

南宁市南湖水质富营养化评价 Eutrophication Evaluation of Water Quality in Nanning Nanhu Lake

李丽和^{1,2}, 周小宁¹, 韦丽群¹, 黄玉琴¹, 廖海英¹

LI Li-he^{1,2}, ZHOU Xiao-ning¹, WEI Li-qun¹, HUANG Yu-qin¹, LIAO Hai-ying¹

(1. 南宁市环境保护监测站, 广西南宁 530012; 2. 广西壮族自治区环境监测中心站, 广西南宁 530028)

(1. Nanning Environmental Protection Monitoring Station, Nanning, Guangxi, 530012, China; 2. Guangxi Zhuang Autonomous Region Environmental Monitoring Station, Nanning, Guangxi, 530028, China)

摘要:基于最近5年的调查监测数据,利用内梅罗污染指数法和综合营养状态指数法对南宁市南湖水质变化情况及富营养化程度进行综合分析和评价。结果表明,南湖水体受到了不同程度的污染,TP、TN超标严重,是主要污染因子。南湖水质总体上处于IV~V类,即为中污染至重污染,在个别时期出现了严重污染。南湖水体综合营养状态指数大多处于50~70,大部分属于轻度富营养化—中度富营养化;综合营养状态指数呈较有规律的波浪式变化,波峰大都出现在每年的5月至10月,波谷大都出现在每年的1月至4月。

关键词:水体污染 富营养化 评价

中图分类号: X52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2012)03-0219-05

Abstract: The water quality and eutrophication degree of Nanhu Lake in Nanning were comprehensively analyzed and evaluated by the Nemerow Pollution Indexes and Comprehensive Trophic Level Indexes, based on the monitoring data of water quality in the period of 2007~2011. The results showed that the water was polluted in different degrees in Nanhu Lake. The total nitrogen and total phosphorus, as the main pollution factors, were highly over the standards. The water quality of Nanhu Lake was in the degree of IV and V, which was moderate and heavy pollution with sometime severe contamination, respectively. Comprehensive Trophic Level Index values were mostly between fifty and seventy, which belonged in the levels of light eutrophication and moderate eutrophication. Comprehensive Trophic Level Index values were appeared in a regular wavy variation. The wave peaks appeared from May to October and the wave troughs from January to April.

Key words: water pollution, eutrophication, evaluation

富营养化问题是城市湖泊面临的突出问题^[1,2]。一直以来,城市湖泊被充当城市生活污水及企事业单位的天然处置设施。随着城镇人口的剧增及产业的迅猛发展,大量污水排入,城市湖泊的自

净平衡受到破坏,水体变脏变绿变臭,水质急剧恶化,水体富营养化问题日趋严重,致突变性增强,极大削弱了湖泊的旅游观光、水产养殖等功能,损坏了城市的形象,阻碍了城市社会经济的可持续发展^[3~6]。为了改善城市湖泊水质,不少地方政府花巨资采取截污、清淤、补水、景观修复等措施进行治理^[7~9],但是效果不甚理想。南宁市南湖是国内众多曾花巨资进行过治理的典型湖泊之一。

南宁市南湖位于南宁市东南部,是南宁市内最

收稿日期: 2012-03-06

修回日期: 2012-03-25

作者简介: 李丽和(1979-),男,硕士,工程师,主要从事环境污染监测技术研究。

大的湖泊。南湖水体为东北西南走向,水面被风景桥和南湖大桥分隔为上湖、中湖、下湖3个区域,整个湖面长3.8km,宽250~380m,面积1.07km²,水深1.5~2m,容积为1.9×10⁶m³。自1934年以来,南湖被蓄水养鱼。经过半个多世纪的累积,2002年南湖的淤泥最深处达2m多,最浅处1.2m,淤泥总量在80×10⁴m³以上,南湖水体受污染严重。2002年5月,南湖综合治理工程开工建设,建设内容包括清淤、淤泥库建设、护岸、补水、南湖南广场建设等;2003年8月底,工程基本完工,总投资近亿元。近几年南湖水体富营养化加剧,制约了南宁市社会经济的发展,影响了城市形象。为了治理南湖的富营养化,2009年南湖水质改善工程补水子工程正式启动,南湖补水量大幅增加,水质有所改善。未来几年,南宁将加快城市内河整治,推进城市水系建设,建设滨水景观带,打造“中国水城”。南湖—竹排冲连通水系是南宁城市水系总体结构“一江、两库、六环、十八河、八十湖”中重要的核心环节,南湖在“十八清流、八十湖”中具有举足轻重的作用。本文基于2007年11月至2011年9月的南湖水质调查监测数据,综合分析南湖水体的富营养化程度及其变化趋势,为南湖—竹排冲水系连通后的南湖水质管理提供技术支持。

1 调查与评价方法

1.1 监测项目与方法

2007年11月至2011年9月,在南湖上湖、中湖、下湖的湖心分别采集有代表性的湖水样品进行监测(图1)。水质监测项目有水温(WT)、pH值、溶解氧(DO)、透明度(SD)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、总磷(TP)、总氮(TN)、叶绿素a(Chla)。各水质监测项目均采用标准方法测定,其中,水温测定采用温度计法(GB13195-91),pH值测定采用玻璃电极法(GB6920-86),溶解氧测定采用电化学探头法(GB11913-89),透明度测定采用圆盘法(SL87-1994),高锰酸盐指数测定采用酸性高锰酸盐指数法(GB11892-89),总磷测定采用钼酸铵分光光度法(GB11893-89),总氮测定采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB11894-89),叶绿素a测定采用传统标准方法^[10]。测定数据用SPSS统计软件进行分析,平行测量误差<5%。实验所用器皿均用稀酸浸泡过夜,所用药品均为分析纯。

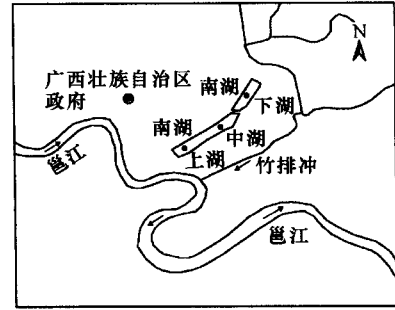


图1 南湖及采样点位置
·:采样点。

1.2 评价方法

采用内梅罗污染指数法对南湖水质进行评价。内梅罗污染指数法的数学表达式为^[11]:

$$I = \sqrt{\frac{(P_i)_{\max}^2 + (P_i)_{\text{ave}}^2}{2}}$$

式中, I 为水质综合质量指数, P_i 为评价因子 i 的污染指数, $(P_i)_{\max}$ 为参评因子的最大污染指数; $(P_i)_{\text{ave}}$ 为参评因子污染指数的算术平均值。对于一般评价因子(随水质浓度增加而水质变差的水质因子), $P_i = C_i/S_i$ (C_i 为评价因子 i 的实测浓度, S_i 为评价因子 i 的评价标准限值)。对于溶解氧(DO),当 $C \geq C_s$, $P_{\text{DO}} = |C_f - C| / (C_f - C_s)$;当 $C < C_s$, $P_{\text{DO}} = 10 - 9C / C_s$, C 为DO的实测浓度, C_s 为DO的评价标准限值, C_f 为某水温、气压条件下的饱和溶解氧浓度($C_f = 468 / (31.6 + t)$), t 为水温)。对于pH值,当pH值 ≤ 7.0 , $P_{\text{pH}} = (7.0 - \text{pH}) / (7.0 - \text{pH}_{s,d})$;当pH值 > 7.0 , $P_{\text{pH}} = (\text{pH} - 7.0) / (\text{pH}_{s,u} - 7.0)$, pH 为pH值的实测值, $\text{pH}_{s,d}$ 、 $\text{pH}_{s,u}$ 分别为评价标准中pH值的下限值与上限值。

采用综合营养状态指数法对南湖水质进行富营养化评价^[12]:

$$TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot TLI(j)$$

式中, $TLI(\Sigma)$ 表示综合营养状态指数; $TLI(j)$ 表示第 j 种参数的营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重。营养状态指数计算式为: $TLI(SD) = 10 \times (5.118 - 1.94 \ln SD)$, $TLI(COD_{Mn}) = 10 \times (0.109 + 2.661 \ln COD_{Mn})$, $TLI(TP) = 10 \times (9.436 + 1.624 \ln TP)$, $TLI(TN) = 10 \times (5.453 + 1.94 \ln TN)$, $TLI(Chla) = 10 \times (2.5 + 1.086 \ln Chla)$ 。营养状态分级:30以下为贫营养,30~50为中营养,50~60为轻度富营养,60~70为中度富营养,大于70为重度富营养。

在同一营养状态下,指数值越高,水体营养程度越重。

2 调查结果与评价

2.1 调查结果

从表 1 可知,上湖、中湖、下湖的 pH 值、SD、DO、COD_{Mn}、TP、TN、Chla 等指标存在一定的差异,尤其是上湖与中湖、下湖之间的差异较大,中湖与下湖之间的差异较小。指标差异大小程度排序为:Chla>TN>COD_{Mn}>DO>pH 值>TP>SD。与《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)Ⅲ类标准限值相比,DO、COD_{Mn}、TP、TN 均存在超标现象,最大超标倍数分别为 0.3 倍、0.7 倍、6.2 倍、4.1 倍。由此可见,TP、TN 是上湖、中湖、下湖的主要污染因子。Chla 是水体中现存浮游植物生物量的一个重要指标,其含量大小受到水温、pH 值、营养盐(碳、氮、磷)等因素的影响,可以综合反映水体各理化指标共同作用的效果。从 Chla 的值来看,上湖的显著大于中湖和下湖的,表明上湖水体富营养化最严重,其次是中湖,再次是下湖。这可能是由于上湖受生活污水排入影响最大,而下湖定期或不定期有琅东污水处理厂处理出水的汇入,从而其水质较好。

2.2 南湖水质状况评价

《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)Ⅲ类水体主要适用于集中式生活饮用水地表水源地二级保护区,并能满足一般水体的灌溉、养殖、航运等大部分功能,是国内大江大河、湖泊水库普遍执行的标准。因此,以Ⅲ类水质标准限值作为评价标准,结合已有的调查数据,将评价指标确定为地表水环境质量标准中有规定的 pH 值、溶解氧、高锰酸盐指数、总磷、总氮 5 项。采用与内梅罗污染综合指数类似的计算方法,计算地表水环境质量标准中各类水相应的内梅罗污染综合指数,根据该综合指数以及各类水的污染类型,确定污染等级(详见表 2)。

从南湖上湖、中湖、下湖的水质评价结果(图 2)可知,上湖、中湖、下湖的水质总体上处于Ⅳ~Ⅴ类,即为中污染至重污染,在个别时期(如 2009 年 4 月

份)出现了严重污染,可能是大量污水涌入所致。2009 年 4 月以前,南湖上湖水水质好于中湖和下湖,但是 2009 年 4 月以后,南湖下湖水水质好于上湖和中湖,下湖在 2010 年 10 月至 2011 年 1 月曾满足Ⅲ类水质标准要求。2009 年南湖水质改善工程补水工程正式启动,南湖补水量大幅增加,南湖的水质有所改善。由于整个南湖湖水更新周期非常长,被认为是死水湖泊,因此上湖、中湖、下湖的水质受降雨及人工补水的影响较大,水质随汇入水量的多少发生波动。同时,由于上湖、中湖、下湖虽联通但又相对独立,尤其是上湖与中湖之间只有一个风景桥孔相连,致使上湖与中湖、下湖的水质变化不一致。2010 年 1 月,南湖隧道开工建设,上湖与中湖、下湖的联通被截断。2010 年 9 月至 10 月,由于南湖隧道工程施工挖坏截污管,造成大量污水排入南湖上湖,导致上湖水水质显著恶化。

表 2 水质类别与内梅罗综合污染指数的对应关系

内梅罗综合污染指数 I	污染等级	对应地表水水质标准等级
$I \leq 0.76$	清洁	I
$0.76 < I \leq 0.85$	较清洁	II
$0.85 < I \leq 1.00$	轻污染	III
$1.00 < I \leq 3.59$	中污染	IV
$3.59 < I \leq 5.05$	重污染	V
$I > 5.05$	严重污染	/

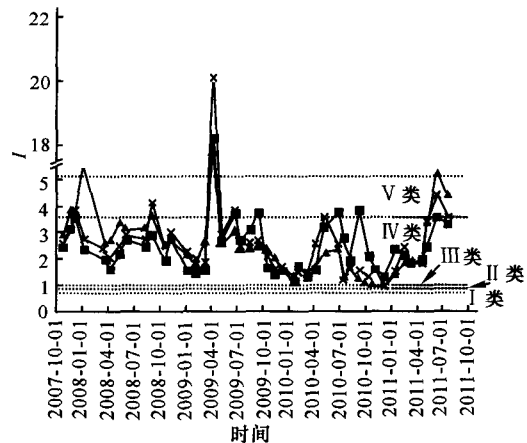


图 2 南湖水质评价结果

■:上湖;×:中湖;▲:下湖。

表 1 南湖水质调查结果

项目	pH 值	SD(m)	DO(mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	TP(mg/L)	TN(mg/L)	Chla(mg/m ³)
上湖	6.6~8.3	0.20~0.41(0.28)	4.8~12.3(8.0)	3.0~10.3(5.5)	0.07~0.24(0.14)	0.97~5.13(2.05)	13.3~57.2(30.5)
中湖	7.0~8.1	0.15~0.45(0.27)	3.4~10.7(7.3)	3.1~7.3(4.8)	0.05~0.30(0.13)	0.93~3.04(1.49)	6.9~49.5(23.7)
下湖	7.2~8.9	0.15~0.45(0.28)	3.3~10.8(7.7)	3.3~7.5(4.5)	0.05~0.36(0.13)	0.71~3.97(1.51)	1.9~46.1(21.2)
标准限值	6~9	/	≥5	≤6	≤0.05	≤1.0	/

括号内数据为平均值,标准限值是《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)Ⅲ类标准值。

表3 指标相关性分析结果($n=132$)

指标	pH	SD	DO	COD _{Mn}	TP	TN	Chla	I
SD	-0.004							
DO	0.399**	0.412**						
COD _{Mn}	0.015	-0.147	-0.090					
TP	0.134	-0.041	0.126	0.006				
TN	-0.100	-0.277**	-0.247**	0.118	-0.231**			
Chla	0.012	-0.182*	0.089	0.060	0.198*	0.122		
I	0.103	-0.059	0.077	0.211*	0.972**	-0.173*	0.187*	
TLI(Σ)	0.065	-0.644**	-0.255**	0.451**	0.176*	0.549**	0.572**	0.245*

** : $P < 0.01$; * : $P < 0.05$.

2.3 南湖水质富营养化评价

图3结果显示,监测期间南湖上湖、中湖、下湖的综合营养状态指数大多处于50~70,大部分属于轻度富营养化至中度富营养化。上湖、中湖、下湖的综合营养状态指数呈有规律的波浪式变化,波峰大都出现在每年的5月至10月,波谷大都出现在每年的1月至4月,与国内其他城市湖泊的变化趋势类似^[13]。这可能是因为每年的1月至4月气温较低,光照时间短,浮游植物生长缓慢。同时,气温低也可能抑制底泥中的营养盐向上覆水体释放。

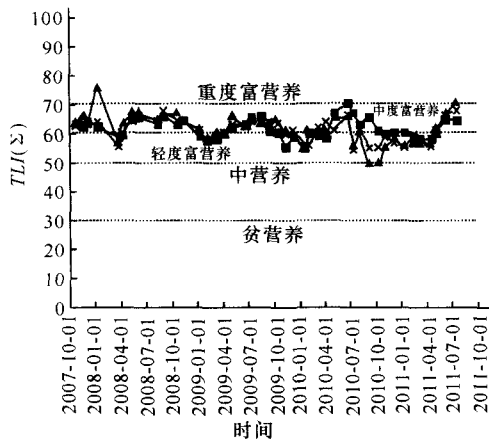


图3 南湖水质富营养化评价结果

■: 上湖; ×: 中湖; ▲: 下湖。

2.4 指标相关性分析

从表3结果可知,pH值与DO显著相关,这可能是因为富营养化浅型水体中各种生命活动(光合和呼吸作用)和气象条件等内外因素综合作用的外在反映^[14]。TP与TN相关性显著,说明两者有着共同的污染源。Chla与TP相关,而与TN的相关性较差,说明磷是南湖浮游植物生长的关键性抑制参数^[15,16],与文献^[17]的研究结论相似。I与COD_{Mn}、TP、TN、Chla相关性较好,而且与TP显著相关,说明南湖的水质受到COD_{Mn}、TP、TN、Chla等指标的影响较大,尤其是受TP的影响最大。TLI(Σ)与SD、DO、COD_{Mn}、TP、TN、Chla、I均有较好

的相关性,说明TLI(Σ)是多种因素综合作用的结果。对于南宁南湖这种城市内湖,是多种作用导致水体富营养化。

3 结论

(1)南湖上湖、中湖、下湖水体受到了不同程度的污染,DO、COD_{Mn}、TP、TN均存在超标现象,TP、TN超标严重,是上湖、中湖、下湖的主要污染因子。

(2)南湖上湖、中湖、下湖的水质总体上处于IV~V类,即为中污染至重污染,在个别时期出现了严重污染。

(3)南湖上湖、中湖、下湖的综合营养状态指数大多处于50~70,大部分属于轻度富营养化至中度富营养化。上湖、中湖、下湖的综合营养状态指数呈有规律的波浪式变化,波峰大都出现在每年的5月至10月,波谷大都出现在每年的1月至4月。

(4)南湖水体TP与TN相关性显著,说明两者有着共同的污染源。Chla与TP相关,而与TN的相关性较差,说明磷是南湖浮游植物生长的关键性抑制参数。

致谢:

南宁市环境保护监测站环境质量监测科和污染源监测科的各位同事在实验和论文撰写过程中提供了宝贵意见和帮助,作者谨此表示衷心感谢。

参考文献:

- [1] JIN Xiang-can, XU Qiu-jin, HUANG Chang-zhu. Current status and future tendency of lake eutrophication in China [J]. Science in China Series C Life Sciences, 2005, 48(s2): 948-954.
- [2] ZENG Yong, YANG Zhi-feng, LIU Jing-ling. Prediction of the concentration of chlorophyll- α for Liuhai urban lakes in Beijing City [J]. Journal of Environmental Sciences, 2006, 18(4): 827-831.
- [3] ZHANG Feng-ling, LIU Jing-ling, YANG Zhi-feng, et al. Ecosystem health assessment of urban rivers and lakes-case study of "the six lakes" in Beijing, China

- [J]. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 2008 (2): 209-217.
- [4] 王庭健, 苏睿, 金相灿, 等. 城市富营养化湖泊沉积物中磷负荷及其释放对水质的影响[J]. *环境科学研究*, 1994, 7(4): 12-20.
- [5] 彭俊杰, 李传红, 黄细花. 城市湖泊富营养化成因和特征[J]. *生态科学*, 2004, 23(4): 370-373.
- [6] 农清清, 覃倩萍, 张志勇, 等. 南湖水质富营养化现状及致突变性研究[J]. *广西医科大学学报*, 2002, 19(1): 58-59.
- [7] 朱敏, 王国祥, 王建, 等. 南京玄武湖清淤前后底泥主要污染指标的变化[J]. *南京师范大学学报: 工程技术版*, 2004, 4(2): 66-69.
- [8] 吴洁, 虞左明. 西湖浮游植物的演替及富营养化治理措施的生态效应[J]. *中国环境科学*, 2001, 21(6): 540-544.
- [9] 王国祥, 濮培民. 若干人工调控措施对富营养化湖泊藻类种群的影响[J]. *环境科学*, 1999, 20(2): 71-74.
- [10] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 268-270.
- [11] 刘清学, 霍守亮, 管逢宇, 等. 安徽省湖泊富营养化现状调查与评价[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(8): 4626-4629.
- [12] 王明翠, 刘雪琴, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. *中国环境监测*, 2002, 18(5): 47-49.
- [13] 荆红卫, 华蕾, 孙成华, 等. 北京城市湖泊富营养化评价与分析[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(3): 357-363.
- [14] 张澎浪, 孙承军. 地表水体中藻类的生长对 pH 值及溶解氧含量的影响[J]. *中国环境监测*, 2004, 20(4): 49-50.
- [15] 金相灿, 朱萱. 我国主要湖泊和水库水体的营养特征及其变化[J]. *环境科学研究*, 1991, 4(1): 11-20.
- [16] 林秋奇, 胡韧, 段舜山. 广东省大中型水库营养现状及浮游生物的响应[J]. *生态学报*, 2003, 23(6): 1101-1108.
- [17] 韦岩松, 陶增才, 童张法, 等. 南湖市南湖水体富营养化进程研究[J]. *南方国土资源*, 2006(4): 26-27.

(责任编辑: 邓大玉)

(上接第 218 页)

邕江南宁段枯水期末检出有机磷农药, 仅在丰水期检出 2 种有机磷农药(右江和下游断面分别检出 2 种和 1 种), 含量很低, 为 $0.03 \sim 0.04 \mu\text{g}/\text{L}$ 。河流洪枯季节会影响地表水中污染物质量分数, 水载迁移是污染物最重要的归趋之一^[11]。邕江南宁段仅在丰水期检出有机磷农药, 可能是由于丰水期丰沛的雨水将面源污染带入所致。

南宁城市内河在枯水期检出 4 种有机磷农药, 检出总含量为 $0.09 \sim 6.82 \mu\text{g}/\text{L}$, 总含量最高的点位为朝阳溪; 丰水期检出 4 种有机磷农药, 检出总含量为 $0.08 \sim 6.60 \mu\text{g}/\text{L}$, 总含量最高的点位为大桥冲。南宁城市内河枯水期有机磷农药总含量略高于丰水期。一般而言, 枯水期河道水体污染会比丰水期严重。南宁城市内河枯水期, 朝阳溪、竹排冲和水塘江有机磷农药的污染严重于丰水期, 但是, 大桥冲的有机磷农药污染却不如丰水期严重, 可能这是因为南宁城市内河污染水平与水量、水动力条件、水迁移条件以及有机污染物的水环境行为的主要过程紧密相关^[11]。非点源污染^[12]是南宁城市内河水体有机磷农药污染的重要原因, 对此应该予以重视。

参考文献:

- [1] 张一宾, 孙晶. 国内外有机磷农药的概况及对我国有机磷农药发展的看法[J]. *农药*, 1999, 38(7): 1-3.
- [2] 华晓梅, 单正军. 我国农药生产、使用状况及环境影响

因子分析[J]. *安徽化工*, 1999, 6: 6-10.

- [3] 傅桂平, 张子明. 美国的有机磷农药及其政策[J]. *农药科学与管理*, 2000, 21(6): 38-39.
- [4] 黄光鹏. 广西高毒农药的“禁用”管理实践与探讨[J]. *农药科学与管理*, 2006, 25(10): 59-63.
- [5] 康跃惠, 张干, 盛国英, 等. 固相萃取法测定水源水中的有机磷农药[J]. *中国环境科学*, 2000, 20(1): 1-4.
- [6] 何书海, 李鸾重, 杨应宁, 等. 全自动固相萃取-气相色谱测定环境水样中有机磷农药残留[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(18): 11053-11056.
- [7] 陈猛, 陆婉清, 韩燕, 等. 固相萃取-气相色谱法对河水与海水中 36 种农药残留的同时测定[J]. *分析测试学报*, 2009, 28(12): 1378-1383.
- [8] 安琼, 董元华, 葛成军, 等. 南京市小河流表层沉积物中的有机氯农药残留及其分布现状[J]. *环境科学*, 2006, 27(4): 737-741.
- [9] 徐炜. 高效液相色谱法测定环境水体中 8 种农药残留量[J]. *环境与健康杂志*, 2000, 17(6): 362-363.
- [10] 多克辛, 王玲玲, 朱叙超, 等. 河南省主要城市水源水中微量有毒有害有机污染特性研究[J]. *安全与环境学报*, 2004, 4(1): 32-35.
- [11] 郎佩珍, 袁星, 丁蕴铮, 等. 水环境化学——第二松花江吉林段水中有机污染物研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008: 1-207.
- [12] 陈红, 农永亮. 广西污染小流域综合整治模式研究[J]. *环境保护*, 2009, 379(9): 55-57.

(责任编辑: 陈小玲)