

太湖湖区“黑水团”成因及危害分析

盛 东¹,徐兆安²,高 怡¹

(1.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098;2.水利部太湖流域管理局水文水资源监测局,江苏 无锡 214024)

摘要 跟踪观测太湖湖区“黑水团”形成过程,在室内对蓝藻死亡过程进行模拟试验。结果表明:①“黑水团”形成过程中,溶解氧迅速降低,最低值可为零,氨氮、化学需氧量均高于常值,发生剧烈的藻体分解矿化过程;②2008 年太湖竺山湖湾及附近出现的“黑水团”与 2007 年引发无锡自来水供水危机的贡湖水源地的“黑水团”特征基本一致;③蓝藻大规模聚集并堆积、死亡,在温度较高、风力较小、气压较低、复氧能力弱的条件下,蓝藻死亡后分解释放产生挥发性硫化物、二甲基三硫等硫醚类物质,硫化物与底泥中的重金属化合而形成致黑物质,在吸附凝聚过程中受湖泊风浪及水动力条件影响,悬浮而成“黑水团”。

关键词 水污染;黑水团;蓝藻死亡过程;高有机质底泥;太湖

中图分类号 X524 **文献标识码** B **文章编号** 1004-693X(2010)03-0041-04

Cause and impact analysis of black water cluster in Taihu Lake

SHENG Dong¹, XU Zhao-an², GAO Yi¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Monitoring Bureau of Hydrology and Water Resources, Taihu Basin Authority, Wuxi 214024, China)

Abstract: The formation of black water cluster was observed through field investigation and indoor simulation experiments on the course of death and decomposition of blue algae. The results showed the following: (1) During formation of black water cluster, the DO content reduced rapidly, the lowest value was nearly 0 mg/L, the contents of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, COD were greater than the normal values, and the process of the decomposition and mineralization of the dead blue algae occurred intensively. (2) The characteristics of black water cluster in the bay of Zhushanhu Lake in 2008 were in line with those in the Gonghu Lake in 2007. (3) A large number of blue algae were accumulating and dying under conditions of high water temperature, slow wind, low air pressure, and weak reoxygenation capacity. Thioethers substances like volatile sulfide and dimethyltrisulfide were released after the decomposition of dead blue algae, the sulphide and heavy metal from sediments were combined chemically, and colored matter was formed. Furthermore, the phenomenon of black water cluster occurred during the process of agglomeration in response to wind, waves, and hydrodynamic conditions.

Key words: water pollution; black water cluster; process of death of blue algae; rich organic sediment; Taihu Lake

近年来,太湖水环境污染越来越突出,湖泊污染和富营养化已成为制约社会和国民经济进一步持续发展的重要因素^[1]。随着湖泊污染和富营养化程度的加剧,“黑水团”现象频发于太湖等湖泊水体,不仅带来水功能障碍,影响水产养殖和景观旅游,破坏水生生态乃至整个生态系统,甚至已严重威胁到无锡等城市的水源供水,已成为继藻类暴发现象后又一

类湖泊灾害问题。

1 “黑水团”现象

根据 2008 年 5 月 21 日、22 日的遥感影像分析,太湖宜兴沿岸带有大量蓝藻堆积,同时太湖流域管理局水文水资源监测局实地调查结果也表明,太湖宜兴段蓝藻分布明显,呈油漆状或稠密油漆状。5 月

作者简介:盛东(1979—),男,湖南衡阳人,博士研究生,研究方向为水资源及水环境演变。E-mail: shengdong1979@163.com

通讯作者:徐兆安,男,高级工程师。E-mail: xuzhaoran@sina.com.cn

25 日宜兴林庄港附近水域蓝藻大量堆积 ,表层藻体干化发白 ,开始大规模死亡 ;5 月 26 日遥感影像显示 ,太湖宜兴沿岸蓝藻带突然消失。5 月 27 日太湖宜兴城东港至八房港段有一黑色污水带 ,宜兴段多处水域发生“黑水团”现象(图 1)。5 月 31 日 ,该区域“黑水团”湖面已无蓝藻水华 ,并有死鱼漂浮水面。2008 年 6 月上旬 ,太湖西部宜兴近岸水域再次发现多个黑水团 ,水体呈酱褐色 ,黑水团中发现有湖鳅等死鱼 ;7 月 10 日在太湖竺山湖湾发现有大面积暗黑色水团。



图 1 2008 年太湖湖区宜兴段水域“黑水团”示意图

太湖流域管理局水文水资源监测局 2008 年 6 月 4 日对出现“黑水团”的太湖湖区宜兴段林庄港水域进行水质和藻类监测 ,结果表明 :出现“黑水团”的区域水质较差 , $\rho(\text{DO})$ 低至 0.25 mg/L ; $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 达 11.2 mg/L , $\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ 为 46.6 mg/L , $\rho(\text{COD})$ 为 443 mg/L , $\rho(\text{TP})$ 为 0.3 mg/L , $\rho(\text{TN})$ 为 21.3 mg/L ,电导率为 $774\text{ }\mu\text{S/cm}$;微量有毒害有机物监测结果为 ,林庄港入湖口有 1,1-二氯乙烯检出 ,苯系物未检出。中国科学院生态环境研究中心利用蒸馏萃取-气相色谱分析法对“黑水团”水样主要致嗅物质进行检测 ,检出二甲基三硫(DMTS,属硫醚类物质)、2-甲基异苈醇(MIB)、土嗅素(Geosmin)等物质 ,2-甲基异苈醇质量浓度 66 ng/L ,土嗅素质量浓度 30.2 ng/L ;二甲基三硫(DMTS)质量浓度为 376 ng/L 。与未发生

“黑水团”现象时该区域水质对比 , $\rho(\text{DO})$ 明显下降 , $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 、 $\rho(\text{COD})$ 等指标明显上升(表 1,表 2)。太湖西部沿岸和竺山湖南部分别采用大浦、龙头两监测站点水质数据 ,具体位置见图 1。

2007 年 5 月 28 日至 6 月 4 日无锡贡湖水源地(南泉水厂取水口)曾出现“黑水团” , $\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ 最大值达 12.7 mg/L (劣 V 类) , $\rho(\text{DO})$ 下降到 0 mg/L ,无锡市自来水恶臭 ,引发了无锡自来水供水危机^[2]。中国科学院生态环境研究中心利用蒸馏萃取-气相色谱分析法对主要致嗅物质进行定量与系统分析 ,水中的腥臭味主要来自于硫醚类物质 ,在污水团和被污染的自来水中存在着高浓度的硫醚类物质 ,以二甲基三硫为主^[2,4]。通过对 2007 年 5 月 28 日和 2008 年 6 月 4 日出现的“黑水团”现场观察和采样对比分析 ,两次发生的“黑水团”均具有以下特征 :感官特征为水体呈黑色或酱褐色 ,边缘清晰 ,透明度较低 ,有明显臭味 ;水化学特征表现为 $\rho(\text{DO})$ 接近于 0 mg/L ,氨氮质量浓度异常升高 ,最大值可大于 10 mg/L ,远超过 V 类水质标准(2 mg/L)^[3]。生物特征表现为水华消散 ,藻类明显减少 ,伴有鱼类等水生动物死亡。二甲基三硫、2-甲基异苈醇、土嗅素 3 种致嗅物质浓度较高 ,均超过其嗅味阈值。由此可见 ,2008 年太湖西部沿岸、竺山湖南部和 2007 年贡湖等局部水域“黑水团”都具有低溶解氧、高氨氮、高化学需氧量、高硫化物、水华消散、藻类减少等特征 ,水色发黑 ,与周边正常水体颜色明显不同 ,且均含有二甲基三硫等致嗅物质并散发出有刺激性的腥臭味。

2 “黑水团”发生区域的水环境特征

太湖湖岸形态大体分布为 :南岸为典型的圆弧形岸线 ,东北岸曲折多湾 ,湖岬、湖荡相间分布 ,湖泊水量补给系数很低 ,年平均入湖径流量甚小 ,造成湖水换水周期长 ,同时太湖围垦以及不合理的开发利用使水动力条件发生变化 ,如马山围垦 ,改变了梅梁湖和竺山湖的水动力条件 ,导致局部湖湾湖流破坏 ,

表 1 “黑水团”水样数据对比

日期	采样点	水温/ $^{\circ}\text{C}$	水体颜色	$\rho(\text{DO})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	透明度/ m	生物量/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	蓝藻密度/ (10^4 个/ L^{-1})	二甲基三硫“2-甲基异苈醇”土嗅素” 质量浓度/ ($\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)	质量浓度/ ($\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)	质量浓度/ ($\text{ng}\cdot\text{L}^{-1}$)
2007-05	贡湖水厂取水口	27.5	黑色	0	12.7	81	0.05	12.50	2104	11399.0	112	6.6
2008-06	林庄港	27.3	黑色	0.25	11.2	443	0	8.38	1580	376.5	66	30.2

注 : * 数据来源于中国科学院生态环境研究中心环境水质学国家重点实验室。

表 2 太湖宜兴段龙头、大浦夏秋季多年平均水质指标

采样点	水温/ $^{\circ}\text{C}$	$\rho(\text{DO})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TN})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TP})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	叶绿素 a 质量浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	$\rho(\text{BOD}_5)$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	蓝藻密度/ (10^4 个/ L^{-1})
龙头	26.3	9.234	1.496	56.92	12.11	6.20	0.32	11.78	188.60	6573.6
大浦	27.0	8.348	1.112	67.78	10.25	5.63	0.28	11.57	119.34	6190.4

影响湖湾水体交换^[5]。太湖湖流以风生流为主,水流缓慢,氮、磷浓度居高不下。

太湖地处亚热带北缘,具有明显的亚热带季风气候特征,每年自5月中旬至10月中旬水温多在20℃以上。由此可见,太湖具备大规模暴发蓝藻水华的基本生境条件^[6],藻类易于滋生和集聚于湖湾沿岸。太湖北部如竺山湖湾、梅梁湖和西部沿岸在季风、温度条件影响下,夏秋季藻类大量发生并积聚,浓度可处于极高水平,如2007年水华严重区域竺山湖湾口水体藻类质量浓度高达234 mg/L。

“黑水团”发生区域底泥污染严重。太湖流域20世纪70年代起就向河湖水体排放大量污染物(如重金属、有毒有机物和营养物等),这些污染物部分被蓄积到河湖底泥中,在适当的温度和风浪条件下,会释放出来影响湖泊和河流水质。根据太湖流域管理局2003年太湖底泥调查结果,太湖污染底泥主要集中在梅梁湾、竺山湖和西部沿岸区,竺山湖和西部沿岸区底泥平均淤积厚度近0.9 m,表层多为流泥,且氨氮、有机质含量较高,竺山湖底泥有机质质量占干质量的1.35%~3.29%,西部沿岸区有机质质量占干质量的0.66%~1.47%。研究表明,全湖70%以上的底泥污染物释放量来自于该区域,对湖体的藻类水华暴发起着重要的促进作用。该区域表层底泥均受重金属污染,重金属离子浓度明显高于其他湖区,对水体生态系统具有较大的危害性,同时在泥-藻残体混合的高有机污染物中,与释放出来的次生代谢物硫化物化合较易形成致黑物质。

3 “黑水团”室内模拟试验

为进一步验证太湖湖区“黑水团”成因,分析污染底泥对蓝藻死亡分解过程中致嗅物质生成的影响,太湖流域管理局水文水资源监测局开展了蓝藻死亡模拟试验。

3.1 材料与方法

试验装置:有盖有机玻璃圆桶,底部铺上5 cm的太湖污染底泥,加入湖水和藻类。除湖水对照组外,添加底泥、藻类的3种条件均设平行样,共需7只有机玻璃圆桶。在使用前用蒸馏水清洗圆桶,然后用湖水冲洗。

3.1.1 试验材料

a. 太湖污染底泥:在近期发生过黑水团事件的太湖西部宜兴林庄港湖区,采集表层污染底泥,共需约0.03 m³。

b. 太湖湖水:在采底泥样的地点,采集湖水,现场经25#浮游生物网滤除藻类后,装入25 L塑料桶带回,共需0.15 m³湖水样。

c. 蓝藻藻体:用浮游生物网捞取太湖蓝藻藻体3 kg(湿质量)。

3.1.2 试验方法

在试验装置中按照4种模拟条件,加入相应的试验材料。

a. 湖水:在编号为A1的圆桶中,加入滤除藻类的湖水至25 cm高度。

b. 底泥加湖水:在编号为B1、B2的圆桶中,加入底泥至5 cm厚度,再缓慢加入滤除藻类的湖水至25 cm高度。

c. 蓝藻加湖水:在编号为C1、C2的圆桶中,加入湖水至25 cm高度,再加入蓝藻藻体200 g(湿质量)。

d. 底泥加蓝藻湖水:在编号为D1、D2的圆桶中,加入底泥至5 cm厚度,缓慢加入湖水至25 cm高度,再加入蓝藻藻体200 g(湿质量)。

在试验材料加入装置2 h后,藻类死亡水体出现黑臭时,出现黑臭后36 h分别取样监测。

3.2 试验结果

编号为A1、B1、B2的圆桶中,无黑臭发生;编号为C1、C2的圆桶中,藻类死亡后有臭味但水色不变黑(加入藻类量较多,呈墨绿色);编号为D1、D2的圆桶中,藻类死亡后有腥臭味且水色变黑。

对A、B、C、D圆桶水样水质指标数据分析,C、D中溶解氧变化相对A、B变化剧烈(图2(a)),说明蓝藻大量死亡及在藻体分解、矿化过程中,消耗大量氧气,使得水体呈厌氧状态;C、D水样在试验过程中,氨氮浓度值明显高于A、B(图2(b)),说明仅有底泥的存在不足以引起水体有机物质浓度的急剧升高,但蓝藻死亡分解过程中与底泥共同作用后,产生高有机质污染,藻类残体中有机氮分解为氨氮。同时,在C、D水样中检出硫化物及二甲基三硫等含硫有机物,说明藻类残体中的硫元素被还原并进一步生成二甲基三硫等含硫有机物,使得水体发出臭味。D水样中检出的重金属浓度明显高于其他试验水样,说明底泥中重金属能与藻体释放代谢物金属硫化物。模拟试验可以说明主要致嗅物质应是由大量有机体

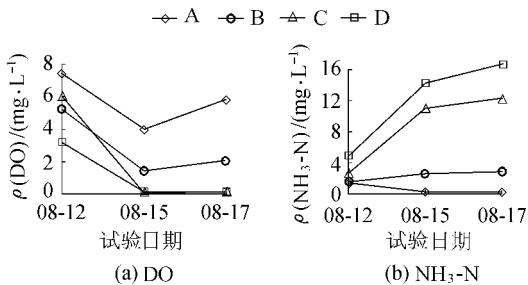


图2 蓝藻死亡模拟试验浓度变化

的厌氧腐败所代谢的二甲基三硫为主的硫醚化合物,致黑主要因素应是高有机质底泥参与造成的。

4 “黑水团”主要成因分析

根据蓝藻死亡分解释放营养盐过程概念模型^[7-9],蓝藻死亡引起藻团分解,生成体积小的颗粒物和胶体,水体中存在一个颗粒物“分解释放—凝聚沉淀”的动态平衡。随着时间延续,该平衡由“分解释放大于凝聚沉淀”的过程逐渐达到“分解释放等于凝聚沉淀”的过程,之后又因细颗粒和胶体物质的增多使得平衡向“凝聚沉淀大于分解释放”的过程发展。室外跟踪调查监测及对“黑水团”现象形成过程的跟踪观测与室内蓝藻死亡模拟试验表明:“黑水团”现象产生有多个因素诱导:①蓝藻大规模暴发并堆积、死亡;②湖底有高有机质的底泥存在;③温度较高、风力较小、气压较低,不利于水体复氧。即太湖蓝藻暴发后一旦受到外源物质、高有机质底泥和气候突变等因素影响,蓝藻自然生长过程中新老交替的平衡被突然打破,蓝藻大量堆积、死亡,下沉并分解,耗尽水中溶解氧,使得水-底泥界面进入厌氧状态,高有机质底泥和死亡藻类二者共同作用,在厌氧条件下产生挥发性硫化物、二甲基三硫等硫醚类物质,挥发性硫化物与底泥中的重金属化合而形成致黑物质,在吸附凝聚过程中受湖泊风浪及水动力条件影响,悬浮而成“黑水团”。

5 “黑水团”危害分析

5.1 饮用水安全及水环境危害

“黑水团”产生严重影响到周边城市地区饮用水安全,2007年5月28日,无锡贡湖湾口南泉水厂发生“黑水团”进入水厂取水口恶化水源水质事件,导致水厂停止供水近100h。有研究表明^[10-12],堆积集聚的淡水蓝藻释放的毒素,其次生代谢产物通过“皮肤接触、呼吸道吸入、血液透析、消化道摄入”等途径,能损害肝脏,影响蛋白磷酸酶的活力,具有促癌效应,直接威胁人类的健康和生存。

5.2 生态危害及社会经济影响

从2008年5月31日室外调查情况得知,有大量死鱼漂浮水面,其主要原因为大面积的“黑水团”在湖区水域中形成,阻隔水体的光合作用及其与大气的交换,使水中溶解氧浓度迅速降低,水中溶解氧接近零,造成沉水植被难以生存、湖底水生动植物大量死亡的生态危害。水生态与环境的恶化影响又进一步对周边城市的社会经济(如投资业、水产业、旅游业)产生严重破坏,如城乡供水安全受到威胁、水产养殖产量与效益大幅度下降、旅游业凋敝、公众的

心理恐慌等连锁反应导致更深层次的社会矛盾。

6 结论与建议

太湖湖区大面积“黑水团”现象出现为太湖蓝藻水华危害新的表征,对水源的影响和危害较之蓝藻暴发更为严重。对其成因初步研究表明:“黑水团”现象仍是以蓝藻大规模暴发,聚集堆积死亡及高有机质底泥为其基本要素,即太湖蓝藻暴发后受到外源物质、高有机质底泥和气候突变等因素影响,蓝藻大规模聚集堆积,其自然生长过程中新老交替的平衡被突然打破,蓝藻大量死亡下沉并分解,耗尽水中溶解氧,使得水-底泥界面进入厌氧状态,高有机质底泥和死亡藻类在厌氧条件下产生挥发性硫化物及二甲基三硫等硫醚类致嗅物质,硫化物与底泥中的重金属与挥发性化合而形成致黑物质,在吸附凝聚过程中大片悬浮而成“黑水团”。

针对“黑水团”成因,笔者建议:①加强蓝藻的实时监控及预警,科学除藻,预防蓝藻大规模积聚堆积;②沿岸湖区底泥进行生态疏浚,减少内源诱因;③严格执行污染排放总量控制,减少源头污染物质进入;④实施太湖流域水环境综合整治方案,加快上游湖泊、河流的生态环境保护与修复;⑤进一步加强“黑水团”监测与分析,进行更为深入的研究。

参考文献:

- [1] 秦伯强,胡维平,陈伟民,等.太湖水环境演化过程与机理[M].北京:科学出版社,2005:11-12.
- [2] YANG Min, YU Jiang-wei, LI Zong-lai, et al. Taihu not to blame for Wuxi's woes[J]. Science, 2008, 319(2):158.
- [3] GB 3838—2002 地表水环境质量标准[S].
- [4] 于建伟,李宗来,曹楠,等.无锡市饮用水嗅味突发事件致嗅原因及潜在问题分析[J].环境科学学报,2007,27(11):1771-1777.
- [5] 宋立荣,李林,陈伟,等.水体异味及其藻源次生代谢物研究进展[J].水生生物学报,2004,28(4):434-439.
- [6] 陈艳,俞顺章,王金秋.蓝藻毒素的毒性及其生物富集、暴露途径和危险度评估[J].上海环境科学,2002,21(6):361-364.
- [7] 孙顺才,黄漪平.太湖[M].北京:海洋出版社,1993:1-271.
- [8] 储昭升,金相灿,庞燕,等.铜绿微囊藻和孟氏颤藻在富营养化湖泊中生长特征的模拟研究[J].环境科学学报,2006,26(11):1815-1820.
- [9] 孙小静,秦伯强,朱广伟.蓝藻死亡分解过程中胶体态磷、氮、有机碳的释放[J].中国环境科学,2007,27(3):341-345.
- [10] 曹焕生,孔繁翔,谭啸,等.太湖水华蓝藻底泥中复苏和水柱中生长的比较[J].湖泊科学,2006,18(6):585-589.

(下转第52页)

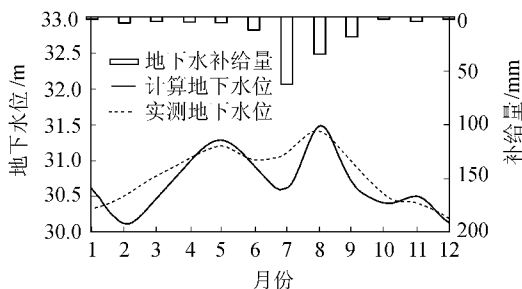


图5 张集地区孔隙含水层观测井2005年
地下水位过程线

应应用 ARCGIS 软件,将 SWAT 模型计算的具有空间分布特征的模型要素地下水补给量和潜水蒸发量引入 MODFLOW 的地下水补给模块(RCH)和蒸发模块(EVT)中,实现模型的耦合计算。

对区域2005年地下水模拟计算结果表明,计算得到的区域地下水位与实测结果基本吻合。SWAT 模型与 MODFLOW 的耦合计算对于更准确地模拟和预测地下水水情,进一步研究地表水与地下水之间的相互作用提供了科学方法,对于区域水资源的科学规划和管理,实现区域水资源的可持续利用具有实际意义。

参考文献:

- [1] BEVEN K. Topmodel :a critique[J]. Hydrological Processes , 1997 ,11 :1069-1085.
- [2] 张银辉. SWAT 模型及其研究进展[J]. 地理科学进展 , 2005(5) :121-130.
- [3] 王中根, 刘昌明. SWAT 模型的原理、结构及应用研究[J]. 地理科学进展 , 2003(1) :21-24.
- [4] 赵人俊. 流域水文模拟 :新安江模型与陕北模型[M]. 北京 :中国水利水电出版社 ,1984.
- [5] MCDONALD M G ,HARBAUGH A W. A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model[R]. Washington :U S Geological Survey Open-File Report ,1988.
- [6] DIERRSCH H J G ,FEFLOW users manual[M]. Berlin :Institute for Water Resources Planning and System Research Ltd ,1998.
- [7] JOBSON H E ,HARBAUGH A W. Modifications to the diffusion analogy surface-water flow model (DAFLOW)for coupling to the modular finite difference ground-water flow model (MODFLOW) [R]. Washington :U S Geological Survey Open-File Report ,1999.
- [8] SOPHOELEOUS M A ,KOELIKER J K ,GOVINDARAJU R S et al. Integrated numerical modeling for basin-wide watermanagement :the case of the Rattlesnake Creek basin in south central Kansas[J]. Journal of Hydrology ,1999 ,214(1-4) :179-196.
- [9] LABOLLE E M ,AHMED A A ,FOGG G E. Review of the integrated groundwater and surface-water model(IGSM) [J]. Groundwater ,2003 ,41(2) :238-246.
- [10] PANDAY S ,HUYAKORN P S. A fully coupled physically-

based spatially-distributed model for evaluating surface flow [J]. Advances in Water Resources 2004 ,27(4) :361-382.

- [11] 贾仰文,王浩,倪广恒,等. 分布式流域水文模型原理与实践[M]. 北京 :中国水利水电出版社 ,2005.
- [12] Anon. Visual MODFLOW V. 2.8.2 user 's manual for professional application in three-dimensional groundwater flow and contaminant transport modeling[M]. Ontario :Waterloo Hydro Geologic Inc ,2000.
- [13] NAM W K ,MOON C , YOO S W ,et al. Development and application of the integrated SWAT-MODFLOW model[J]. Journal of Hydrology 2008 (356) :1-16.
- [14] 江苏省水文地质工程地质勘察院. 江苏省徐州市张集水源地供水水文地质详查报告[R]. 南京 :江苏省水文地质工程地质勘察院 ,2001.

(收稿日期 2009-10-22 编辑 高渭文)

(上接第 44 页)

- [9] WANG Yuan-yuan , CHEN Fei-zhou. Decomposition and phosphorus release from four different size fractions of microcystis spp. take from Lake Taihu ,China[J]. Journal of Environmental Science 2007 ,7 :892-899.
- [10] 谢平, 陈宜瑜. 加强淡水生态系统中生物多样性的研究与保护[C]//中国环境与发展国际合作委员会. 保护中国的生物多样性. 北京 :中国环境科学出版社 ,1996 :208-217.
- [11] 丁笑生, 段红英. 微囊藻毒素及其生殖毒性的研究进展[J]. 水产科学 ,2007 ,26(1) :61-62.
- [12] 左金龙, 崔福义, 刘智晓, 等. 饮用水中蓝藻毒素污染研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备 ,2006 ,7(3) :8-13.

(收稿日期 2008-11-02 编辑 高渭文)

勘 误

2010 年第 2 期第 76 页图 1(a)(b)横坐标标值有误,正确标值见下图。特此更正。

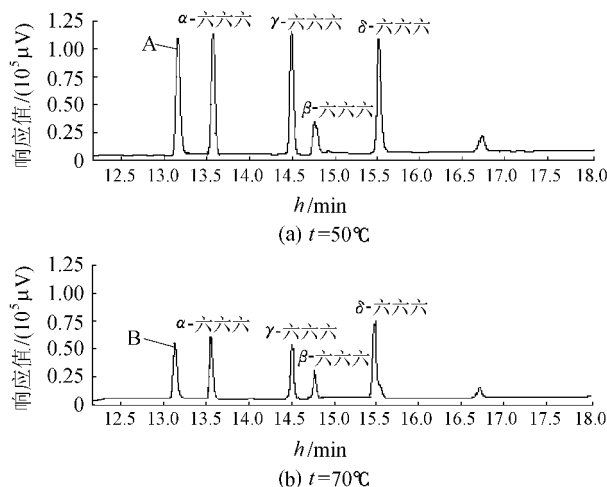


图1 进样温度对待测物响应值的影响