

茅尾海富营养化程度及其对浮游植物生物量的影响*

Eutrophication Status and Its Impact on Phytoplankton Biomass in the Maowei Sea

蓝文陆, 彭小燕

LAN Wen-lu, PENG Xiao-yan

(广西北海海洋环境监测中心站, 广西北海 536000)

(Marine Environmental Monitoring Center of Guangxi, Beihai, Guangxi, 536000, China)

摘要:于 2003~2010 年每年的枯水季(1~3 月)、丰水季(6~8 月)和平水季(10~11 月)对茅尾海每年 3 期共 22 次表层海水取样,调查无机氮、磷酸盐、化学需氧量及浮游植物叶绿素 a 的变化,用富营养化指数评价该海域的富营养化程度,并分析富营养化程度对浮游植物生物量的影响。结果发现,茅尾海无机氮、磷酸盐和化学需氧量均显上升的趋势,富营养指数逐渐增加,富营养程度从贫营养往中度富营养和重富营养化加重。近 10 年茅尾海湾的海湾富营养化程度的增加并没有引起浮游植物生物量的急剧增加,但增加了浮游植物爆发生长的风险。

关键词:富营养 浮游植物 生物量

中图分类号:X55 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-7378(2011)02-0109-04

Abstract: Three research cruises were carried out from 2003 to 2010 to evaluate the status of eutrophication and its effects on phytoplankton biomass in the Maowei Sea. Water samples were collected during dry season, wet season and normal season, respectively. The long-term variation of inorganic nitrogen, reactive phosphate, chemical oxygen demand (COD) and chlorophyll a in the surface waters were analyzed. Increasing trends of the mean nitrogen, phosphate and COD concentration were observed. Eutrophication index indicated that level of eutrophication in the Maowei Sea increased in the past few years. Although the biomass of phytoplankton did not change as significantly as that of eutrophication index during last ten years, the risk of algal bloom in the studied areas had increased.

Key words: eutrophication, phytoplankton, biomass

钦州湾是广西的重要海湾之一,近 30 年来周边经济开发建设的迅猛发展,海湾的生态环境受影响较大^[1~3]。茅尾海位于钦州湾内湾,是一个典型的受径流影响的半封闭性海湾,近年来已经发展成为贝类等重要养殖区^[2]。营养盐是控制海洋植物的生长和海洋初级生产力的重要生源要素^[4,5],然而营养盐和有机污染物过多也会导致富营养化而对海湾的生态环境产生不良影响。本文拟探讨茅尾海富营养化长期变化趋势以及对浮游植物生物量的影响,

为亚热带海湾的生物地球化学研究、环境保护及其合理开发等提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 调查时间与站点

2003~2010 年,分别在每年的枯水季(1~3 月)、丰水季(6~8 月)和平水季(10~11 月)对茅尾海每年 3 期共 22 次综合调查。在茅尾海湾顶的钦江和茅岭江河口、湾中以及湾口设置了 5 个连续监测站点 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 (详见图 1)。

1.2 现场采样与样品分析方法

各测站采集表层海水样品(水面下 0.5 m),样品用 5L 的采水器采集。监测项目包括海水盐度、

收稿日期:2010-02-29

作者简介:蓝文陆(1980-),男,博士,主要从事环境生态监测与研究。

* 广西自然科学基金项目(2010GXNSFB013003)资助。

温度、化学需氧量(COD)、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、活性磷酸盐、叶绿素 a 等,各要素的采集、处理和分析方法均按照国家标准依据国家《海洋监测规范——海水分析》^[6]进行。无机氮浓度为硝酸盐氮、亚硝酸盐氮和氨氮浓度之和,浮游植物生物量用叶绿素 a 表示。

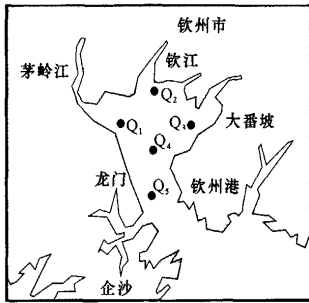


图1 站点布设

Q₁, Q₂, Q₃, Q₄, Q₅ 为监测站点。

1.3 富营养化评价方法

富营养化采用富营养化指数[*EI*]^[6,7]来评价:

$$EI = [\text{COD}(\text{mg/L}) \times \text{无机氮}(\text{mg/L}) \times \text{磷酸盐}(\text{mg/L})] \times 10^6 / 4500.$$

当 $EI < 1$ 为贫营养; $1 < EI < 2$ 为轻度富营养; $2 < EI < 5$ 为中度富营养; $5 < EI$ 为重富营养。

2 结果与分析

2.1 物理参数的变化

茅尾海处在亚热带海区,全年水温均处在较高的水平,从2003年到2010年调查期间温度的变化范围为14.4~33.2℃。而海湾的盐度较低,各站点平均盐度变化范围为0.7~25.4。海湾物理参数的季节性变化明显,丰水期显现高温低盐特征,而枯水期则为低温高盐(图2)。从图2还可以看出,近年来茅尾海水温年际间稳定,而盐度在年际间略有波动,2006年和2008年7月盐度较低。

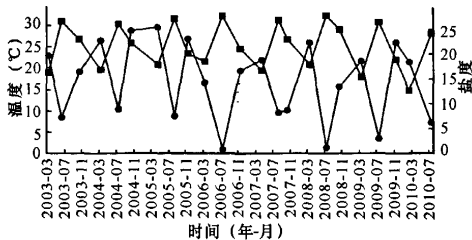


图2 茅尾海温度和盐度的变化

■: 温度; ●: 盐度。

2.2 无机氮和磷酸盐浓度的变化

调查期间,茅尾海无机氮浓度较高,而磷酸盐浓

度较低,其变化范围分别为9.93~61.57μmol/L和0.02~1.92μmol/L,平均值分别为31.25μmol/L和0.41μmol/L。

从图3可以看出,茅尾海无机氮在各水期中的变化明显,丰水期浓度最高,枯水期浓度最低,而平水期处在中间位置,大体上显现出从丰水期到枯水期浓度逐渐降低的趋势。而磷酸盐浓度却在多数丰水期显现出年份最低的浓度,而在平水期(2004~2006年)或枯水期(2007~2010年)浓度相对较高。无机氮浓度最高值出现在2006年丰水期和2010年丰水期,最低浓度出现在2004年平水期;磷酸盐最高值出现在2007年平水期,最低值出现在2006年枯水期。从长期变化趋势来看,无机氮浓度显现逐渐增高的趋势,磷酸盐也略显增高的趋势。

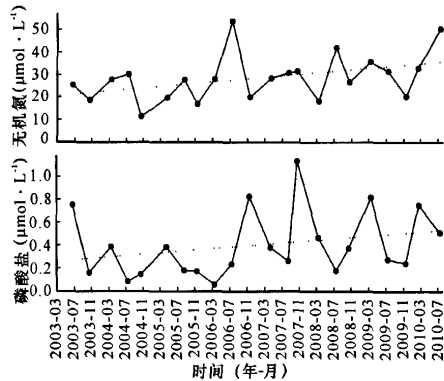


图3 茅尾海无机氮和磷酸盐浓度的变化

2.3 COD和富营养化指数的变化

从图4可以看出,茅尾海COD浓度变化明显,在2003年,海区的COD浓度较低,而从2004年开始,COD浓度开始逐渐增加。COD浓度在一年中的变化也比较一致,从2004年开始,丰水期是一年中浓度最高的水期。近10年茅尾海COD显现出明显的逐渐增加的趋势,而且这种趋势比无机氮和磷酸盐更明显。

随着茅尾海营养盐和COD的变化,近10年海区富营养化指数发生了较大的变化。2006年之前,海区富营养化指数较低,富营养化指数低于1.0,而从2006年到2010年,营养盐指数显现逐渐增高的趋势,最高富营养化指数出现在2007年平水期和2010年丰水期,其值超过了6.0(图4)。富营养化指数展现了海区的富营养化程度的变化情况,2006年之前海区处在贫营养状态,而从2006年以后,海区处在轻度和中度富营养,个别水期达到了重富营养的程度(图4)。

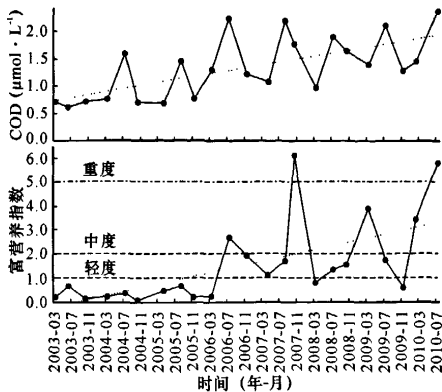


图4 茅尾海富营养化指数及化学需氧量的变化

2.4 浮游植物叶绿素 a 的变化

从图5可以看出,在2003、2007~2008和2010年,海区叶绿素a浓度较低,叶绿素a平均浓度均小于 $2.0\ \mu\text{g}/\text{L}$ 。2004~2006年,叶绿素a浓度增加,丰水期浓度达到 $4.0\ \mu\text{g}/\text{L}$ 以上。2009年丰水期叶绿素a浓度达到了研究期间的最高值,浓度达到 $7.0\ \mu\text{g}/\text{L}$ 。除2003年外,各年份叶绿素a在丰水期表现出最高浓度,而枯水期浓度最低。而在2007年和2008年的3个水期中,叶绿素a的浓度变化幅度小。总体上叶绿素在2003~2010年变化波动较大,但变化趋势不明显,处在相对平稳的波动状态。

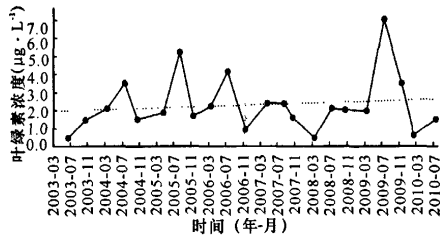


图5 茅尾海叶绿素 a 浓度的变化

3 讨论

3.1 茅尾海营养盐和 COD 变化趋势及主要的影响因素

从上述结果可以看出,茅尾海无机氮和磷酸盐浓度从2003到2010年逐渐增加。韦蔓新等^[1]通过比较分析1983、1990和1999年平水期茅尾海及其附近海域的营养盐,得出钦州湾20世纪最后20年间无机氮浓度明显递增;而磷酸盐正好相反,明显递减的结论。近10年与20世纪最后20年相比,茅尾海无机氮浓度仍在增加;而磷酸盐浓度则继续下降至2005年之后又开始回升,到2010年其浓度接近

于20世纪80年代的水平,表明该海湾营养盐变化趋势发生了变化。

营养盐的浓度变化是海区生物活动和水文条件的综合影响^[4],输入与消耗被普遍认为是营养盐分布和变化的主要因素^[8,9]。河口和近岸受很多方面因素的影响,一般来说,河口和近岸的营养盐主要受浮游植物的活动和陆源径流以及经济生物新陈代谢等共同影响^[10],其中河流输入和浮游植物消耗一直是研究人员关注的焦点。从无机氮的变化与盐度的变化可以看出,高浓度的无机氮与低盐度有较好的吻合关系(图2和图3),统计分析结果也显示了无机氮与盐度之间具有显著的负相关性($P < 0.01$),表明径流输入对海湾营养盐变化起着主导作用。COD变化也显示出了丰水期最高浓度而枯水期最低的规律(图4),表明陆源输入是海区COD浓度变化的最主要影响因素。陆源输送只对无机氮具有重大影响作用,而对钦州的磷酸盐的影响不大^[1]。磷酸盐在各水期的变化多倾向于丰水期低而枯水期高,且其变化与温度和叶绿素a具有显著负相关性,表明了浮游植物的消耗是磷酸盐变化的主要因素。夏季浮游植物生长盛期消耗了磷酸盐而冬季浮游植物减少导致对磷酸盐的消耗也少,而丰水期径流输入的补充不足以抵消浮游植物的消耗,从而造成了磷酸盐在各水期的变化与无机氮和磷酸盐的不同。

然而在相对稳定的径流输入的径流环境条件下(图2),近10年无机氮与COD的变化却显现出逐渐增加的趋势(图3和图4)。钦江和茅岭江沿岸流域在化肥使用方面是以氮肥为主,过量的氮肥随着农田排灌或雨水冲刷而大量流失最后汇入海湾是导致20世纪80年代以来无机氮浓度增加的主要原因^[1~3]。到最近10年,沿岸流域化肥使用状况没有发生根本变化,因而径流输入的不断加导致了无机氮浓度逐渐增加的趋势没有改变。随着近年来流域经济的不断发展,COD排放量的逐年增加,导致了输入茅尾海的COD显现出明显增加的趋势。此外,生活污水等有机物的分解再生也是无机氮和磷酸盐的补充之一^[7,8]。研究结果中同期的COD浓度逐年增加的趋势,从一定程度上也促进了无机氮和磷酸盐的补充。陆源供应、营养盐的再生途径及生物消耗在各水期及年份之间的变化,是导致茅尾海湾营养盐变化的主要因素。

3.2 富营养化变化对浮游植物生物量的影响

近10年随着无机氮和磷酸盐浓度的增加,更重要的是有机污染物的增加,导致了茅尾海营养盐指

数的不断增加,从2006年开始海湾基本处于富营养状态,丰水期达到了中度富营养化和重富营养化程度(图5)。与上世纪末相比茅尾海的富营养化程度更明显^[1,2]。然而从图4和图5比较富营养化与浮游植物叶绿素a的变化趋势可以看出,快速加重的富营养化状态没有导致浮游植物生物量的快速增加,近10年叶绿素a的增加趋势不明显。富营养指数是无机氮、磷酸盐和COD的综合指标^[2,7],从COD和富营养化指数的变化趋势的结果可以看出,茅尾海富营养指数的变化接近于COD的变化,表明COD在其中起主要作用,这可能是富营养化的增加没有导致浮游植物生物量增加的主要原因之一。

营养盐结构比例失调导致某个营养元素限制很可能是导致浮游植物叶绿素a没有随着营养盐浓度的急剧增加而明显增加的主要原因。图6列出了同期研究中N/P比值变化,其比值变化在24.5~510.6之间,同期的研究结果也表明茅尾海的Si/P也处于较高水平。Si:N:P的原子比可作为判断海域营养盐限制情况的重要参考指标^[9-12]。当营养盐总水平满足浮游植物生长时,浮游植物的Si:N:P的原子比为16:16:1,且浮游植物通常按这一比例吸收营养盐^[5,7],偏离过高或过低都可能引起浮游植物的生长受限制或胁迫。虽然近10年无机氮和磷酸盐呈增加趋势,从而引起了N/P略微下降(图6),但是这期间茅尾海N/P总体较高(>24),表明该海湾浮游植物受P限制明显。营养盐吸收动力学研究表明,Si=2 μmol/L, DIN=1 μmol, P=0.1 μmol可作为浮游硅藻生长的最低阈值^[13,14]。近10年茅尾海无机氮浓度均明显高于2 μmol,然而在2003年7月和2006年3月磷酸盐的浓度低于浮游硅藻吸收的最低阈值,其它时期磷酸盐也处在较低浓度水平(<0.4 μmol)。近10年虽然磷酸盐也显示了增加的趋势,但增加较少,N/P仍远高于22,表明P在海湾中处于较明显限制状态,使浮游植物不能充分利用N和Si,从而导致该

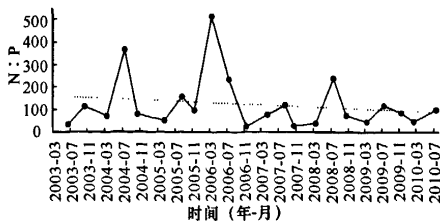


图6 茅尾海N:P比值的变化

海湾浮游植物生物量水平偏低。这是近10年茅尾海虽然富营养化程度明显增加但叶绿素a的增加趋势也不明显(图2和图5)的主要因素之一。

此外,茅尾海位于茅岭江和钦江的河口,受高能量破浪、强潮流以及河流的影响,复杂的环境为浮游植物提供较高的空间异质性。这种空间异质性虽然为浮游植物多样性提供了边缘效应的条件^[15],但河口海湾的这种边缘效应也并不都表现为正效应,其对生物多样性有正负两方面的影响^[16]。在这种高干扰的条件下,浮游植物不容易形成绝对优势的种,这可能导致浮游植物生物量也不容易达到很高的水平,也一定程度上促使了近10年浮游植物生物量没有随着营养盐和富营养化程度的增加而明显增加。

另一方面,近10年随着陆源输入以及有机污染物的分解等给予了磷酸盐一定的补充和P限制一定程度的缓解,使浮游植物更有效的吸收营养盐。在这种前提下,营养盐浓度增加和富营养的加重,在环境适宜的条件下,将会使得浮游植物爆发式的繁殖和生长,甚至导致藻华。在2007年的丰水期,浮游植物叶绿素a平均浓度就达到了7.0 μg/L, Q3站点甚至高达15.7 μg/L,达到了藻华的水平。因而茅尾海营养盐浓度的不断增加和富营养化程度的加重,虽没有促使浮游植物生物量的不断增加,但却增加了赤潮的风险和隐患,在条件适宜的情况下更容易爆发赤潮,需要更多的关注。

参考文献:

- [1] 韦蔓新,赖廷和,何本茂. 钦州湾近20 a来水环境指标的变化趋势I 平水期营养盐状况[J]. 海洋环境科学, 2002, 21(3): 49-53.
- [2] 韦蔓新,董万平,赖廷和,等. 钦州湾内湾贝类养殖海区水环境特征及营养状况初探[J]. 海洋环境科学, 2001, 19(4): 51-55.
- [3] 韦蔓新,何本茂. 钦州湾近20 a来水环境指标的变化趋势V 浮游植物生物量的分布及其影响因素[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(3): 253-257.
- [4] 阚文静,张秋丰,石海明,等. 近年来渤海湾营养盐变化趋势研究[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(2): 238-241.
- [5] 张静,张瑜斌,周凯,等. 深圳湾海域营养盐的时空分布及潜在性富营养化程度评价[J]. 生态环境学报, 2010, 19(2): 253-261.
- [6] 中国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会. GB17378.4-2007 海洋监测规范. 第4部分:海水分析[s]. 北京:中国标准出版社.

(下转第116页)

生产出的木薯渣薪棒热值较高,每吨可以折合成0.46t标煤,可以直接用作锅炉燃料,不需要对锅炉进行改造,可以降低锅炉工作强度。

以木薯渣生产燃料薪棒替代燃煤,经济效益、环境效益显著,可以提高企业的环境友好程度,值得深入研究并推广应用。

参考文献:

- [1] 王文泉,叶剑秋,李开绵,等.我国木薯酒精生产现状及其产业发展关键技术[J].热带农业科学,2006,26(4):44-49.
- [2] 陈露,吕宇晶,郑丹,等.广西木薯产业发展的市场前景分析[J].今日南国,2009(01):88-89.
- [3] 郝静,刘钢,左福元.木薯渣的饲用价值及应用[J].饲料研究,2007(11):64-66.
- [4] 王刚,李明,王金丽,等.热带农业废弃物资源利用现状与分析——木薯废弃物综合利用[J].广东农业科学,2011(01):12-14.
- [5] 吕育财,王小芬,朱万斌,等.木薯加工废弃物堆肥化中氰化物的降解及腐熟度的研究[J].环境科学,2009,30(5):1556-1560.
- [6] 邹璇,王德汉,李淑仪,等.木薯渣堆肥及其对难溶性磷的活化试验研究[J].生态环境学报,2010,19(1):81-85.

(责任编辑:陈小玲 邓大玉)

(上接第112页)

- [7] 张继民,刘霜,张琦,等.黄河口附近海域营养盐特征及富营养化程度评价[J].海洋通报,2008,27(5):65-72.
- [8] 张哲,王江涛.胶州湾营养盐研究概述[J].海洋科学,2009,33(11):90-94.
- [9] 刘慧,董双林,方建光.全球海域营养盐限制研究进展[J].海洋科学,2002,26(8):47-53.
- [10] Turner R E, Rabalais N N, Justic D, et al. Future aquatic nutrient limitations [J]. Marine Pollution Bulletin, 2003, 46: 1032-1034.
- [11] 石海明,尹翠玲,张秋丰,等.近年来渤海湾赤潮监控区营养盐变化及其结构特征分析[J].海洋环境科学,2010,29(2):246-249.
- [12] 池缔萍,郭翔宇,钟仕花.近5a来深圳大鹏湾南澳赤潮监控区营养盐变化及其结构特征[J].海洋环境科学,2010,29(4):564-569.
- [13] Nelson D M. Kinetics of silicic acid uptake by natural diatom assemblages in two Gulf Stream warm-core rings [J]. Marine Ecology Progress Series, 1990, 62: 283-292.
- [14] Justic D, Rabalais N N, Turner R E, et al. Changes in nutrient structure of river-dominated coastal waters: Stoichiometric nutrient balance and its consequences [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1995, 40: 339-356.
- [15] Justic D, Rabalais N N, Turner R E. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication [J]. Marine Pollution Bulletin, 1995, 30: 41-46.
- [16] 郭沛涌,沈焕庭.河口浮游植物生态学研究进展[J].应用生态学报,2003,14(1):139-142.

(责任编辑:尹 闯)