

文章编号:1674-6139(2011)08-0055-05

# 环境因子对水华暴发的影响研究

官涂<sup>1,2</sup>, 任伊滨<sup>2,3</sup>, 李菁<sup>4</sup>

- (1. 哈尔滨工程大学 航天与建筑工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;  
2. 哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150090;  
3. 黑龙江省环境保护科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 150056;  
4. 合肥市环境监测中心站, 安徽 合肥 230031)

**摘要:**水华是当水体藻类开始大量生长和繁殖并且聚集, 最终达到一定浓度的现象。综述国内大型浅水湖泊及水库中影响水华暴发的环境因素的研究现状, 分析水体营养条件以及适宜的气象、水文、生物条件等有利于藻类生长或聚集的环境影响因子, 同时简介中国水华污染现状。对水华暴发研究领域的未来发展具有一定参考价值。

**关键词:**水华; 富营养化; 环境因子; 水环境

**中图分类号:**X524

**文献标识码:**A

## Effect of Environmental Factors on Harmful Algal Blooms

Guan Di<sup>1,2</sup>, Ren Yibin<sup>2,3</sup>, Li Jing<sup>4</sup>

- (1. College of Aerospace and Civil Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China;  
2. State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China;  
3. Heilongjiang Provincial Research Institute of Environmental Sciences, Harbin 150056, China;  
4. Hefei Environmental Monitoring Central Station, Hefei 230031, China)

**Abstract:** Harmful algal blooms (HABs) are generally known as excessive phytoplankton growth or rapidly concentrate to high biomass. This study summarizes the research situation of environmental factors which stimulating algal blooms at internal shallow lakes and reservoirs. The proper aquatic nutrients loading, hydrological conditions, meteorological conditions, biological conditions are analyzed as environmental factors influencing algal growth or agglomeration. The pollution status of HABs in China is briefly introduced. This study may provide certain reference value to further HABs researches.

**Key words:** harmful algal blooms; eutrophication; environmental factors; aquatic environment

水华是水体富营养化的典型特征之一<sup>[1-2]</sup>, 是藻类迅速大量生长和繁殖, 并且聚集, 最终达到一定浓度的现象。目前中国水华频繁暴发地点多在太湖、巢湖、滇池等大中型湖泊和长江三峡水库支流和回水段等流速较缓的水体中<sup>[3]</sup>。监测表明(见图1), 早在20世纪80年代中期江苏太湖就出现了水华, 并且自20世纪90年代开始, 几乎每年都出现局部的藻类水华暴发<sup>[4-5]</sup>。而三峡水库自蓄水初期就频频发生局部水域藻类水华, 其中2003年和2004

年尤为严重<sup>[6]</sup>。而滇池已多次出现严重的蓝藻水华暴发, 同时汉江也出现了极为罕见的水华现象。中国藻类水华蔓延的速度及治理的难度被当地称为到了“生态癌”阶段。

### 1 水华的产生及危害

关于水华的产生过程, 孔繁翔等提出四阶段理论假设, 将水华暴发分为休眠、复苏、生物量增加、上浮和积聚形成水华等4个主要的阶段, 即经过冬季低温休眠, 水华藻在春夏适合的温度和溶解氧环境中复苏, 一旦有合适的气象与水文条件, 已经在水体中积累的大量水华蓝藻群体将上浮到水体表面积

收稿日期: 2011-05-24

作者简介: 官涂(1981-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 区域生态安全。

聚,形成可见的水华<sup>[13]</sup>。

水体暴发水华时,水体表面被增殖的藻类覆盖,降低水体透明度,影响藻类光合作用,抑制溶解氧的产生;同时,大量的藻类沉积腐烂分解也导致深层水体中大量的溶解氧消耗,进而转入厌氧状态,加速底泥中营养物质的释放,加重水体富营养化程度。造成水质恶化并产生恶臭,使水体丧失饮用、养殖、景观功能,直接危害居民的生活和生产<sup>[14-17]</sup>。同时,藻类的大量繁殖使水体中有机质增加,产生有害的藻毒素,使鱼类种类数量减少并直接影响鱼类质量,危及饮用水的安全,导致水体经济价值大大降低<sup>[18-19]</sup>。

水华暴发不仅会破坏水生环境,同时也造成严重的经济损失和社会危害。1990年7月,太湖西北部梅梁湖内发生水华,使得梅园水厂由日产20万t减为5万t,甚至无水可供,致使116家工厂停产、减产,直接经济损失1.3亿元。1994年夏,太湖西北部发生水华,导致当地渔业减产239万kg<sup>[20]</sup>。近几年欧洲和北美近海面发生大面积赤潮,也给海洋渔业造成巨大的损失<sup>[21-24]</sup>。在2007年5月底,太湖蓝藻大面积暴发,致使无锡市城市饮用水取水口被污染,自来水出现臭味,引发了一场严重的饮用水安全危机。



图1 水华频发地点及该地首次暴发水华年份

①太湖,1987<sup>[7]</sup>;②巢湖,1961<sup>[8]</sup>;③千岛湖,1998<sup>[9]</sup>;  
④汉江,1992<sup>[10]</sup>;⑤三峡水库,2004<sup>[11]</sup>;⑥滇池,1992<sup>[12]</sup>

## 2 影响水华的环境因子

### 2.1 氮、磷营养物质

水中所含元素碳、氮、磷以及铁、锰、锌等多种微量元素是浮游植物藻类生长所必需的营养盐类,水体中氮、磷的含量与补给量常成为影响藻类繁殖的

主要限制性因子<sup>[25]</sup>。目前很多研究指出,水体中氮磷等营养盐的含量是水华爆发的主要诱因,也就是将水华暴发看作是水体富营养化的结果、标志或表征<sup>[20,26-28]</sup>。

长期(逐月或逐年)的营养输入是蓝藻水华暴发的主要的先决条件。有关N:P负荷与蓝藻水华暴发的研究,主要集中于生物量或水体中现存量与负荷之间的关系,以及N:P比和藻类现存量之间的关系<sup>[29]</sup>。廖日红等<sup>[30]</sup>经研究提出微囊藻所需N、P浓度之比为9:1。目前有两种不同看法,其一是随着水体中磷浓度的增加,通常当TN:TP<29时,会导致蓝藻在浮游植物种群组成中占优势;另一类研究结果认为在较高氮磷比情况下水体也会发生水华,较低的氮磷比是蓝藻水华产生的结果而不是条件<sup>[13]</sup>。

一般认为,当氮磷重量比大于10时,磷可以考虑为藻类增长的限制因素。滇池藻类有关研究表明,水体中藻类的生长于总磷、可溶性磷在空间变化上呈显著正相关。滇池藻类生产力的提高与磷负荷的增加有内在联系,且不同形态磷的释放对藻类生长影响不同<sup>[31]</sup>。美国EPA建议总磷浓度0.025 mg/L和正磷酸盐浓度0.05 mg/L是湖泊和水库的磷浓度的上限。然而在自然水生环境中,氮磷营养物质浓度对水华藻类的影响较为复杂,很难通过单方面抑制氮或磷来降低水华暴发可能性<sup>[32]</sup>,应综合考虑营养物质和其他环境因子的耦合作用。

### 2.2 水温

水温是藻类进行光合作用的必要条件,决定细胞内酶反应的速率,并与植物的合成代谢及呼吸强度,以及对水中异样细菌等微生物的生理活性均有着密切的关系<sup>[33]</sup>。同时,随着温室效应的加剧,自然水体温度的升高会促进水华的出现频率<sup>[34]</sup>。水温的变化直接影响水环境的化学反应、生化反应、氧的溶解和水生生物的生长等一系列过程<sup>[35]</sup>。水温对绿藻、硅藻的生长态势有着重要的影响。水温促进了藻类的生命活性,使氮、磷等营养盐在水体中的迁移转化过程加快,溶解氧减少,藻类呼吸量增加,利于藻细胞对水体中营养物的吸收,促进各种生物化学作用的进行,藻生理活性和营养物利用率升高,导致藻生物量高峰值的增加,使藻类细胞完成自身成长增殖<sup>[36-37]</sup>。对滇池的浮游植物群落组成和细胞数分析结果显示,全年中叶绿素a含量变化情况

与水温的变化情况有极显著相关,温度是能影响藻类生物量的关键物理因素<sup>[38]</sup>。

现有研究显示,蓝藻能生长发育的温度范围较广,最适宜的温度范围为28℃~33℃,温度偏高有利于其生长发育和暴发<sup>[39]</sup>。根据温度对微囊藻生长影响的室内模拟实验显示在22℃~35℃微囊藻发生增殖,在30℃~35℃时比增殖速率升高很快,以35℃时最快,在此温度以下,增殖速率随水温的上升而增大,大约呈指数关系<sup>[40]</sup>。球形棕囊藻生长的适宜温度是13℃~14℃<sup>[41]</sup>;日本星杆藻的最适生长温度是14℃~14.5℃<sup>[42]</sup>,细弱海链藻及裸甲藻喜好26℃~27℃的高水温,角毛藻喜好30℃的高水温。

### 2.3 光照

适宜的光照强度既可加快藻类的同化作用,也可影响其垂直分布,导致藻类在表层水体中迅速生长并聚集,达到较高的细胞密度。藻类的总光合作用速率随光照强度的增加而上升,在补偿点与呼吸作用速率相等,此后光合作用速率逐渐减慢,达到光饱和后不再增加,呈下降或停止状态,浮游藻类表现出光抑制作用<sup>[43]</sup>。

浮游藻类生产量的季节变化与本地光照条件的季节差异有着直接关系。太湖最适宜光合作用层的最高毛产量及水柱日产量按高低排序为夏、春、秋、冬。各水层光照强度与藻类生产量垂直分布的关系,也同样反映出光照对藻类生产的影响。根据太湖实测资料,深度1 m以下,其光强一般衰减到50 k~80 k,浮游植物的毛生产量相应降到最大值的15%以下<sup>[33]</sup>。

在根据室内实验研究<sup>[40-44]</sup>,随着光照强度(1 000~5 000 Lx)的不断增大,藻类生长的比增殖速率也加大。微囊藻在环境光照强度为500~1 000 Lx时比增长率能达到最大值,细弱海链藻水华、裸甲藻水华、角毛藻水华达到高峰时的环境光照强度分别为10 580、12 350和8 950 Lx<sup>[45]</sup>。一般认为3 000~4 000 Lx是水华藻类的最适宜光强<sup>[33]</sup>。

### 2.4 水动力

水动力对水华的影响主要体现在其对理化环境因子的改变,随水体流量和流速的增加,水体的悬浮物均数增大而透明度降低,引起水下光照强度和营养盐浓度等变化,影响藻类的生物特征。曹巧丽等以微铜绿藻为藻种进行的室内模拟实验结果表明,

在10 cm/s~40 cm/s流速区间里,藻类生长周期随流速增大而变长,流速增大导致藻类生长滞后,30 cm/s较适合藻类的生存<sup>[46]</sup>。在大型浅水湖泊中,这样的影响更加明显。蔡后建等通过对太湖蓝藻水华进行围隔实验发现在风力推动下进入该水域的微囊藻数量大大超过在该水域内生长的微囊藻,其叶绿素a的浓度是该水域内生长的微囊藻叶绿素a的5倍<sup>[47]</sup>。太湖梅梁湾水动力作用过程的研究表明,当湖流状况变化时,浮游动物数量也随之而变<sup>[48]</sup>。流量较大的水体中,原位于底部的表层沉积物变成了水中的悬浮质,并向水中释放磷、氮等营养元素,促进藻类生长<sup>[49]</sup>。水体稳定性对水华暴发也有一定影响,即在流速较慢或是呈现静止分层状态的水体中,营养物、温度等环境条件适宜的流层为优势藻种的旺盛生命活动提供了先决条件<sup>[50]</sup>。根据现有研究,藻类在静止水体和流动水体中都可以生长,水体流速的增加既有利于藻类生长,也可以在一定程度上抑制藻类生长。因此,有专家提出假设,藻类在流水中的繁殖和生长状态很可能与某种临界流速有关系<sup>[51]</sup>。

同时,水体表面的风速和风向对水华藻的迁移和聚集有明显的影响作用,作用结果主要取决于风速大于还是小于临界风速<sup>[52]</sup>。通过水动力模型研究<sup>[49]</sup>,当实际风速小于临界风速(3 m/s),湖面近似无风浪,藻类基本漂浮在水体表面,顺风向不断堆积在迎风岸边,易于确定藻类分布;当风速大于临界风速时,波浪、风扰动及平均环流的共同作用使得藻类上下混合沉入水中,藻类在水中不易聚集。超过临界风速时需要考虑更多风浪和垂直扰动等因素。

### 2.5 pH值

有研究表明,pH>8.5时有利于蓝藻的生长,pH<6有利于真核藻类生长。汤溪水库检测结果表明,水华发生期间pH处于8.4~9.5范围,为适合微囊藻生长范围,蓝藻为优势藻种,其数量与pH呈显著正相关关系<sup>[53]</sup>。中国目前pH>8的水库湖泊包括:巢湖、太湖、滇池、洪泽湖、长白山天池,洱海,阳宗海、抚仙湖等,其中大多数水体都发生过蓝藻水华。

在富营养化水体中,较高的藻类数量将对水体的pH变化起主导作用。白天光照充分有利于藻类进行光合作用,CO<sub>2</sub>减少pH升高;夜间光照不足促使藻类进行呼吸作用,CO<sub>2</sub>增加pH降低。在水华发生过程

中,pH变化与藻类的数量及生命活动密切相关。三峡水库支流水华发生时,pH与藻类数量之间也表现了较好的相关性,在一个发生周期内,pH的变化表现为增长、稳定(极大值)、衰减、稳定(介于初始值与极大值之间)。发生初始pH为7.5,增长期pH为8.5,最高值可达到9.0,消失期pH逐减降低<sup>[36]</sup>。

## 2.6 微量元素

微量元素对藻类生长有重要作用,如Fe、Mn、Zn、Cu、Ni、Co、Mo、B以及稀土元素La、Ce等均表现出低浓度促进藻类生长,高浓度抑制藻类生长的特性。各种微量元素对水华藻类的影响机理并不都相同,铁、锰等都是藻类生长的重要营养因子。Fe是藻类光合作用和固氮过程中影响较大的微量元素,Fe<sup>3+</sup>对藻类的光合作用、呼吸作用也有重要影响。有研究表明,在蓝藻固氮的过程中,所需要的铁量是其他藻类按相同速率增长的10倍。所以在夏季藻类繁殖期间许多湖泊中可溶性铁浓度普遍偏低。Mn在藻类光合作用时能促进氮的同化,能活化藻类及各种微生物的酶系统,而且Mn和P在满足藻类的营养方面还存在明显的协同作用。

## 2.7 藻食性生物的下行控制

近十多年来,国外的大量研究已经表明,水体中的藻类组成和数量,是同时受营养盐的上行作用和藻食生物的下行控制双重影响的结果。水体富营养化后藻类数量的增加,至少部分是由藻食生物数量的减少所引起。而国内的研究也证实:大量放养鲢鳙能使超富营养化湖泊的蓝藻水华消失。在此基础上,刘其根等提出假设,藻类水华是水体中藻食生物的下行控制不能有效制衡由营养盐产生的上行效应的结果。即水体营养盐的增加仅仅是水体发生水华的重要外部条件,而水体中的藻食生物下行控制力的充足与否,才是水华能否在特定生态系统中发生的主要内在原因。

## 3 中国水华污染现状

近年来中国的许多湖泊水库水华泛滥,其面积、强度以及藻毒素的含量,均在大幅度增长。据1989年至1993年中国131个主要湖泊调查:(1)131个主要湖泊中已达到富营养化程度湖泊有67个,占调查湖泊总数的51.2%。(2)目前几乎所有的城郊湖泊都存在严重的富营养化现象。如武汉东湖,杭州西湖,昆明滇池,济南大明湖等湖泊都已达到富营养化

程度。

据统计,目前中国地表水体富营养化比例已超过80%,几乎所有重要湖泊都存在富营养化问题。随着水体富营养化的日益严重,藻类水华暴发也就成为许多富营养化湖泊和水体面临的挑战。当前水华大面积暴发事件频繁发生,已成为全球性的环境问题之一。水华现象日益呈现出以下特征:①蔓延速度越来越快,暴发频率和周期越来越短;②水华发生的地域边界已趋于模糊,2007年,中国水域从南到北发生了不同程度的水华。而且水华发生区域从湖泊、水库等静态水体,逐渐向河流等流动水体蔓延,甚至由淡水向海水蔓延;③水华生态灾难的暴发猝不及防,具有非常规的演化趋势。中国水华暴发带来的一系列水污染事件严重影响了群众的生产生活,已经成为水环境的巨大隐患,而其爆发的不确定性像定时炸弹一样威胁着水环境质量和生态平衡。

## 4 展望

考虑当前水体污染的现状,水华频繁爆发地区水域水质还有进一步恶化的趋势,而且即使现在加大治理力度,也很难在短时期内见效。水华暴发受到多种环境因素的影响,包括水体中的氮磷营养物、水温、光照、水动力、pH值、微量元素以及生物捕食等,各环境因素相互关联共同作用。因此,如果进一步的水华研究能够开始更多地由单因子影响放大到多因素综合效应,对于水华灾害预测和预防将更加具有现实意义。

### 参考文献:

- [1] D. M. Anderson, et al, Harmful algal blooms and eutrophication: Examining linkages from selected coastal regions of the United States[J]. Harmful Algae, 2008, 8: 39-53.
- [2] J. Heisler, et al, Eutrophication and harmful algal blooms: A scientific consensus[J]. Harmful Algae, 2008, 8: 3-13.
- [3] M. Wang, H. Wu, J. Ma, Causes and characteristics of the eutrophication in large reservoirs in the Yangtze Basin[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin. 2004, 13-5: 477-481 (in Chinese).
- [4] G. Zhu, Eutrophic status and causing factors for a large, shallow and subtropical Lake Taihu, China[J]. J. Lake Sci. 2008, 20-1: 21-26 (in Chinese).
- [5] M. Zhu, Variational trend and protection steps of water quality in Taihu Lake[J]. J. Lake Sci. 1996, 8-2: 133-138 (in Chinese).
- [6] C. Li, Z. Huang, S. Zhang, J. Chang, Risk forecast of algal bloom in the Three Gorges Reservoir[J]. Resources and Envi-

- ronment in the Yangtze Basin. 2007, 16-1: 1-6 (in Chinese).
- [7] R. MA, et al, Spatio-temporal distribution of cyanobacteria blooms based on satellite imageries in Lake Taihu, China[J]. Journal of Lake Science. 2008, 20-6: 687-694 (in Chinese).
- [8] D. G. Deng, et al, Studies on Temporal and Spatial Variations of Phytoplankton in Lake Chaohu[J]. Journal of Integrative Plant Biology. 2007, 49-4: 409-418.
- [9] Q. Liu, L. Chen, Y. Chen, Correlation between biomass reduction of silver carp and bighead carp and the occurrence of algal blooms in Lake Qiandaohu[J]. Transactions of Oceanology and Limnology. 2007, 1: 117-124 (in Chinese).
- [10] C. Li, M. Ye, H. Pu, Study on Impact Factors Analysis and Controlling Methods of Plankton Bloom in Hanjiang River [J]. Environmental Science Survey. 2007, 26-2: 26-28 (in Chinese).
- [11] H. Wang, S. Cheng, L. Huang, The Formation causes and conditions of HABs in Three Gorges reservoir[J]. Yangtze River. 2007, 38-2: 16-18 (in Chinese).
- [12] Y. Li, M. Zhang, R. Wang, The temporal and spation variation of the cyanobacteria which caused the water bloom in the Dianchi Lake, Kunming, China[J]. Journal of Yunnan University. 2005, 27-3: 272-276 (in Chinese).
- [13] 孔繁翔, 高光, 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考[J]. 生态学报, 2005, 325-3: 589-595.
- [14] G. Herath, Freshwater Algal Blooms and Their Control: Comparison of the European and Australian Experience, Journal of Environmental Management. 51, 217-227 (1997).
- [15] H. Paerl, Doing Battle With the Green Monster of Taihu Lake, Science. 317, 1166 (2007).
- [16] L. C. Backer, Impacts of Florida red tides on coastal communities[J]. Harmful Algae, 2009, 8: 618-622.
- [17] A. Zingone, H. O. Enevoldsen, The diversity of harmful algal blooms: a challenge for science and management[J]. Ocean & Coastal Management, 2000, 43: 725-748.
- [18] A. Chambouvet, P. Morin, D. Marie, L. Guillou, Control of Toxic Marine Dinoflagellate Blooms by Serial Parasitic Killers[J]. Science, 2008, 322: 1254-1257.
- [19] T. J. Goreau, Fighting Algae in Kaneohe Bay[J]. Science, 2008, 319: 157.
- [20] Y. Wang, X. Cheng, Ring the alarm for water problems in Taihu Lake drainage basin again[J]. Water Resource protection. 1996, 4: 1-3 (in Chinese).
- [21] R. J. Diaz, R. Rosenberg, Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems[J]. Science, 2008, 321: 926-929.
- [22] C. A. Heil, K. A. Steidinger, Monitoring, management, and mitigation of *Karenia* blooms in the eastern Gulf of Mexico[J]. Harmful Algae, 2009, 8: 611-617.
- [23] K. Davidson, et al, A large and prolonged bloom of *Karenia mikimotoi* in Scottish waters in 2006[J]. Harmful Algae, 2009, 8: 349-361.
- [24] D. M. Anderson, et al, Initial observations of the 2005 *Alexandrium fundyense* bloom in southern New England: General patterns and mechanisms[J]. Deep-Sea Research II, 2005, 52: 2856-2876.
- [25] 李春青, 叶闽, 普红平. 汉江水华的影响因素分析及控制方法初探[J]. 环境科学导刊, 2007, 26-2: 26-28.
- [26] C. J. Gobler, T. W. Davis, K. J. Coyne, G. L. Boyer, Interactive influences of nutrient loading, zooplankton grazing, and microcystin synthetase gene expression on cyanobacterial bloom dynamics in a eutrophic New York lake, Harmful Algae. 6, 119-133 (2007).
- [27] K. S. Ahern, C. R. Ahern, J. W. Udy, Nutrient additions generate prolific growth of *Lyngbya majuscula* (cyanobacteria) in field and bioassay experiments, Harmful Algae. 6, 134-151 (2007).
- [28] M. A. Mallin, D. C. Parsons, V. L. Johnson, M. R. McIver, H. A. CoVan, Nutrient limitation and algal blooms in urbanizing tidal creeks, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 298, 211-231 (2004).
- [29] S. B. Bricker, et al, Effects of nutrient enrichment in the nation's estuaries: A decade of change[J]. Harmful Algae, 2008, 8: 21-32.
- [30] 廖日红, 井艳文. 北京城区河湖水体水华现象成因的初步分析[J]. 北京水利, 2002, 5: 32-33.
- [31] 陈永川, 汤利, 张德刚, 等. 滇池叶绿素 a 的时空变化及水体磷对藻类生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1555-1560.
- [32] D. J. Conley, et al. Controlling Eutrophication: Nitrogen and Phosphorus[J]. Science, 2009, 323: 1014-1015.
- [33] 高月香, 张永春. 水文气象因子对藻华暴发的影响[J]. 水科学与工程学报, 2006, 2: 10-11.
- [34] L. Peperzak. Climate change and harmful algal blooms in the North Sea[J]. ACTA Oecologica, 2003, 24: 139-144.
- [35] O. Hoegh-Guldberg, et al, Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification[J]. Science, 2007, 318: 1737-1742.
- [36] 王海云, 程胜高, 黄磊. 三峡水库“藻类水华”成因条件研究[J]. 人民长江, 2007, 38-2: 16-18.
- [37] K. Jöhnk, J. Huisman, J. Sharples, B. Sommeijer, P. M. Visser and J. M. Stroom, Summer heatwaves promote blooms of harmful Cyanobacteria, Global Change Biology. 14, 495-512 (2008).
- [38] 万能, 宋立荣, 王若南, 刘剑彤. 滇池藻类生物量时空分布及其影响因子[J]. 水生生物学报, 2008, 32-2: 184-188.
- [39] 任健, 蒋名淑, 商兆堂, 等. 太湖蓝藻暴发的气象条件研究[J]. 气象科学, 2008, 28-2: 221-226.
- [40] 林毅雄, 韩梅. 滇池富营养化的铜绿微囊藻生长因素的研究[J]. 环境科学进展, 1998, 6-3: 82-87.
- [41] Q. Chen, E. M. Arthur. Predicting phaeocystis globosa bloom in Dutch coastal waters by decision tree and nonlinear piecewise regression[J]. Ecological Modeling, 2004, 176: 277-290.

(下转第68页)

### 3.3 农业化肥及牲畜粪便等面源污染

茅尾海沿岸地区是重要水稻、甘蔗产区。为保高产丰收,当地农民采用勤施、多施化肥手段。沿岸农民大力发展畜禽养殖,动物粪便没有经过收集处理而有序排放。相当部分化肥及动物粪便经降水淋洗或排灌等形式流入入海河流,最终汇入茅尾海。

### 3.4 城市工业、生活废水排放

钦州市生活污水大部分未经处理经钦江进入茅尾海,沿岸乡镇的工业、生活污水未经处理进入茅尾海。茅尾海沿岸有14.7万人的生活污水通过无组织排放方式进入茅尾海。工业、生活污水的超标排放,是造成茅尾海营养盐含量高、有机污染严重的原因之一。

## 4 茅尾海海域污染控制重点

控制茅尾海的富营养化的关键在于控制陆源磷的入海排放量,因此在污染控制措施方面应重点强化对磷的控制,采用脱氮脱磷的治理工艺。污染控制措施建议主要包括以下部分:

(1)开展沿海地区水土保持、流域非点源污染综合治理工程。有效控制沿海地区水土流失,解决因水土流失而产生的污染。

(2)推广普及生态农业,积极研制开发高效、缓释、少流失的清洁化肥、农药,减少氮、磷流失对河口及海洋污染影响。推广实施沿海地区畜禽养殖的集约化、规模化,完善养殖污染物治理工程,解决流域内畜禽养殖的污染影响。

(3)推广生态型水产养殖,研究开发优质饵料和科学投料方法,减少海水养殖过程中过量投放饵料对养殖水域的污染,开发适宜的池养废水净化处理技术,控制养殖废水非点源污染,减轻海水养殖对茅尾海海域环境影响。

(4)完善沿海各县市乡镇城镇污水处理设施及配套城市管网,减少沿岸生活污水无组织排放,降低污染物入海排放量。

### 参考文献:

- [1] 齐雨藻. 中国沿海的赤潮—深圳湾富营养化与赤潮研究[J]. 暨南大学学报, 1998, 赤潮专刊: 10-20.
- [2] 郭卫东, 张晓明, 杨逸萍, 等. 中国近海海域潜在性富营养化程度的评价[J]. 台湾海峡, 1998, 17(1): 64-70.
- [3] 阚文静, 张秋丰. 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.
- [42] 华锦彪, 宗志祥. 洋水库“水华”发生的实验研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1994, 30-4: 477-483.
- [43] 柴小颖. 光照和温度对三峡库区典型水华藻类生长的影响研究. 重庆大学硕士学位论文, 2009. 4.
- [44] 沈东升. 平原水网水体富营养化的限制因子研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28-1: 94-97.
- [45] 徐宁, 陈菊芳, 王朝晖, 等. 广东大亚湾藻类水华的动力学分析(I)—藻类水华的生消过程及其与环境因子的关系[J]. 海洋环境科学, 2001, 20-2: 2-6.
- [46] 曹巧丽, 黄钰玲, 陈明曦. 水动力条件下蓝藻水华生消的模拟实验研究与探讨[J]. 人民珠江, 2008, 4: 8-13.
- [47] 蔡后建, 陈伟民. 微囊藻水华的漂移和降解对太湖水环境的影响. 见: 蔡启铭编. 太湖环境生态研究(一)[M]. 北京: 气象出版社, 1998, 149-157.
- [48] 陈伟民, 秦伯强. 太湖梅梁湾冬末春初浮游动物时空变化及其环境意义[J]. 湖泊科学, 1998, 10-4: 10-16.
- [49] 朱永春, 蔡启铭. 风场对藻类在太湖中迁移影响的动力学研究[J]. 湖泊科学, 1997, 9-2: 152-158.
- [50] T. J. Smayda, Turbulence, watermass stratification and harmful algal blooms: an alternative view and frontal zones as “pelagic seed banks”, Harmful Algae. 1, 95-112(2002).
- [51] 王丽燕, 张永春, 蔡金榜. 水动力条件对藻华的影响[J]. 水科学与工程技术. 2008 增刊: 61-62.
- [52] 杨清心. 太湖水华成因及控制途径初探[J]. 湖泊科学, 1996, 8-1: 67-74.
- [53] 赵孟绪, 韩博平. 汤溪水库蓝藻水华发生的影响因子分析[J]. 生态学报, 2005. 7, 25-7: 1554-1561.