

春季东海赤潮高发区尿素的断面分布及影响因素

苏莹^{1,2}, 姜聪聪^{1,2}, 石晓勇^{1,2,3}, 赵玉庭⁴, 梁生康^{1,2}, 王修林^{1,2}

(1. 中国海洋大学 化学化工学院, 山东 青岛 266100; 2. 中国海洋大学 海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 山东 青岛 266100; 3. 国家海洋局海洋减灾中心, 北京 100194; 4. 山东省海洋环境与资源研究院, 山东 烟台 264006)

摘要:根据2011年3月31日至5月27日对东海赤潮高发区ZA断面的6次调查数据,分析了该断面赤潮暴发前后尿素的断面分布及影响因素。结果表明:3月31日至4月20日硅藻赤潮暴发期间,尿素的浓度范围为0.06~3.27 $\mu\text{mol/L}$,陆源输入为硅藻赤潮期间影响尿素浓度的主要因素;4月28日至5月27日甲藻赤潮暴发期间,尿素的浓度范围为0.12~3.46 $\mu\text{mol/L}$,浮游植物的吸收利用是影响甲藻赤潮期间尿素浓度的主导因素。调查期间,该断面尿素浓度高值区整体呈现由近岸向远岸,再向近岸转移的分布趋势。且随着时间的推移,该断面尿素浓度整体呈现降低的趋势。根据甲藻赤潮暴发期间,ZA断面尿素浓度低于硅藻赤潮暴发期间,且低值区与叶绿素浓度高值区相对应这一尿素浓度分布特征和浓度水平,推测甲藻对尿素的有效吸收利用是维持东海赤潮高发区甲藻赤潮暴发的原因之一。

关键词:东海;尿素;赤潮;硅藻;甲藻

中图分类号:X145 文献标识码:A 文章编号:1007-6336(2015)02-0171-05

Distribution of urea section and its affecting factors in red-tide-frequent-occurrence area in spring

SU Ying^{1,2}, JIANG Cong-cong^{1,2}, SHI Xiao-yong^{1,2,3}, ZHAO Yu-ting⁴,
LIANG Sheng-kang^{1,2}, WANG Xiu-lin^{1,2}

(1. College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 3. National Marine Hazard Mitigation Service, Beijing 100194, China; 4. Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China)

Abstract:Based on the 7 times of ZA section surveys in Dong Sea from March 31 to May 27 in 2011, characterization of urea sectional distribution in this area and its affecting factors during the outbreak of Harmful Algal Blooms were analyzed. The results showed that the concentration of urea ranged from 0.06 to 3.27 $\mu\text{mol/L}$ during outbreak of diatom bloom from March 31 to April 28, mainly influenced by Changjiang dilution water. It decreased a lot and remained 0.12~2.71 $\mu\text{mol/L}$ when dinoflagellate red tide broke out in May, affected by metabolism of phytoplankton significantly. In the cruises, the high-value region of urea concentration presented characteristic of transferring far away from coastal area and then slowly closing the inshore. The whole urea contents showed a decreasing trend with the

收稿日期:2013-12-24,修订日期:2014-06-05

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB428701)

作者简介:苏莹(1986-),女,内蒙古包头人,博士研究生,主要研究方向为海洋污染生态化学,E-mail:bingfengling306@qq.com

通讯作者:石晓勇,E-mail:shixy@ouc.edu.cn

passing of time. The level of urea concentration during outbreak of dinoflagellate red tide was less than that when diatom red tide outbreak and its low area was corresponded with the high values of the concentration of chlorophyll, suggesting that the effective absorption and utilization of urea for dinoflagellate was one of the reasons to maintain a high incidence of dinoflagellate red tide in East China Sea.

Key words: East China Sea; urea; red tide; diatom; dinoflagellate

近几十年,随着江浙沿海和长江三角洲地区工农业经济的高速发展,我国东海富营养化程度逐年增加,特别是长江口及邻近海域,赤潮频繁发生,其暴发次数占全国记录总数的42%左右^[1],已成为中国近海赤潮暴发最严重的海域之一。且该海域氮肥和工业原料的使用量逐年增加,加之沿海养殖业生物排泄物、残留饲料等有机物的污染,进一步加重了其富营养化程度^[2-3]。有学者指出,赤潮的暴发机理较为复杂,一般认为营养盐是引起近海海域有害赤潮暴发的主要因素之一^[4-5]。国内外关于无机态营养盐对赤潮暴发的影响已有较多报道^[6-8],但有机态营养盐,尤其是尿素,对赤潮暴发的影响却鲜有报道。

氮营养盐是海洋中最主要的3种营养盐之一。在海洋生态系统中,溶解有机氮被认为是氮源中较有活力的部分,其中尿素被认为是溶解有机氮的一个重要组成成分^[9-10]。Kudela和Cochlan发现在大洋区域中被吸收的尿素占总氮的56%,在河口区和沿岸海域,被吸收的尿素一般超过总氮的50%^[11]。在亚北极的太平洋区域,相比微型浮游生物($<10\ \mu\text{m}$),中型浮游植物($1\sim 200\ \mu\text{m}$)对尿素的吸收速率更高^[12]。研究表明,尿素对某些能引发赤潮的浮游植物的生长具有不同程度的促进作用^[13-16]。因此,研究尿素的含量及分布特征对赤潮高发区赤潮暴发及演替具有重要的意义。

本研究根据2011年春季对东海赤潮高发区内ZA断面的6次现场调查数据,分析了该断面在赤潮暴发前后尿素的含量及分布特征,并结合盐度、叶绿素等相关因子,探讨了尿素的来源及影响因素,为了解尿素在东海赤潮高发区赤潮生消及演替中的作用提供数据资料和理论基础。

1 材料与方法

1.1 调查站位分布

2011年3月31日至5月27日在东海赤潮暴发期区内,对ZA断面进行了6次现场调查。ZA

断面($122^\circ\sim 123.5^\circ\text{E}, 29^\circ\sim 30^\circ\text{N}$)位于长江口附近海域,受长江冲淡水、台湾暖流、黑潮、闽浙沿岸水等海流的影响,是研究东海赤潮暴发的重点区域,且该断面赤潮的变化具有代表性,因此研究其尿素浓度随时间的变化具有重要意义。研究区域如图1所示。

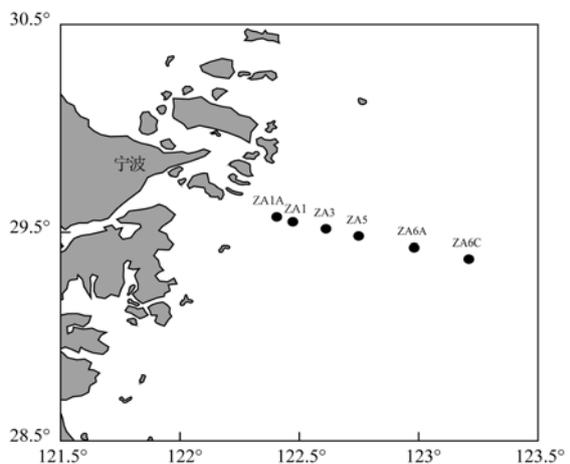


图1 调查区域及站位布设

Fig. 1 Survey area and stations

1.2 样品采集与测定

用Niskin采水器采集表、中、底3层水样(中层取10 m层水样,底层取离海底2 m层水样),所取水样经孔径 $0.7\ \mu\text{m}$ 的玻璃纤维滤膜(Whatman GF/F,预先在 450°C 高温中烧4 h)过滤,滤液装于100 mL聚乙烯瓶中,放于 -20°C 环境中保存。尿素测定采用二乙酰一肟法^[17],用Unico-2000型分光光度计,在520 nm处测其吸光度,测量精度为99.74%,标准偏差为 $\pm 0.1\ \mu\text{mol/L}$ 。采用荧光分光光度法测定水样中Chl *a*含量,海水盐度采用直读式温盐深探测仪(Seabird 911-plus-CTD)进行测定,测定精度为0.01。

2 结果与讨论

2.1 ZA断面的尿素浓度变化特征

表1为2011年春季东海赤潮高发区ZA断面尿素的平均浓度及变化范围。3月31日,ZA1A站表层和ZA5站中层出现尿素浓度的高值区,最

高浓度分别为 3.27 $\mu\text{mol/L}$ 、2.66 $\mu\text{mol/L}$ 。至 4 月 10 日,尿素浓度高值区出现在 ZA1A 站、ZA3 站中层,最高值分别为 2.83 $\mu\text{mol/L}$ 和 2.92 $\mu\text{mol/L}$ 。4 月 20 日,ZA6A 站中层出现尿素浓度高值区,尿素浓度达 2.60 $\mu\text{mol/L}$ 。高值区随着时间的变化由近海向远海逐渐转移。4 月 28 日,整个断面表中,底层尿素浓度分布较为均匀,尿素浓度最高值出现在 ZA1A 站的中层,浓度为 3.46 $\mu\text{mol/L}$ 。至 5 月 15 日,ZA 断面出现三个尿素浓度高值区,分别为 ZA1 站底层,ZA3 站表层及 ZA6A 站中层,其浓度分别为 2.71 $\mu\text{mol/L}$ 、2.13 $\mu\text{mol/L}$ 和 2.16 $\mu\text{mol/L}$ 。5 月 27 日尿素浓度的高值区分别出现在 ZA1 站底层及 ZA6A 站底层,其浓度分别为 1.23 $\mu\text{mol/L}$ 和 0.83 $\mu\text{mol/L}$ 。相比之前,高值区尿素浓度明显大幅降低。

表 1 2011 年春季东海赤潮高发区 ZA 断面尿素的平均浓度及变化范围

Tab.1 Average concentrations of urea and its change range in survey area in spring,2011

项目	尿素含量/ $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$					
	2011-03-31	2011-04-10	2011-04-20	2011-04-28	2011-05-15	2011-05-27
表层	1.19 ~ 3.27	0.79 ~ 1.86	0.50 ~ 2.42	0.71 ~ 2.18	0.16 ~ 2.13	0.12 ~ 0.46
中层	0.66 ~ 2.66	0.98 ~ 2.92	0.25 ~ 2.60	0.23 ~ 3.46	0.29 ~ 2.16	0.19 ~ 0.62
底层	0.44 ~ 1.00	0.06 ~ 2.59	0.78 ~ 1.70	0.16 ~ 2.59	0.56 ~ 2.71	0.36 ~ 1.23
整体浓度	0.44 ~ 3.27	0.06 ~ 2.92	0.25 ~ 2.60	0.16 ~ 3.46	0.16 ~ 2.71	0.12 ~ 1.23
平均值 \pm S. D.	1.41 \pm 0.75	1.39 \pm 0.78	1.31 \pm 0.70	1.48 \pm 0.91	1.19 \pm 0.73	0.56 \pm 0.31

2.2 硅藻赤潮暴发期间(3月31日~4月20日) ZA 断面尿素的断面分布特征及影响因素

图 2 为硅藻赤潮暴发期间 ZA 断面尿素、盐度及 Chl *a* 的断面分布。以盐度 31 为陆源影响区域的界限^[21-22],由盐度断面分布可以看出,3 月 31 日,尿素浓度高值区出现在近岸海区(ZA1A 站),其主要受陆源输入的影响。在此期间,携带大量尿素的长江冲淡水输入该区域,使得 ZA1A 站尿素浓度最高,其影响范围可达 ZA1 站底层,且随着离岸距离的增加其影响逐渐减弱。ZA5 站的中层位于陆源影响区域界线处,由于盐度 31 附近的海区属于咸淡水混合区,在咸淡水混合过程中,底层尿素被输送到中层及表层^[23],导致了 ZA5 站中层尿素浓度出现高值。根据航次报告可知,在此调查期间,ZA6A、ZA6C 站发现硅藻赤潮,Chl *a* 浓度高值出现在 ZA6A 站的表、中层。除无机氮源外,尿素作为一种有机氮源也能被适量吸收^[24-25],由此使得这 2 个站尿素浓度较低。

4 月 10 日,ZA 断面的尿素浓度分布特征与 3

根据国家重点基础研究发展计划(973)项目 2011 年航次生物专业报告,在该航次调查期间,ZA 断面于 3 月 31 日暴发硅藻赤潮,至 4 月 20 日逐渐消散。4 月 28 日,甲藻赤潮开始发生,局部调查海区再次暴发小规模硅藻赤潮。5 月该断面暴发大规模甲藻赤潮。随着时间的推移,尿素浓度整体上呈现降低的趋势。且与该断面硅藻赤潮暴发期间相比,甲藻赤潮暴发期间尿素浓度降低地更快,这可能与甲藻能更好地吸收尿素有关系。有文献报道,在赤潮暴发期间,当无机氮源与有机氮源同时存在时,无机氮源被优先吸收利用,其次再吸收有机氮源^[18-20]。因此,相比硅藻赤潮时期,甲藻赤潮暴发期间尿素浓度降低地更快,可以推测尿素有可能是维持甲藻赤潮暴发的原因之一。

月 31 日相似。离岸较近的 ZA1A 站由于受到陆源输入的影响,其尿素浓度仍较高。而 ZA3 站中层出现高值区,同样也是受到咸淡水混合的影响。相对于 3 月 31 日,ZA6A 站中、底层尿素浓度均有所升高。中层可能是受携带高营养盐的黑潮次表层水涌升的影响,底层则是由于沉积物悬浮释放而导致尿素浓度升高。

4 月 20 日,ZA 断面的尿素分布与上述两个时期的断面分布有较大差异,整体呈现出远岸浓度高于近岸浓度的分布特征。高值区位置也出现明显不同,只在 ZA6A 站位的中层出现一高值中心。该高值区是受到携带高营养盐的黑潮次表层水涌升对其的补充及浮游植物的代谢释放影响。由调查期间 ZA 断面的盐度分布可以看出,陆源输入主要影响近岸海区,与之前阶段相比,其影响范围有所减小。这是由于此时长江水量逐渐增大,稀释作用增强。加之之前硅藻对表、中层尿素的吸收利用,两者共同导致了此时期近岸海域尿素浓度的降低。

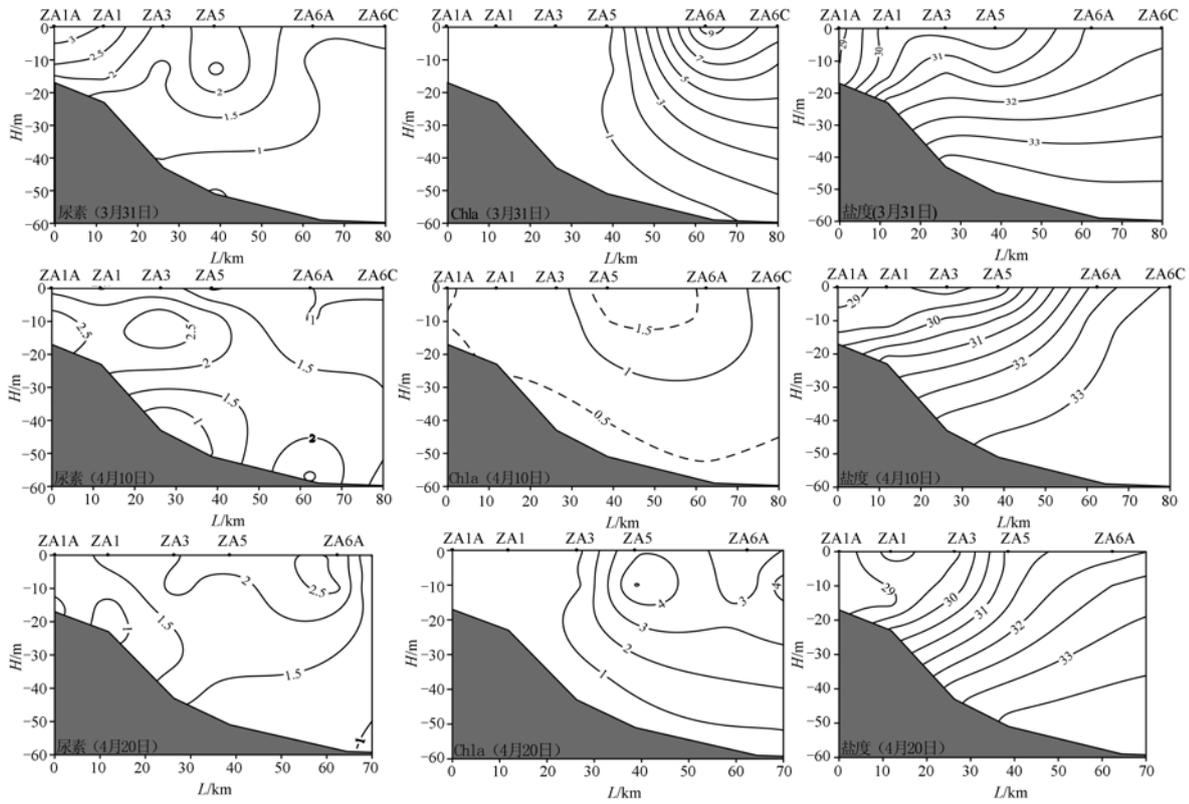


图2 2011年春季硅藻赤潮暴发期ZA断面各要素分布

Fig.2 Distribution of the elements in section ZA during outbreak of diatom bloom in 2011

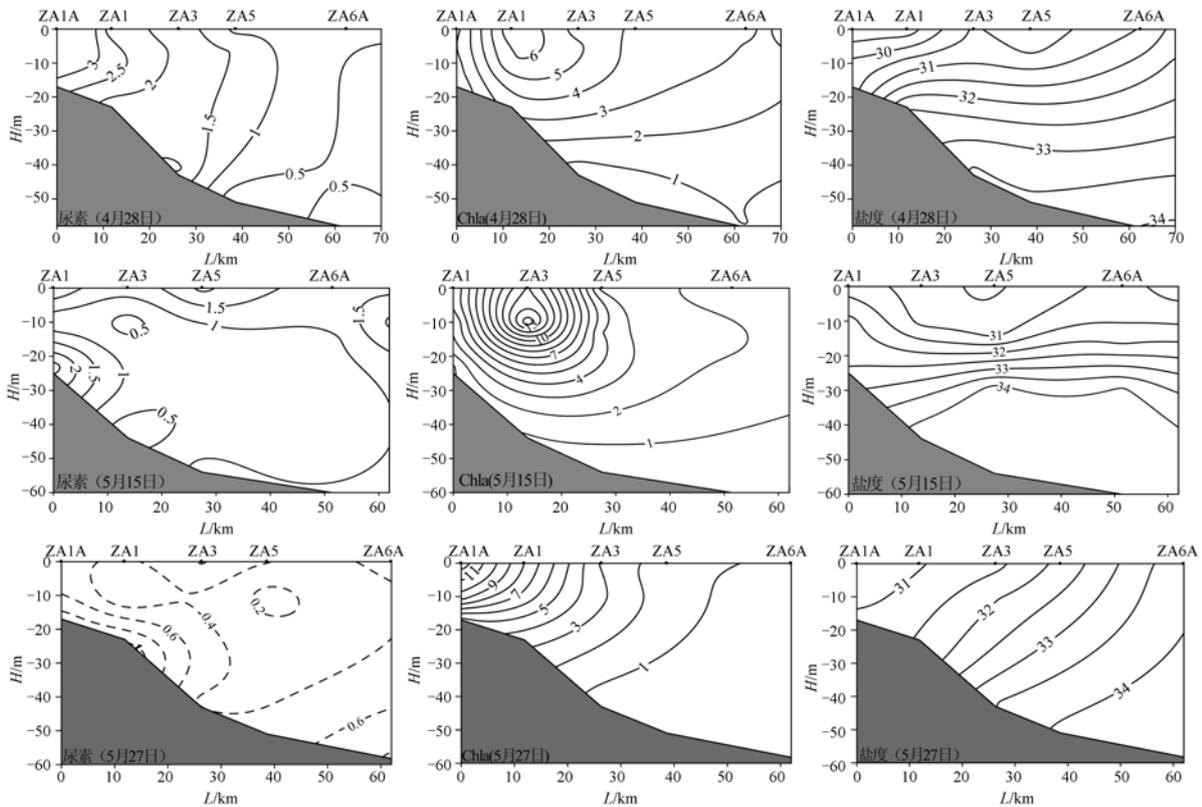


图3 2011年春季甲藻暴发期ZA断面各要素分布

Fig.3 Distribution of the elements in section ZA during outbreak of dinoflagellate red tide in 2011

2.3 甲藻赤潮暴发期间(4月28日~5月27日)

ZA断面尿素的断面分布特征及影响因素

图3为甲藻赤潮暴发期间ZA断面尿素、盐度及Chl *a*的断面分布。4月28日,ZA断面表层受陆源输入影响依然明显。此时长江进入丰水期,受陆源输入影响的海域向外有所延伸,同时受携带高营养盐的台湾暖流补给的影响^[26-27],该断面在近岸海域表现出较高的尿素浓度。叶绿素浓度高值区向近岸靠近,在ZA1、ZA3、ZA5站均发现东海原甲藻赤潮。

在5~9月,长江冲淡水主体向东北方向扩展至南黄海,仅少部分沿岸南下输入东海^[24,28-30],使得陆源输入对ZA断面的影响减小。5月15日,该断面盐度小于31的海域基本局限于表、中层且范围明显减小。此时该断面暴发大面积东海原甲藻赤潮,在ZA3站表、中层出现叶绿素浓度的最高值,且与该断面尿素浓度的低值区相对应。可以推测该断面在硅藻赤潮暴发后,海水中的无机氮营养盐被大量消耗,此时尿素作为一种有效的有机氮源,在适宜的光照和温度条件下,被甲藻快速吸收利用,使得尿素浓度降低。同时可以看出,该断面下层水域出现大面积盐度大于34的海区,且盐度的断面分布在底层等值线也出现一定程度的平行现象,推测此时有外海高盐水入侵^[21,31]。

5月27日,ZA断面的尿素分布与15日相似。由盐度断面图可知,受陆源输入影响的区域主要集中在近岸15 m以浅的浅海,且影响范围进一步缩小。在ZA1A、ZA1、ZA3站发现东海原甲藻赤潮,可以看出此时赤潮的暴发范围已由远海移动到近海。断面尿素浓度降至较低,且近海、远海的尿素浓度无太大差别,推测大部分尿素已被东海原甲藻吸收。

3 结论

(1)调查分析结果表明,东海赤潮高发区ZA断面尿素的浓度变化及断面分布与多种因素有关,且在不同赤潮优势种时期,其影响因素与影响程度均不同。

(2)3月底至4月中旬,硅藻赤潮暴发期间,ZA断面尿素浓度高值区主要分布在近岸区域,主要受陆源输入影响。随着硅藻赤潮的发生、发展、维持、消散,该断面尿素的整体平均浓度略有降低,但在咸淡水混合区和黑潮次表层水流经区域

尿素浓度有所升高。4月下旬至5月下旬,甲藻赤潮暴发期间,ZA断面尿素浓度整体小于硅藻赤潮暴发期。陆源输入作用依然存在,但浮游植物对尿素的吸收利用已成为影响其浓度的主要因素。

(3)调查期间ZA断面尿素浓度的高值区整体呈现由近岸向远岸,再向近岸转移的分布趋势。且随着时间的推移,该断面尿素浓度整体呈现降低的趋势。调查前期,该断面暴发硅藻赤潮,消耗了大量无机氮,5月份甲藻赤潮暴发后,海水中无机氮的浓度不足以维持甲藻的生长,此时,尿素作为有机氮源被快速吸收利用,使得调查后期该断面尿素的浓度迅速降低,说明甲藻对尿素的有效吸收是导致东海赤潮暴发的原因之一。

致谢:本研究得到了暨南大学吕颂辉老师提供的叶绿素数据的支持,谨致谢忱!

参考文献:

- [1] 国家海洋局. 2011年中国海洋环境状况公报[R]. 北京:海洋出版社,2012.
- [2] ANDERSON D M, GARRISON D J. The ecology and oceanography of harmful algal blooms[M]. American Society of Limnology and Oceanography, 1997.
- [3] HALLEGRAEFF G M. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase[J]. *Phycologia*, 1993, 32(2): 79-99.
- [4] 张传松, 王修林, 朱德弟, 等. 营养盐在东海春季大规模赤潮形成过程中的作用[J]. *中国海洋大学学报:自然科学版*, 2007, 36(7): 1002-1006.
- [5] 王金辉, 黄秀清. 具齿原甲藻的生态特征及赤潮成因浅析[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(7): 1065-1069.
- [6] 刘新成, 沈焕庭, 黄清辉. 长江入河口区生源要素的浓度变化及通量估算[J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(3): 332-340.
- [7] 沈志良, 刘群, 张淑美, 等. 长江和长江口高含量无机氮的主要控制因素[J]. *海洋与湖沼*, 2001, 32(5): 465-473.
- [8] 宋金明. 海洋生物地球化学的产生与发展[J]. *世界科技研究与发展*, 2000, 22(3): 72-74.
- [9] SEITZINGER S P, SANDERS R W, STYLES R. Bioavailability of DON from natural and anthropogenic sources to estuarine plankton[J]. *Limnology and Oceanography*, 2002, 47(2): 353-366.
- [10] BERMAN T, BRONK D A. Dissolved organic nitrogen: A dynamic participant in aquatic ecosystems[J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2003, 31(3): 279-305.
- [11] KUDELA R M, COCHLAN W P. Nitrogen and carbon uptake kinetics and the influence of irradiance for a red tide bloom off southern California [J]. *Aquatic Microbial Ecology*, 2000, 21(1): 31-47.

(下转第189页)