温显著低于南部海域(陵水新村湾、大东海)( $P<0.01$ )(表 1)。

各海湾盐度范围 32.6—34.0,无明显差异 ( $P>0.05$ )。DIN 表现出由南向北递增,除个别海湾站位外,硝酸盐含量占 DIN 含量的 90% 以上。海口湾富营养化最为严重,其 DIN、DIP 含量明显高于其它海湾 ( $P<0.05$ )。各海湾海水的营养盐组成与结构存在区别。海口湾和大东海水体中的 DIP 含量较高,达到二、三类标准,大东海部分海区呈无机磷污染,该海区平均 DIN/DIP 为 6,可能存在氮限制。在澄迈湾和文昌八门湾,绝大多数测站的 DIP 均低于检出水平,有机磷源占据主要成分,达 52% 以上,海区存在潜在的磷胁迫或限制。

对不同理化环境因子进行主成分分析,提取到 5 个主成分累计贡献率为 79.58%。5 个主成分分别为 DIN、DOP、DON、浮游植物细胞密度和盐度,可见除外无机氮外,有机氮和有机磷浓度是海南省近岸海域较为重要的营养盐指标。5 个海湾的聚类分析表明,文昌八门湾和陵水新村湾的理化环境因子状况相似程度最为接近,这可能与文昌八门湾和陵水新村湾同为海南省重要的养殖基地有关。

表 1 春季海南岛近岸海域不同海湾环境理化因子比较

Table 1 The comparison of physical and chemical factors of different areas in the coastal waters of Hainan Island during spring							
海湾 Bays	温度 Temperature / $^{\circ}\text{C}$	盐度 Salinity	溶解无机氮 DIN /( $\mu\text{mol/L}$ )	溶解有机氮 DON /( $\mu\text{mol/L}$ )	磷酸盐 DIP /( $\mu\text{mol/L}$ )	溶解有机磷 DOP /( $\mu\text{mol/L}$ )	无机氮磷比 DIN/DIP
海口湾	23.1 $\pm$ 0.6	32.6 $\pm$ 0.1	10.52 $\pm$ 1.75	3.17 $\pm$ 0.48	0.60 $\pm$ 0.40	0.18 $\pm$ 0.28	17 $\pm$ 8
澄迈湾	21.5 $\pm$ 0.2	32.8 $\pm$ 0.1	7.22 $\pm$ 2.57	10.68 $\pm$ 10.91	0.09 $\pm$ 0.24	0.57 $\pm$ 0.04	—
文昌八门湾	25.4 $\pm$ 2.1	33.3 $\pm$ 2.5	5.98 $\pm$ 1.49	4.31 $\pm$ 2.65	0	0.60 $\pm$ 0.12	—
陵水新村湾	26.8 $\pm$ 0.7	34.0 $\pm$ 0.1	4.49 $\pm$ 0.98	4.55 $\pm$ 3.23	0.12 $\pm$ 0.11	0.47 $\pm$ 0.13	72 $\pm$ 34
大东海	28.4 $\pm$ 0.2	33.5 $\pm$ 0.2	2.63 $\pm$ 0.13	4.44 $\pm$ 4.05	0.42 $\pm$ 0.23	0	6 $\pm$ 2

2.2 不同海湾尿素浓度分布及其对氮源与浮游植物生长的贡献

海南岛近岸海域中尿素浓度平均值范围为 2.07—3.30  $\mu\text{mol/L}$ ,占 TDN 含量的 14%—38%,且尿素占 TDN 比例由北向东南方向升高(表 2)。如图 2 所示,各海湾较高水平的尿素浓度主要分布在排污口、养殖区或旅游区的近岸海域。尿素浓度较高的水体中发现甲藻细胞密度达到  $10^4$ — $10^5$  个/L 的水平,细胞密度高于一般水体。

表 2 春季海南岛近岸海域不同海湾尿素浓度、脲酶活性与浮游植物丰度比较

Table 2 The comparison of urea concentrations, urease activities and phytoplankton densities in different areas in the coastal waters of Hainan Island during spring					
参数 Parameters	海口湾	澄迈湾	文昌八门湾	陵水新村湾	大东海
尿素浓度 ( $\mu\text{mol-N/L}$ ) Urea concentrations	3.30 $\pm$ 0.43	2.07 $\pm$ 2.02	2.67 $\pm$ 0.71	2.71 $\pm$ 1.99	2.24 $\pm$ 0.71
(尿素/TDN) (Urea/TDN) /%	24.00 $\pm$ 2	14.00 $\pm$ 13	28.00 $\pm$ 5	30.00 $\pm$ 17	38.00 $\pm$ 18
脲酶活性 /( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ) Urease activities	0.84 $\pm$ 0.45	0.57 $\pm$ 0.28	0.39 $\pm$ 0.29	0.40 $\pm$ 0.05	0.30 $\pm$ 0.50
浮游植物细胞密度 /( $10^6$ 个/L) The cells densities of phytoplankton	5.09 $\pm$ 7.45	3.53 $\pm$ 2.90	35.18 $\pm$ 95.71	4.86 $\pm$ 3.82	11.94 $\pm$ 26.79
甲藻细胞密度 /( $10^4$ 个/L) The cells densities of dinoflagellates	0.45 $\pm$ 0.52	0.95 $\pm$ 0.54	3.00 $\pm$ 3.72	0.39 $\pm$ 0.39	10.95 $\pm$ 2.30

澄迈湾尿素平均浓度及占 TDN 比例均低于其它海湾,2 号测站马村港出海口的尿素浓度最高,为 6.16  $\mu\text{mol/L}$ ,在该站测站的甲藻细胞密度也最高,达  $1.65\times 10^4$  个/L。海口湾尿素平均浓度高于其它海湾。7 号测站海甸溪至 8 号测站龙昆沟入海口近岸海域尿素浓度较高,其中龙昆沟浮游植物细胞密度高达  $18.32\times 10^6$  个/L,同时发现甲藻细胞密度达到  $1.20\times 10^4$  个/L,其它站点的甲藻数量非常少。文昌八门湾尿素占 TDN 含量的 11—38%,13 号测站清澜港通航水道和淇水湾近岸海域尿素浓度较高,范围为 3.23—3.34  $\mu\text{molN/L}$ ,甲藻细胞密度范围为  $10^4$ — $10^5$  个/L。陵水新村湾尿素浓度变化范围 0.62—5.28  $\mu\text{molN/L}$ ,其中新村湾养殖网箱附近的 21 号测站和 24 号测站出海口外尿素浓度最高。21 号测站尿素浓度甚至高于硝酸盐,占 TDN 含量



49%,在该站,检测到锥状斯氏藻(*Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich)密度达到  $10^4$  个/L,其它测站甲藻数量少。大东海尿素和  $\text{NO}_3^-$  平均浓度均为  $2.24 \mu\text{mol/L}$ ,多个测站的尿素浓度高于硝酸盐,尿素占 TDN 的比重高于其它海湾,大东海海域甲藻种类最多且平均密度也高于其它海湾。在 26、27 测站,尿素浓度占 TDN 的 30% 以上,这 2 个测站出现的甲藻种类较多,密度达到  $10^4$ — $10^5$  个/L。

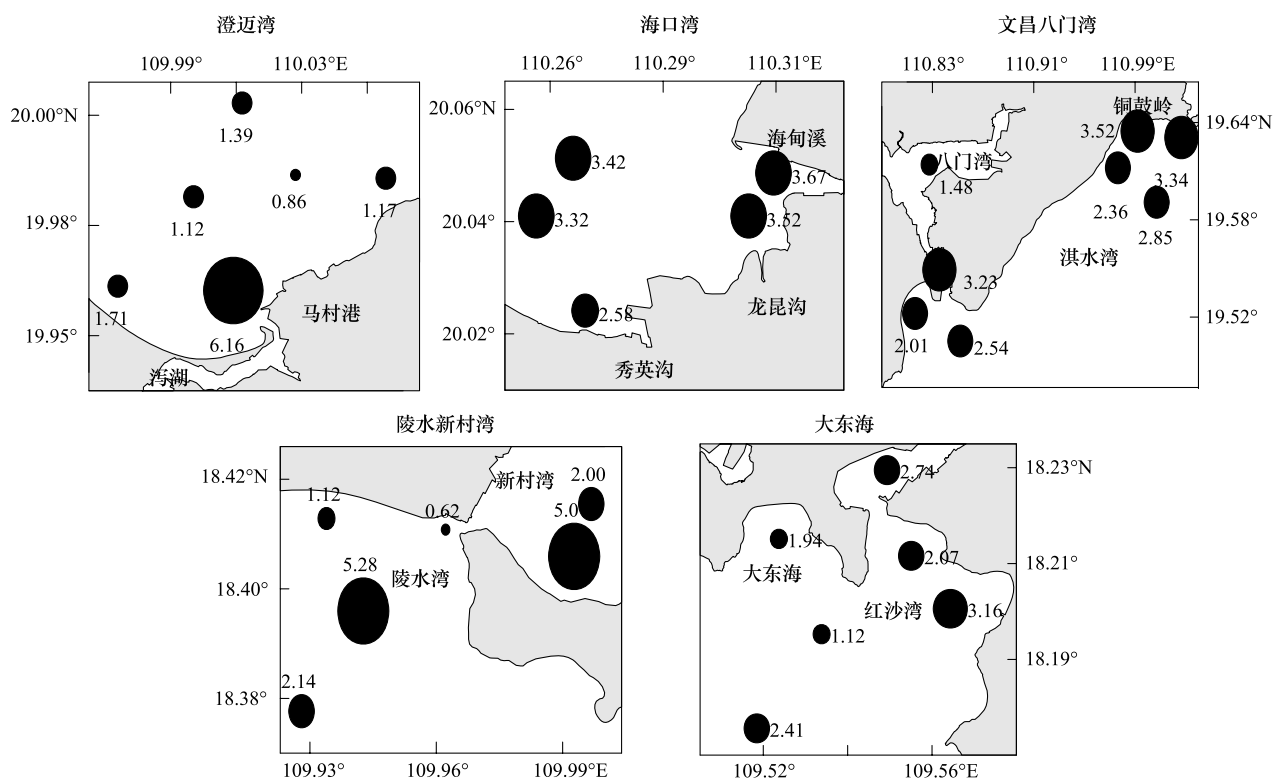


图 2 春季海南岛近岸海域不同海湾尿素浓度 ( $\mu\text{mol/L}$ ) 分布图

Fig. 2 The distribution of urea concentrations in different areas in the coastal waters of Hainan Island during spring

### 2.3 不同海湾浮游生物脲酶活性分析

春季,海南岛浮游生物脲酶活性为  $0.30$ — $0.84 \mu\text{molN} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,海口湾最高,从北部向东、南部逐渐减少(表 2,图 3)。在澄迈湾,3 号测站东水港出海口脲酶活性较高,达到  $0.76 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。海口湾龙昆沟出海口脲酶活性最高,达  $1.63 \mu\text{molN} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。龙昆沟为海口市生活污水的排污口,近岸水体污染严重,无机营养盐及尿素含量均为高值,浮游植物包括甲藻细胞密度均为海口湾最高。文昌八门湾脲酶活性最高点出现在 13 号测站,达  $0.86 \mu\text{molN} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,13 号站不仅尿素浓度较高,DOP 浓度为该湾最高值,达  $0.78 \mu\text{mol/L}$ 。新村湾脲酶活性和浮游植物细胞密度均高于陵水湾,脲酶活性与细胞密度相关性显著 ( $R^2 = 0.82, P < 0.05$ )。新村湾养殖区水域的脲酶活性最高,21 号测站 TDP 浓度、浮游植物包括甲藻细胞密度均为陵水新村湾最高。大东海红沙湾附近水域脲酶活性范围为  $0.54$ — $1.16 \mu\text{molN} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,其中 30 号测站尿素和 DIP 浓度高,DIP 浓度达  $0.67 \mu\text{mol/L}$ 。

理化环境参数对海南省浮游生物脲酶活性的回归分析显示,海南省浮游生物脲酶活性和细胞密度、盐度和 DIN 的相关性显著 ( $R^2 = 0.97, P < 0.01$ ),5 个海湾的脲酶活性 97% 的变化由细胞密度、盐度和 DIN 引起。北部海区(海口湾和澄迈湾)脲酶活性 94% 的变化由浮游植物细胞密度决定,两者的相关性极其显著 ( $R^2 = 0.94, P < 0.01$ )。在南部海区(陵水新村湾和大东海),盐度和 DOP 浓度可解释 77% 的脲酶活性变化 ( $R^2 = 0.77, P < 0.05$ )。浮游生物脲酶活性的分布与尿素的情况类似,在排污口、养殖区或旅游区的近岸海域,脲酶活性水平较高,这些水体的氮、磷浓度或细胞密度的水平也较高。



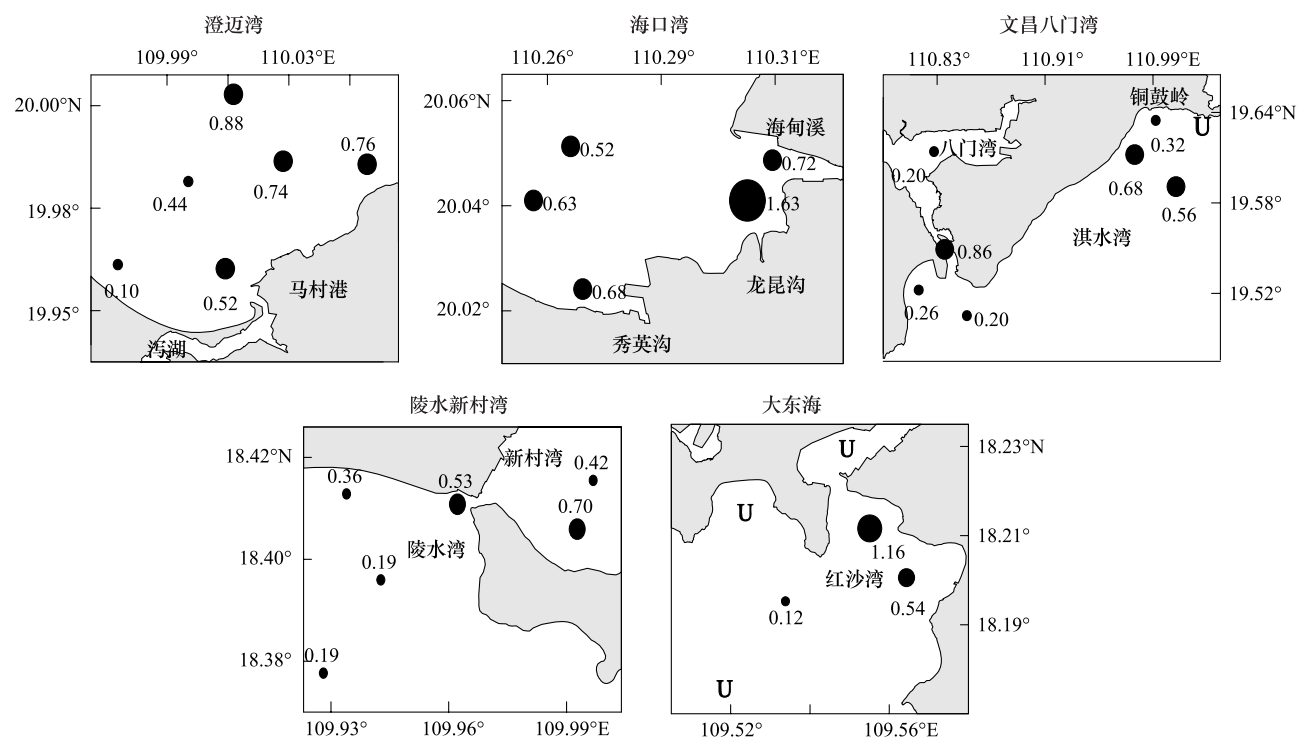


图3 春季海南近岸海域脲酶活性( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )分布图

Fig. 3 The distribution of urease activities in different areas in the coastal waters of Hainan Island during spring

U: 低于检测限

2.4 浮游植物生长分布与海区理化因子的相关性分析

海南岛近岸海域浮游植物群落以硅藻为优势种,各海湾浮游植物平均细胞密度达到  $10^6$  个/L 以上。文昌八门湾 18 号测站和陵水新村湾水体以拟菱形藻 (*Pseudo-nitzschia* spp.) 为优势种,细胞密度达到  $10^6$ — $10^8$  个/L;其它海湾的优势种主要为骨条藻 (*Skeletonema* spp.) 和短角弯角藻 (*Eucampia zodiacus*)。春季甲藻种类少细胞密度低,密度为  $10^4$ — $10^5$  个/L 的水体中其尿素和脲酶活性也处于较高水平。尿素可能在一定程度上促进近岸海域甲藻的生长,对浮游植物种群结构的变化存在影响。如表 3 所示,该海区浮游植物细胞密度主要由脲酶活性或尿素占 TDN 比例所决定,北部海湾甲藻细胞密度也主要受脲酶活性的影响。DON 与甲藻细胞密度相关性显著,对海南岛甲藻的生长繁殖的作用较为重要。由此可见,海南浮游植物包括北部的甲藻可能更多的受到脲酶,进而是尿素的影响,南部甲藻则主要受到  $\text{NH}_4^+$  和 DON 的影响。

表 3 春季海南近岸海域浮游植物细胞密度与相关理化因子的多元线性回归分析

Table 3 The regression analysis of phytoplankton densities and the relevant environmental factors in the coastal waters of Hainan Island during spring

因变量 Dependent variable	区域 Area	相关因子 Related factors	$R^2$
浮游植物细胞密度	海南省	脲酶活性、盐度、DIP、DOP	0.89
The cells densities of phytoplankton	北部	脲酶活性	0.94
	南部	DOP、硝酸盐、urea/TDN	0.85
甲藻细胞密度	海南省	盐度、DON	0.74
The cells densities of dinoflagellates	北部	脲酶活性、DIN/DIP、DON、硝酸盐、DIP	1
	南部	$\text{NH}_4^+$ 、DON	0.94

3 讨论

海南岛近岸海域以硝酸盐为主要氮源,  $\text{NH}_4^+$  浓度较低,各海湾尿素平均浓度的范围为 2.07—3.30

$\mu\text{molN/L}$ , 占 TDN 含量的 14%—38%, 南部海域有些测站尿素浓度高于硝酸盐。美国 Chesapeake 湾 2002 年尿素浓度范围为 0.01—8.16  $\mu\text{molN/L}$ , Florida 湾 2004 年尿素浓度为 0.36—1.7  $\mu\text{molN/L}$ <sup>[1]</sup>。而我国大部分海区尿素浓度的分布报道极少, 仅查阅到 2010 年春季杭州湾邻近海域尿素的平均值为 1.14  $\mu\text{molN/L}$ <sup>[17]</sup>。根据研究者未发表数据, 大亚湾和珠江口近岸海域 2011 年春季尿素平均浓度分别为 1.09 和 2.06  $\mu\text{molN/L}$ , 由此可见海南岛近岸海域的尿素水平并不低。通过多元回归分析, 海南浮游植物细胞密度分布可能更多的受到浮游植物对尿素利用的脲酶活性的影响, 表明尿素是该海域浮游植物生长不可忽略的重要氮源。在过去的一段时间里, 海洋生态学家关注无机形态的  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  的研究, 忽略了尿素等有机氮源在海区中的重要性<sup>[18]</sup>。近年来的研究发现, 一些有害藻华的发生, 常与水体中高浓度的尿素联系在一起。尿素不仅促进有毒藻类的爆发性增长, 甚至增强了某些有毒藻类的毒性<sup>[19-20]</sup>。一般认为, 大洋中尿素浓度低于  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$ , 并且浓度不高于 0.5  $\mu\text{molN/L}$ , 而当其含量超过 1  $\mu\text{molN/L}$  时, 尿素就可能成为浮游植物重要的氮源<sup>[1,12]</sup>。海南岛近岸海域尿素的分布与其它氮、磷营养盐的情况一致, 高浓度的尿素主要分布在各海湾排污口、养殖区和旅游区的近岸海域。城市居民生活和工业污水、海水养殖区高含量有机物水体的排放, 以及大量农药化肥使用后通过降雨或径流等方式将大量的氮和磷带入水体, 造成海南内海和近岸海域的污染<sup>[13]</sup>。

不同种类的浮游植物在利用尿素的能力上存在差异, 甲藻单位细胞内的脲酶活性高于硅藻等其它种类。海区中尿素浓度的升高, 不仅为浮游植物提供了更多的氮源, 刺激初级生产力, 还可能有利于鞭毛藻(包括甲藻)而非硅藻的生长, 浮游植物的种群结构因此发生改变, 从而引发种群的演替<sup>[1,12]</sup>。硅藻细胞的大量繁殖与水体中  $\text{NO}_3^-$  含量成正相关性, 而鞭毛藻(包括甲藻)更适应低  $\text{NO}_3^-$ , 高  $\text{NH}_4^+$ 、尿素和 DON 的环境<sup>[19,21]</sup>。在文昌八门湾出现高密度拟菱形藻的水体中, 所测脲酶活性较低, 可能与拟菱形藻吸收利用尿素的能力和细胞内的脲酶活性不高有关。海南春季以硅藻为优势种, 相对于硅藻, 甲藻种类少细胞密度低, 有些海区监测不到甲藻, 而在甲藻细胞密度达到  $10^4$ — $10^5$  个/L 水平的水体中发现其尿素和脲酶活性均处于较高水平。大东海硝酸盐浓度较低, 部分海区尿素浓度高于硝酸盐, 尿素占 TDN 的比重高于其它海湾。在大东海海域的水体发现, 甲藻种类最多且平均密度高于其它海湾。多元回归分析表明, 海南岛 DON 对甲藻细胞密度有着较为重要的影响, 北部海湾甲藻生长可能主要受到尿素的影响, 而南部甲藻细胞密度则与  $\text{NH}_4^+$  和 DON 相关性显著。

#### 4 结语

2011 年春季, 对海南岛的海口湾、澄迈湾、文昌八门湾、陵水新村湾和大东海 5 个海湾开展调查研究, 得出以下结论: 1) 海南岛近岸水体中以硝酸盐为主要氮源, 尿素平均浓度为 2.07—3.30  $\mu\text{molN/L}$ , 高于  $\text{NH}_4^+$  浓度, 占 TDN 含量的 14%—38%, 尿素占 TDN 比例由北向东、南方向加重递增。2) 浮游生物脲酶活性为 0.30—0.84  $\mu\text{molN} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 海口湾最高, 从北部向东、南部逐渐减少。各海湾较高水平的尿素和脲酶活性主要分在排污口、养殖区或旅游区的近岸海域。3) 海南春季以硅藻为优势种, 甲藻种类少且细胞密度低, 部分甲藻细胞密度达到  $10^4$ — $10^5$  个/L 的水体, 尿素和脲酶活性也处于较高水平。尿素在一定程度上促进春季海南岛近岸海域甲藻等浮游植物的生长, 可能对浮游植物群落结构的改变产生重要影响。

#### References:

- [1] Glibert P M, Harrison J, Hei C A, Seitzinger S. Escalating worldwide use of urea — a global change contributing to coastal eutrophication. *Biogeochemistry*, 2006, 77(3): 441-463.
- [2] Berman T, Bronk DA. Dissolved organic nitrogen: a dynamic participant in aquatic ecosystems. *Aquatic Microbial Ecology*, 2003, 31(3): 279-305.
- [3] Glibert P M, Trice T M, Michael B, Lane L. Urea in the tributaries of the Chesapeake and coastal bays of Maryland. *Water Air Soil Pollution*, 2005, 160(1/4): 229-243.
- [4] Zehr J P, Kudela R M. Nitrogen cycle of the open ocean: from genes to ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 2011, 3(1): 197-225.
- [5] Solomon C M, Collier J L, Berg G M, Glibert P M. Role of urea in microbial metabolism in aquatic systems: a biochemical and molecular review. *Aquatic Microbial Ecology*, 2010, 59(1): 67-88.
- [6] Solomon C M, Alexander J A, Glibert P M. Measuring urease activity in environmental samples. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2007,

- 5; 280-288.
- [ 7 ] Anderson D M, Glibert P M, Burkholder J M. Harmful algal blooms and eutrophication: nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, 2002, 25(4): 704-726.
- [ 8 ] Revilla M, Alexander J, Glibert P M. Urea analysis in coastal waters: comparison of enzymatic and direct methods. *Limnology and Oceanography: Methods*, 2005, 3: 290-299.
- [ 9 ] Collos Y, Vaquer A, Laabir M, Abadie E, Laugier T, Pastoureaud A, Souchu P. Contribution of several nitrogen sources to growth of *Alexandrium catenella* during blooms in Thau lagoon, southern France. *Harmful Algae*, 2007, 6(6): 781-789.
- [ 10 ] Kudela R M, Lane J Q, Cochlan W P. The potential role of anthropogenically derived nitrogen in the growth of harmful algae in California, USA. *Harmful Algae*, 2008, 8(1): 103-110.
- [ 11 ] Solomon C M, Glibert P M. Urease activity in five phytoplankton species. *Aquatic Microbial Ecology*, 2008, 52(2): 149-157.
- [ 12 ] Fan C, Glibert P M, Burkholder J M. Characterization of the affinity for nitrogen, uptake kinetics, and environmental relationships for *Prorocentrum minimum* in natural blooms and laboratory cultures. *Harmful Algae*, 2003, 2(4): 283-299.
- [ 13 ] Chen C F. A study on the problems of the coast and the ocean resources and environment in Hainan Province and the corresponding countermeasures. *Marine Science Bulletin*, 2002, 21(2): 62-67.
- [ 14 ] Pan Y Z, Song F, Gao J X, Jin Y, Fu G J, Ye N L. Study on aquatic ecological pollution in inshore areas in Hainan Province. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(1): 58-63.
- [ 15 ] Wang H Y, Tang T L, Huang F. The status and countermeasures of red tide in Hainan province. *China Fisheries*, 2010, (1): 66-67.
- [ 16 ] GB/T 12763. 4—2007. Specifications for oceanographic survey. Beijing: China Standard Press, 2007: 5-16.
- [ 17 ] Huang S, Shi X Y, Zhang C S, Zhuo S H. Urea concentration and its distribution in the adjacent area of Hangzhou bay in spring of 2010. *Marine Environmental Science*, 2012, 31(1): 58-61.
- [ 18 ] Antia N J, Harrison P J, Oliveira L. The role of dissolved organic nitrogen in phytoplankton nutrition, cell biology and ecology. *Phycologia*, 1991, 30(1): 1-89.
- [ 19 ] Glibert P M, Azanza R, Burford M, Furuya K, Abal E, Al-Azri A, Al-Yamani F, Andersen P, Anderson D M, Beardall J, Berg G. M, Brand L, Bronk D, Brookes J, Burkholder J M, Cembella A, Cochlan W P, Collier J L, Collos Y, Diaz R, Doblin M, Drennen T, Dyhrman S, Fukuyo Y, Furnas M, Galloway J, Granéli E, Ha D V, Hallegraeff G, Harrison J, Harrison P J, Heil C A, Heimann K, Howarth R, Jauzein C, Kana A A, Kana T M, Kim H, Kudela R, Legrand C, Mallin M, Mulholland M, Murray S, O'Neil J, Pitcher G, Qi Y Z, Rabalais N, Raine R, Seitzinger S, Salomon P S, Solomon C, Stoecker D K, Usup G, Wilson J, Yin K D, Zhou M J, Zhu M Y. Ocean urea fertilization for carbon credits poses high ecological risks. *Marine Pollution Bulletin*, 2008, 56(6): 1049-1056.
- [ 20 ] Dyhrman S T, Anderson D M. Urease activity in cultures and field populations of the toxic *dinoflagellate Alexandrium*. *Limnology Oceanography*, 2003, 48(2): 647-655.
- [ 21 ] Heil C A, Glibert P M, Glibert P M, Murasko S. Nutrient quality drives phytoplankton community composition on the West Florida shelf. *Limnology and Oceanography*, 2007, 52(3): 1067-1078.

#### 参考文献:

- [ 13 ] 陈春福. 海南省海岸带和海洋资源与环境问题及对策研究. *海洋通报*, 2002, 21(2): 62-67.
- [ 14 ] 潘英姿, 宋福, 高吉喜, 金羽, 符国基, 叶能录. 海南省近岸海域水生生态污染研究. *环境科学研究*, 2007, 20(1): 58-63.
- [ 15 ] 王红勇, 唐天乐, 黄飞. 海南省赤潮状况及防治对策. *中国水产*, 2010, (1): 66-67.
- [ 16 ] GB/T 12763. 4—2007. 海洋调查规范. 北京: 中国标准出版社, 2007: 5-16.
- [ 17 ] 黄爽, 石晓勇, 张传松, 卓书辉. 2010 年春季杭州湾邻近海域尿素含量及平面分布. *海洋环境科学*, 2012, 31(1): 58-61.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013( Semimonthly)

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring ..... SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method ..... LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ..... ZHAO Jingzhu (4552)

### Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season ..... Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring ..... FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring ..... HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* ..... LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ..... ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH<sub>4</sub> emission fluxes ..... WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide ..... WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils ..... XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars ..... BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking ..... LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO<sub>2</sub> stress ..... CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil ..... XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

### Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level ..... XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ..... ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration ..... LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure ..... LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ..... ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve ..... LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)



- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China ..... LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations ..... KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ..... ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City ..... LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ..... ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau ..... SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS ..... NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area ..... WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe ..... GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China ..... WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 赵景柱

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 15 期 (2013 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元