

特殊风场条件对太湖蓝藻水华迁移的影响研究

陈黎明¹, 王成林², 李禔来¹

(1. 南京水利科学研究院水文水资源及水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029;
2. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101)

摘要: 在高温、微风气象条件下, 适宜蓝藻水华形成。在特殊非均一风场的驱动下, 太湖蓝藻水华迁移过程与被均匀风场驱动有所不同。选取太湖典型风向进行分析, 并采用三维水动力水质模型对表面非均一风场条件下的风生流场及水质进行模拟。结果表明, 在特殊非均一风场的驱动下, 当太湖蓝藻浓度较高时, 容易在西部湖区特别在竺山湖、梅梁湾湾内、岸边及湾口聚集, 形成水华暴发。这有助于研究太湖污染物及蓝藻水华的输移及空间分布和机理。

关键词: 蓝藻水华; 辐散风场; 水质模型; 水华迁移; 太湖

中图分类号: X171.1 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2012)03-0029-06

Study on Movement of Cyanobacteria Bloom with Special Wind-field Condition in Taihu Lake

CHEN Li-ming¹, WANG Cheng-lin², LI Ti-lai¹

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing, Jiangsu 210029, China; 2. Chinese People's Liberation Army University of Science and Technology, School of Meteorology, Nanjing, Jiangsu 211101, China)

Abstract: High temperature and gentle breeze would create special weather condition of cyanobacteria bloom. A divergence wind field was frequently found above the surface of the Taihu Lake under the weather condition. Driven by divergence wind field or single wind field, the movement of cyanobacteria bloom formed a different transfer path. After water flow field and water quality of the Taihu Lake were simulated under the divergence wind field, results showed that cyanobacteria would easily gather in western area of the Taihu Lake under the divergence wind field, particularly in shore of Zhushan lake and Meiliang bay. The research would help know space distribution and understand moving mechanism of pollutants and cyanobacteria bloom in the Taihu Lake.

Key words: Cyanobacteria bloom; Divergence wind field; Water-quality simulation model; Cyanobacteria bloom transfer path; Taihu Lake

近年来太湖蓝藻水华对水资源的利用产生了很大的危害, 逢勇等^[1-3]采用水动力学及水质模型对藻类迁移进行了模拟研究, 朱永春等^[4]对风场在太湖藻类迁移中的影响进行了动力学研究, 表明不同风场对于藻类在湖泊中的水平及垂直分布影响很大, 存在临界风速, 其范围在 2 m/s ~ 3 m/s 之间。当风速低于临界风速时, 水表面藻类顺着风向迅速向迎风岸边漂移, 形成藻类大量堆积。但当风速超过临界风速时, 藻类在水体中上下混合, 分布比较均匀。孙小静等^[5]研究发现小风浪有利于蓝藻生长或漂浮, 而大风浪对其生长或漂浮不利。

在太湖梅梁湾, 白晓华等^[6]通过室内风箱水槽实验和野外观测, 建立了风速与水华藻类漂移速度的指数相关方程。朱文昌等^[7]研究表明梅梁湖浮游植物生长受多个环境因子的共同影响, 但主要为 TP、TN、水温和风速。文献 [8-10] 研究发现高

收稿日期: 2011-02-17; 修订日期: 2012-04-18

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划基金资助项目 (2008BAB42B08, 2009ZX07528-005-02); 南京水利科学研究院青年基金资助项目 (Y510004); 江苏环境监测基金资助项目 (1021)

作者简介: 陈黎明 (1983—), 男, 江苏滨海人, 助理工程师, 硕士, 从事水力学、水环境研究工作。

温、强光照的条件有利于蓝藻生物体的生长; 只要水文气象条件适当, 优势种群的水华蓝藻会通过垂向运动漂浮到水面, 其他湖区的水华蓝藻, 通过合适的风和湖流的带动, 特别容易长距离快速漂移, 大量聚集到局部湖区, 形成了灾害性蓝藻水华。

不同气象和水文条件对蓝藻迁移以及暴发起到至关重要的作用。目前对太湖蓝藻暴发的预测预警研究, 主要有遥感解译^[11]、现场监测^[12]、数学模型等, 而在数学模型水质因子计算中大多采用均一风场。太湖作为大型浅水湖泊, 其表面积高达 2 400 km², 表面风场的非均一性极有可能对营养盐及蓝藻水华的迁移产生较大的影响。因此对表面非均一风场条件下的太湖风生流流场进行模拟, 并选取典型风向进行分析, 为进一步研究太湖污染物的输移及空间分布和机理提供了必要的基础。

1 太湖表面风场分析

选取 2005 年的 8 月 19 日—8 月 23 日, 太湖处于高温、微风气象条件下的时间段进行分析研究。其中 8 月 21 日 14:00 无锡、常州、宜兴等地气象站的监测资料表明, 此时该地区的风向为西北向, 风在经过大太湖湖面到了长兴、湖州等地区, 风向明显发生了变化, 转变为东北向, 见图 1。

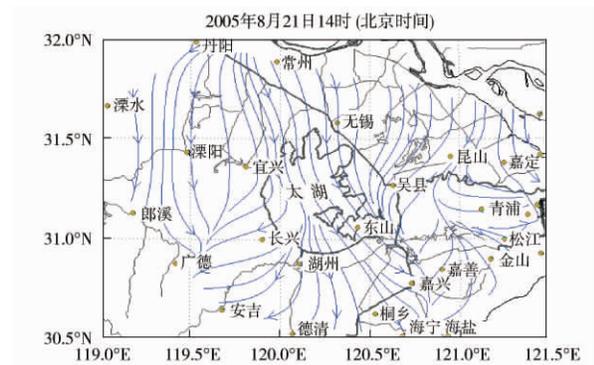


图 1 太湖流域背景风场

Fig. 1 Background wind field of Taihu Lake Basin

根据热力环流的原理, 夏季午后太湖周边城市热岛效应使苏州、无锡等地区温度升高较快, 容易形成以城市为中心的低气压中心, 而大太湖水体受热较慢, 会在湖面地区形成一个以下沉气流为主的高气压中心, 见图 2。

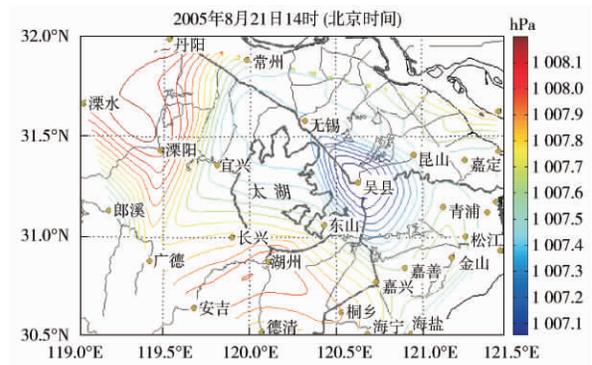


图 2 太湖流域气压

Fig. 2 Barometric field of the Taihu Lake Basin

大风天气风速较大, 城市与大太湖湖面的热力环流不明显, 因此湖面风向变化不明显; 而微风天气条件(2005 年 8 月 21 日 14:00, 风速为 3.1 m/s), 夏季午后, 太阳辐射达到顶峰, 太湖四周陆地形成的低气压中心也达到最低值, 而此时太湖湖面地区以下沉气流为主高气压中心也达到峰值, 从而使太湖湖面形成从湖心区向陆地方向发散的湖陆风, 与同陆地上的风主导方向不一致, 见图 3。

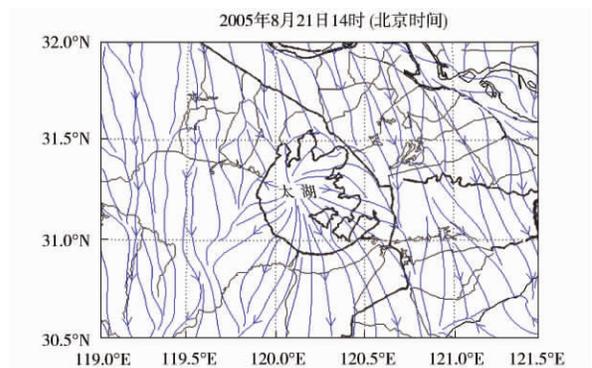


图 3 太湖流域 WRF 模型模拟后风场

Fig. 3 Wind field simulated by WRF model of the Taihu Lake Basin

通过数值模拟试验, 表明在高温、微风的气象条件下, 非绝热加热不均匀造成的局地次级环流叠加在弱的背景风场之上, 改变了湖区的风场形势^[13], 这是太湖湖面形成气流辐散场的机理。WRF3.0 气象模型的模拟 2005 年 8 月 21 日 14:00 太湖湖面的风场处于辐散的状态, 通过与周围陆地上宜兴、长兴、湖州、东山、吴江气象站等 15 个监测站点的资料比较分析, 其趋势具有一定的合理性。

2 模型结果比较

WRF3.0 气象模型模拟局部地区前后湖面风场的风向相差较大,而大多数水质模型风场采用均一的风场进行计算,这将会对太湖湖面局部地区的特定时段内的模拟结果带来误差。选取 2005 年的 8 月 19 日—8 月 23 日太湖湖陆风产生较为显著的时间段,利用 WRF3.0 气象模型模拟太湖湖面的风场及风速的结果,作为水动力水质模型的风场条件,对太湖水质进行模拟计算,提取了湖陆风发生时刻 8 月 21 日 14:00 的计算结果进行分析,并与采用均一的风场的计算结果进行了对比研究。

水动力及水质模型采用的三维水动力模型与湖泊水库生态动力学耦合模型 ELCOM-CAE-DYM^[14-15];

(1) 气象资料。均一风场(指在同一时刻所有表面的计算网格单元都是同一风向,随着时间根据不同实测资料所变化)。采用 2005 年的 8 月 19 日—8 月 23 日太湖地区单站监测的每 6 h 的气温、风向、风速、太阳辐射、降水、蒸发等实测数据;非均一风场则采用 WRF3.0 气象模型 2005 年的 8 月 19 日—8 月 23 日的模拟结果(指在同一时刻所有表面的计算网格单元风向不一致,随着时间根据不同时刻模拟结果所变化)。

(2) 地形资料。研究采用矩形网格对计算区域进行分割,水平网格数为 70 × 70,网格尺度为 1 km,垂向网格数为 25,网格尺度为 0.15 m,计算区域网格示意图 4,水下地形见图 5。

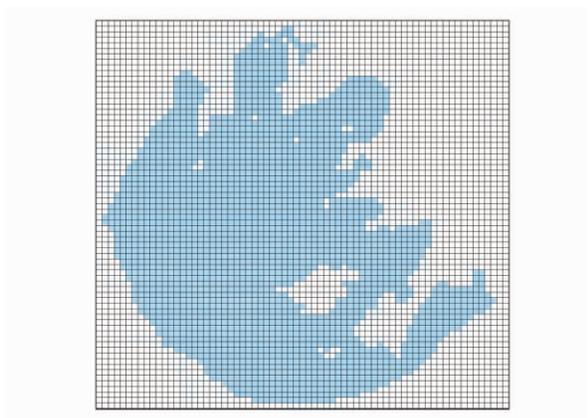


图 4 太湖网格示意
Fig. 4 The grid in Taihu Lake

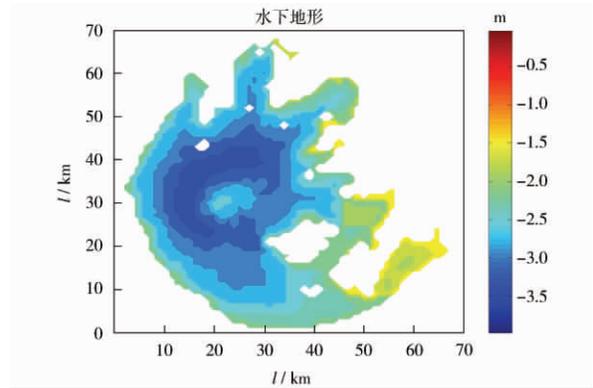


图 5 太湖水下地形
Fig. 5 Underwater terrain in Taihu Lake

(3) 水文资料包括太湖地区各河流入流量、入流水质、出流量。

(4) 计算时间步长取 5 min,2005 年 8 月 19 日全湖 32 个点位的水质及藻类监测数据作为全湖的计算初始条件。

2.1 流向

通过 2005 年的 8 月 19 日—8 月 23 日水动力与水质模型的模拟,2005 年 8 月 21 日 14:00 在风速为 3.1m/s 均一风场,风向为西北风的作用下,模型模拟的表面流场与风场一致,也比较均一,见图 6。

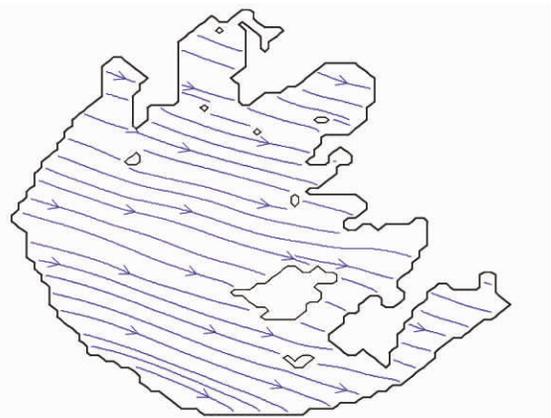


图 6 太湖均一风场作用下流场
Fig. 6 Flow direction under the influence of single wind field on the Taihu Lake

而在非均一风场作用下,风场辐散处流场也明显处于一个辐散的状态,西半湖表面流场的方向与均一风场几乎完全相反,由原来的东南流向转变为西北流向,西部湖区表面流场由大太湖流向竺山

湖,另外在梅梁湾湾口地区由大太湖流向梅梁湾湾口,见图 7。

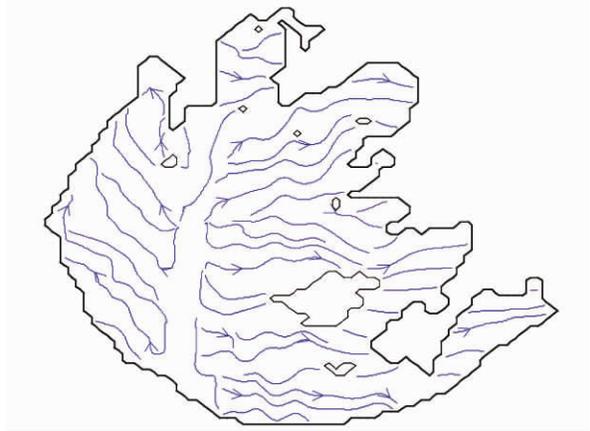


图 7 太湖非均一风场作用下流场
Fig. 7 Flow direction under the influence of divergence wind field on the Taihu Lake

2.2 水质

2005 年 8 月 21 日 14:00 在均一风场的作用下,模型模拟的温度场也比较均一,而在非均一风场作用下,随着流场的扰动作用,在西半湖区域水温温度场扰动程度明显加剧,见图 8 和图 9。

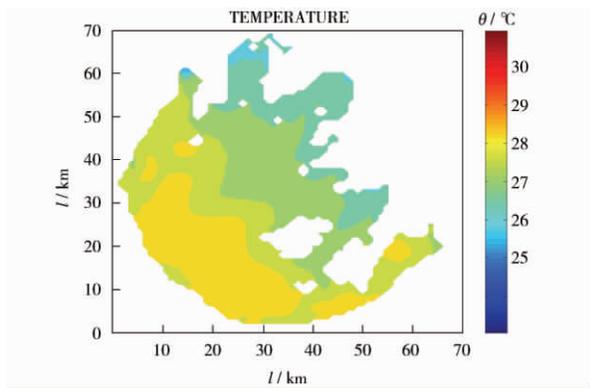


图 8 太湖均一风场作用下温度场
Fig. 8 Water temperature field under the influence of single wind field on the Taihu Lake

水质模型根据 8 月 19 日初始时刻的湖区内监测的 32 个点位水质的实测值插值获得水质浓度的初始场,初始场下的水质浓度在西北湖区偏高,因

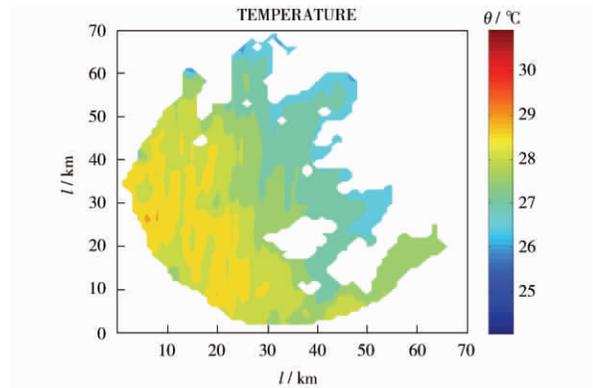


图 9 太湖非均一风场作用下温度场
Fig. 9 Water temperature field under the influence of divergence wind field on the Taihu Lake

此在 8 月 19 日—8 月 23 日模拟时间内西北湖区水质浓度一直较高。模型中提取了 8 月 21 日 14:00 这一时刻出现辐散非均一风场条件下的计算结果与均一风场条件下 8 月 21 日 14:00 的计算结果进行对比分析,两种风场作用下,局部湖区水质浓度变化趋势有所区别。

与均一风场相比,在非均一风场作用下,西半湖表面流场流向为西北向,带动西北湖区部分水体中营养盐类 TN、TP 进一步向西北岸聚集。梅梁湾湾口岸边附近的 TP 质量浓度由 0.106 mg/L 上升为 0.122 mg/L,竺山湖内 TP 质量浓度也明显上升。TN 质量浓度全湖变化不大,但竺山湖湾口形成质量浓度为 3 mg/L 的污染带,见图 10、图 11、图 12、图 13。

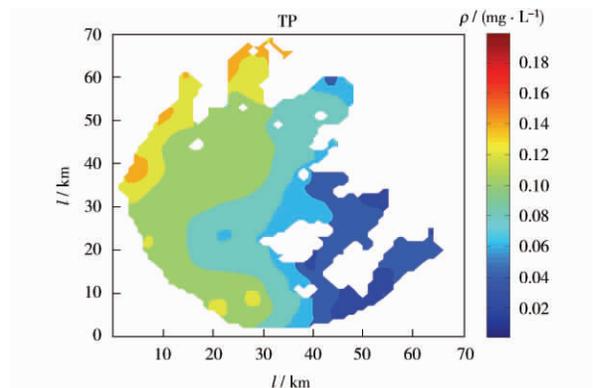


图 10 太湖均一风场作用下 TP 分布
Fig. 10 TP field under the influence of single wind field on the Taihu Lake

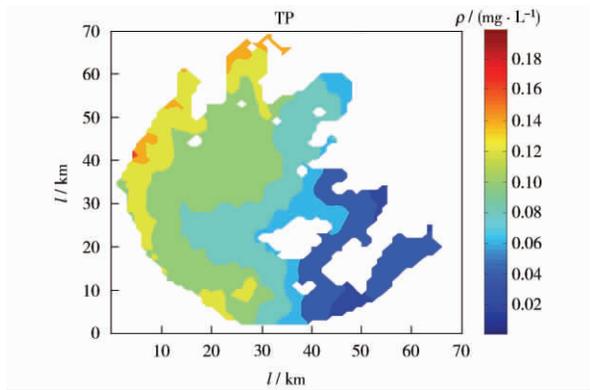


图 11 太湖非均匀风场作用下 TP 分布

Fig. 11 TP field under the influence of divergence wind field on the Taihu Lake

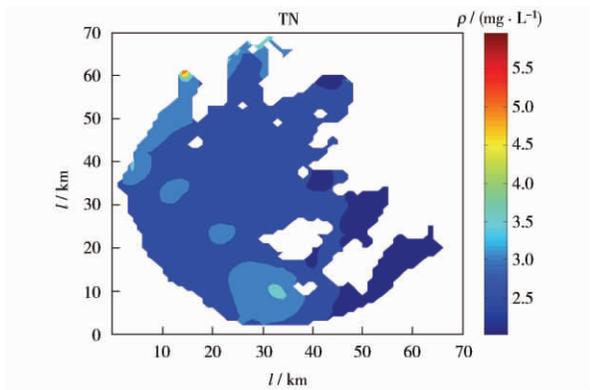


图 12 太湖均匀风场作用下 TN 分布

Fig. 12 TN field under the influence of single wind field on the Taihu Lake

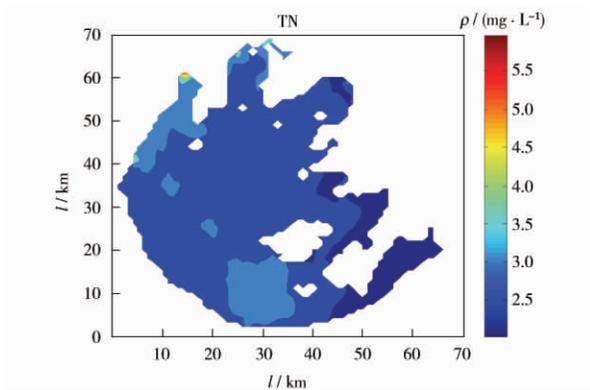


图 13 太湖非均匀风场作用下 TN 分布

Fig. 13 TN field under the influence of divergence wind field on the Taihu Lake

2.3 藻类

藻类浓度变化趋势与水质类似 8 月 19 日—8

月 23 日模拟时间内西北湖区藻类浓度一直处于较高的情况。模型提取了 8 月 21 日 14:00 出现非均匀风场条件下的藻类计算结果与均匀风场条件下 8 月 21 日 14:00 的计算结果进行对比分析,随着流场作用西半湖藻类向北部迁移,在表面流场作用下西北岸藻类向竺山湖以及梅梁湾内迁移聚集,另外梅梁湾湾口贡湖水厂处藻类浓度随着流场的改变有升高的趋势,湾口区域超过质量浓度 20 μg/L 的面积明显增大,见图 14、图 15。

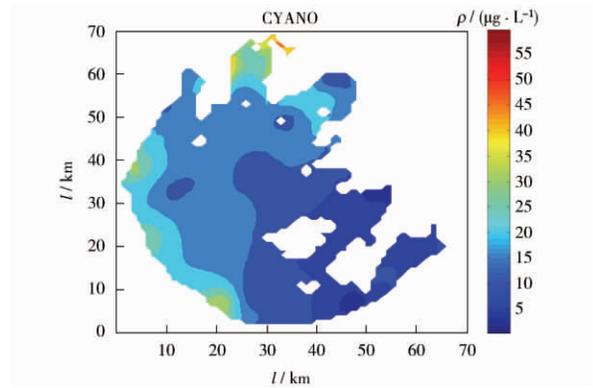


图 14 太湖均匀风场作用下藻类分布

Fig. 14 Chl-a field under the influence of single wind field on the Taihu Lake

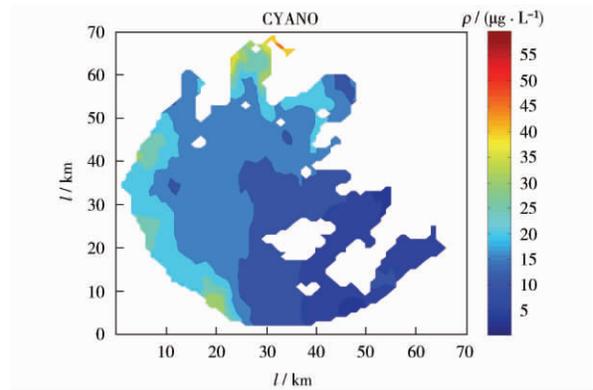


图 15 太湖非均匀风场作用下藻类分布

Fig. 15 Chl-a field under the influence of divergence wind field on the Taihu Lake

3 结论

太湖夏季存在湖陆风。根据模型模拟,当水体中蓝藻浓度较高时,受湖陆风的作用,容易导致太湖蓝藻在西部湖区特别是竺山湖、梅梁湾湾内、岸边及湾口的聚集,暴发蓝藻水华,危及太湖北部湖区水厂特别是小湾里水厂及贡湖水厂的供水。应

加强对太湖湖面气象条件监测,综合模型计算,为蓝藻水华预测预警提供技术支持。

[参考文献]

- [1] 逢勇,濮培民. 太湖风生流三维数值模拟试验[J]. 地理学报,1996,51(4):322-328.
- [2] 丁玲,逢勇,李凌,等. 水动力条件下藻类动态模拟[J]. 生态学报,2005,25(8):1863-1868.
- [3] HU W P, JORGENSEN S E, ZHANG F B. A vertical-compressed three-dimensional ecological model in Lake Taihu, China[J]. Ecological Modeling, 2006(190):367-398.
- [4] 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.
- [5] 孙小静,秦伯强,朱广伟,等. 风浪对太湖水体中胶体态营养盐和浮游植物的影响[J]. 环境科学,2007(03):506-511.
- [6] 白晓华,胡维平,胡志新,等. 2004年夏季太湖梅梁湾席状漂浮水华风力漂移入湾量计算[J]. 环境科学,2005,26(6):57-60.
- [7] 朱文昌,陆敏,石浚哲. 梅梁湖水体浮游植物与环境因子的关系[J]. 环境监测管理和技术,2010,22(3):27-30.
- [8] 孔繁翔,马荣华,高俊峰,等. 太湖蓝藻水华的预防、预测和预警的理论与实践[J]. 湖泊科学,2009,21(3):314-328.
- [9] 孔繁翔,高光. 大型浅水湖泊的蓝藻水华形成机理研究的思考[J]. 生态学报,2005,25(3):589-595.
- [10] 吴晓东,孔繁翔. 水华期间太湖梅梁湾微囊藻原位生长速率的测定[J]. 中国环境科学,2008,28(06):552-555.
- [11] 李旭文,牛志春,姜晟. Landsat5 TM 遥感影像上太湖蓝藻水华反光谱特征研究[J]. 环境监测管理和技术,2010,22(6):25-31.
- [12] 丁建清,张军毅. YSI6600 传感器在太湖蓝藻预警工作中的应用[J]. 环境监测管理和技术,2011,23(1):67-70.
- [13] 王成林,陈黎明,潘维玉,等. 适宜太湖蓝藻水华形成的风场辐散特征及其形成机制[J]. 中国环境科学,2010,30(9):1168-1176.
- [14] ANTENUCCI J P, IMERITO A. The CWR dynamic reservoir simulation model-ELCOM: Science manual[EB/OL]. [2000-12-30]http://www.cwr.uwa.edu.au/services/models/elcom/documentation.
- [15] ROMERO J R, HIPSEY M R, ANTENUCCI J P. Computational Aquatic ecosystem dynamics model-CAEDYM v2 v2. 0 ScienceManual [EB/OL]. [2003-12-12]http://www2.cwr.uwa.edu.au/~tfadmin/cwrsoft/doc/caedym_science/CAEDYMv2_Science Manua.1.pdf.

本栏目责任编辑 薛光璞

· 简讯 ·

英国大力发展绿色经济

人民网消息 随着全球对自然资源和气候变化关注度的提高,各国都面临着空前的压力,纷纷调整战略开始发展绿色经济。目前全球碳市场的价值已经超过3万亿欧元,而由于低碳技术投资的增加,该数值有望在2015年达到4万亿欧元。(1欧元约合8.02元人民币)

《卫报》表示,虽然英国低碳行业还处于起步阶段,但市值已达1160亿欧元,从业人员近100万。在绿色经济中,如何回收处理废弃物成为一项重要的工作。每年废物回收工作可创造110亿欧元的产值,提供15万就业岗位,以超过平均水平的增长速度向前发展。通过提高对水和能源等资源的利用率,英国企业每年可节省230亿欧元,相比之下那些不作为的企业将失去市场竞争力。

虽然绿色经济在发展的过程中必然要迎接巨大挑战,如果不采取行动,人们或将面临严重的后果。自然资源并非取之不尽、用之不竭,如何实现绿色的发展不仅是一个经济问题,也是发展问题,需要全世界共同努力,找出解决方案。

“里约+20”地球峰会将于6月在巴西举行,环保人士希望,各国将绿色发展作为一条通向共同富裕的必由之路纳入全球承诺中;政府要为私人部门参与绿色发展创造平台和机会;各国应就可持续发展目标达成共识,从而应对食物、能源和水资源安全问题;此外,各国还应当考虑国内生产总值的同时,将自然和社会价值纳入衡量范围。

在英国国内,企业在实现生产转型的过程中得到了社会各界强有力的支持。英国绿色经济委员会将政府、企业和第三方机构联系在一起,为各方如何采取绿色行动给予帮助;政府也制定了一系列促进绿色经济的政策,稳定企业投资,同时,政府还在确保环境法的有效性、一致性方面开展了很多工作。

到目前为止,英国在低碳经济发展方面已经颁布了帮助高耗能行业向低碳经济转型的措施,成立了世界第一个绿色投资银行(银行将筹资30亿欧元用于保障私有部门投资,降低市场风险),帮助企业应对低碳转型所产生的高昂成本,对低碳技术和节水技术的创新提供支持等。绿色经济的繁荣将促进投资和创新的发展,创造更为绿色的产品、服务。若想重建世界经济,绿色投资和绿色发展是各国的理想选择。

摘自 www.jshb.gov.cn 2012-05-28