

# 柘林湖非点源入湖负荷估算及对策研究

刘慧丽, 冯明雷, 熊鹏 (江西省环境保护科学研究院, 江西南昌 330029)

**摘要** 在开展柘林湖污染源现状调查的基础上, 参照国内外相关湖泊污染负荷估算研究方法, 采取调查系数法估算柘林湖非点源氮磷的入湖负荷。结果表明, 水产养殖、农业种植业流失、农村生活和畜禽养殖污染是柘林湖流域非点源污染入湖氮的主要来源, 分别占入湖氮总量的 48%、30%、16% 和 6%; 水产养殖污染是入湖磷的主要来源, 占 64%, 其次为畜禽养殖、农村生活和农业种植业流失, 分别占 17%、10% 和 9%。

**关键词** 柘林湖; 非点源污染; 污染负荷; 流失; 估算

**中图分类号** S273.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)04-01670-04

## Non-point Source into Lake Load Estimation and Countermeasure Research on Zhelin Lake

LIU Hui-li et al (Jiangxi Academy of Environmental Sciences, Nanchang, Jiangxi 330029)

**Abstract** On the basis of carrying out an investigation of Zhelin Lake pollution source status, referring to domestic and foreign lake pollution load estimation methods, survey coefficient method was adopted for estimation of Zhelin Lake non-point source nitrogen and phosphorus load into the lake. The results showed that aquaculture, planting loss, rural life and pollution from livestock and poultry breeding are main sources for Zhelin Lake non-point source nitrogen, accounting to 48%, 30%, 16% and 6%, respectively. Aquaculture pollution is the main source for phosphorus, accounting to 64%, following by livestock and poultry breeding, rural life and planting loss with 17%, 10% and 9%, respectively.

**Key words** Zhelin Lake; Non-point source pollution; Pollution loads; Loss; Estimation

湖泊是人类当前及未来发展所必须的一种重要的战略资源, 具有防洪、供水、养殖、美学、生态系统维系及气候调节等多种功能, 对社会经济的发展起到了不可估量的作用。近几十年来, 由于湖泊流域社会经济快速发展, 污染治理设施滞后, 氮、磷等污染负荷削减难度较大, 致使我国众多湖泊长期接纳过量的氮磷营养盐负荷, 富营养化程度普遍较高, 湖泊水体处于“水华”频发的高生态风险状态之下。根据 2010 年中国环境状况公报, 2010 年在我国环境保护监测的 26 个重点湖库中, 有 53.8% (包括太湖、巢湖、滇池在内) 的湖泊都呈现不同程度的富营养化状态, 致使我国众多湖泊长期接纳过量的氮磷营养盐负荷, 大中型湖泊的富营养化问题直接影响其周边及下游城镇、农村地区的饮用水安全, 危及百姓的健康安全。相关研究表明, 仅以农田化肥施用情况来看, 我国农田耕地化肥施用水平已从 1990 年的 270.75 kg/hm<sup>2</sup> 增长至 2008 年的 430.43 kg/hm<sup>2</sup>, 远超西方发达国家所设定的防止对水环境造成污染的 225 kg/hm<sup>2</sup> 的安全上限<sup>[1]</sup>, 而且化肥平均利用率低, 其中氮肥的利用率为 30%~35%, 磷肥为 10%~20%, 钾肥 35%~50%<sup>[2]</sup>, 导致大量的氮、磷等营养物质进入水体, 造成不同程度的富营养化。当前非点源污染已成为我国社会经济和谐持续发展的重要限制性因素<sup>[3]</sup>。

柘林湖是修河干流上的第一大控制性湖库, 也是亚洲已建成的库容最大的人工土坝水库, 它具有突出的水源涵养功能, 是九江人民的母亲湖, 也是南昌市的备用水源地, 更是鄱阳湖生态经济区的组成部分和重要屏障, 在江西省处于重要的生态地位。坝址以上汇水区域 9 340 km<sup>2</sup>, 湖区水域面积

308 km<sup>2</sup> (水位高程 65 m), 总容量为 79.2 亿 m<sup>3</sup>, 主要入湖河流有罗坪水、烟港水、瓜源水、沙田水和罗溪水等 11 条。笔者选择具有饮用水功能的柘林湖区域作为研究对象, 通过分析估算非点源入湖负荷及其来源, 研究非点源的主要贡献来源, 为有针对性提出非点源入湖负荷控制对策, 保护好柘林湖“一湖清水”奠定基础。

## 1 研究方法

**1.1 调查区概况** 选取柘林湖生态功能区作为研究区, 具体涉及武宁和永修 2 县, 涉及武宁县的新宁镇、宋溪镇、鲁溪镇、澧溪镇、罗坪镇、甫田乡、官莲乡、横路乡、中口乡、石渡乡、扬州乡 11 个乡镇, 27 个行政村, 227 个自然村; 永修县的柘林镇和三溪桥镇 2 个乡镇, 12 个行政村, 70 个自然村。区内面积 2 618.3 km<sup>2</sup>, 总人口 27.41 万人, 农业人口 17.88 万人, 人口密度约 104 人/km<sup>2</sup>。数据来源于《永修统计年鉴 2011》、《山水武宁统计年鉴 2011》和《江西省统计年鉴 2011》等。

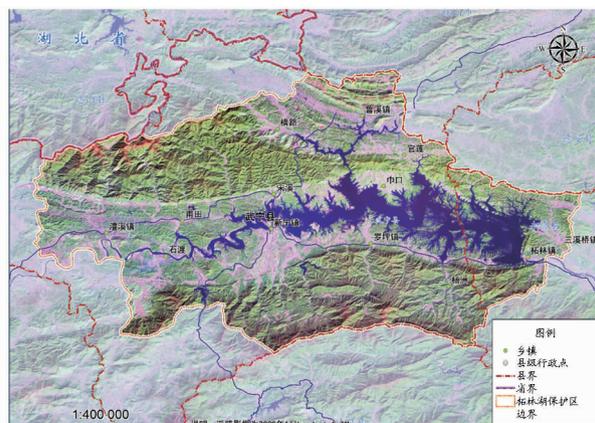


图 1 柘林湖生态功能区示意图

**1.2 估算方法** 现行的面源污染负荷研究中, 典型的方法有调查系数法<sup>[4]</sup>、流域水文分割法<sup>[5-8]</sup> 和 GIS 综合应用

**基金项目** 良好湖泊的生态环境保护专项——“柘林湖湖泊生态环境保护专项”。

**作者简介** 刘慧丽(1981-)女, 江西瑞金人, 工程师, 硕士, 从事湖泊生态环境保护 and 饮用水水源地环境保护研究, E-mail: qin-shiyueli@126.com。

**收稿日期** 2012-12-27

法<sup>[9]</sup>,各种方法均存在一定的局限性,如入湖系数法不确定性和任意性<sup>[10]</sup>,流域水文分割法更适用于山溪性河流,GIS 综合应用需要大量的地形、高程、植被、地质等多数据支持,应用起来比较复杂等<sup>[11]</sup>。该研究按照畜禽养殖污染、农业种植业流失、水产养殖污染及农村生活污染 4 类途径,采用调查系数法进行估算。假设各乡镇各类污染源均匀分布,且各类污染源流失系数均一,入湖负荷计算公式为:

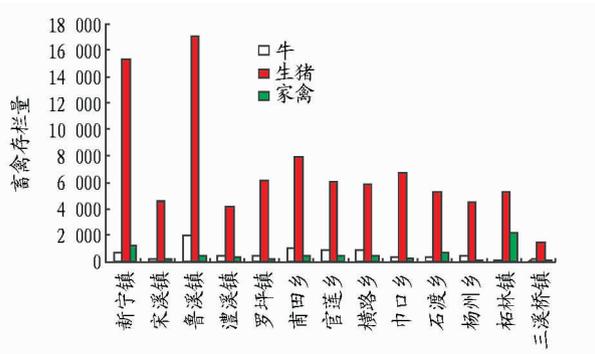
$$In = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Pr_{ij} \times \lambda_j \times r_i \times k_j \quad (1)$$

式中, $In$  为入湖负荷( $t/a$ ); $P_{ij}$  为调查区域各途径的产生量( $t/a$ ); $i$  为产生负荷的途径; $j$  为调查区域乡镇数目; $\lambda_j$  为排放系数(%); $r_i$  为各途径产生量的流失系数; $k_j$  为各乡镇占流域面积比例(%)。

## 2 非点源污染负荷来源与估算

### 2.1 非点源污染负荷来源

**2.1.1 畜禽养殖。**2010 年末,柘林湖生态功能区主要畜禽存栏为牛 8 044 头、生猪 89 854 只、家禽 7 476 百只,滨湖和近湖乡镇中新宁镇、甫田乡、巾口乡的养殖总量相对较高。根据咨询调查,除少数畜禽养殖场污水治理措施满足环保要求外,大部分养殖场均未能满足环保要求达标排放,仍然存在相对一部分养殖废水未经处理而随地表径流直排柘林湖流域水体。



注:家禽的单位为百只。

图2 2010年柘林湖流域各乡镇主要畜禽存栏量

**2.1.2 农业种植业。**由表1可知,2010年柘林湖生态功能区各乡镇农业种植化肥施用强度最大的是巾口乡,三溪桥镇次之,施用强度最小的是杨州乡。2010年,江西省和全国农业化肥施用强度分别为 470.4 和 430.4  $kg/hm^2$ ,由此可见柘林湖生态功能区有 61.5% 的乡镇化肥施用强度高于全省和全国平均水平。

**2.1.3 水产养殖。**据水产部门统计,共有 22 000 余箱网箱,345 座养鱼库湾,柘林湖湖区网箱养殖面积共 6 593  $hm^2$ ,养

表1 2010年柘林湖流域各乡镇农用化肥施用量(折纯)和施用强度

乡镇	农用化肥					耕地面积 $hm^2$	施用强度 $kg/hm^2$
	折存量//t	氮肥 t	磷肥 t	钾肥 t	复合 肥//t		
新宁镇	730	189	124	94	323	1 356	538.35
宋溪镇	285	62	58	38	127	435	655.17
鲁溪镇	540	180	100	60	200	1 299	415.70
澧溪镇	718	460	108	92	58	1 409	509.58
罗坪镇	162	57	15	6	84	653	248.09
甫田乡	126	38	15	28	45	864	145.83
官莲乡	568	228	80	80	180	812	699.51
横路乡	173	59	18	5	91	1 010	171.29
巾口乡	694	251	184	108	151	427	1 625.29
石渡乡	215	57	18	54	86	778	276.35
杨州乡	45	7	2	1	35	365	123.29
柘林镇	193	50	42	25	76	304	634.87
三溪桥镇	570	170	69	98	233	709	803.95
合计	5 019	1 808	833	689	1 689	10 421	481.62

殖面积占湖区面积 20%,2010 年末柘林湖流域主要水产品产量 3.47 万 t。其中,柘林镇的水产品产量最高,为 6 929 t,其次为罗坪镇,为 3 649 t。此外,澧溪镇无水产养殖。

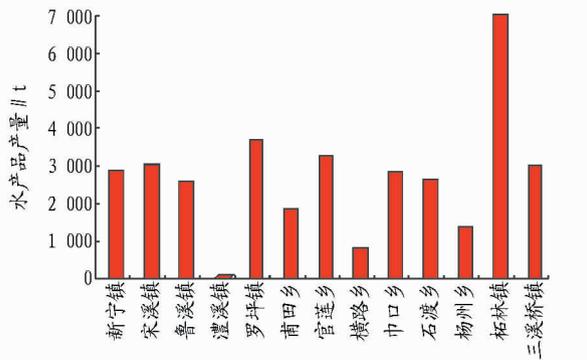


图3 2010年柘林湖流域各乡镇主要水产品产量

### 2.2 非点源污染氮磷入湖负荷估算

**2.2.1 流失系数。**流失系数是估算柘林湖非点源污染氮磷入湖负荷的重要参数。相关调查表明<sup>[12]</sup>,畜禽养殖粪尿约有 12% 进入水环境,人粪尿约有 10% 进入水环境。农田中随降水径流和渗漏排出的氮素约为当季施用量的 20% ~ 35%。水产养殖鱼塘的污染因清塘和换水 100% 进入环境。该研究结合柘林湖流域实际,将柘林湖流域乡镇分为滨湖乡镇、近湖乡镇和山区乡镇 3 类,滨湖乡镇即为柘林湖环湖乡镇,近湖乡镇指柘林湖入湖河流罗坪水、源口水、烟港水、瓜源水、沙田水和罗溪水流域乡镇,其他乡镇指距离柘林湖较远的巾口乡和大源水流域的乡镇。根据乡镇与湖泊的位置关系,按上述三类乡镇分别确定 N、P 流失系数(表 2)。

表2 柘林湖流域农业非点源污染氮磷流失系数

分类	乡镇	流失系数( $r_i$ )							
		畜禽养殖		农业种植		水产养殖		农村生活	
		氮	磷	氮	磷	氮	磷	氮	磷
滨湖乡镇	石渡乡、新宁镇、宋溪镇、巾口乡	0.12	0.05	0.24	0.05	1	1	0.20	0.15
近湖乡镇	甫田乡、澧溪镇、罗坪镇	0.10	0.04	0.20	0.04	1	1	0.15	0.10
山区乡镇	柘林镇、三溪桥镇、横路乡、鲁溪镇、官莲乡、杨州乡	0.05	0.03	0.10	0.03	1	1	0.05	0.03

**2.2.2 畜禽养殖污染负荷。**畜禽养殖入湖氮磷负荷主要根据养殖基数、排污系数、进入水环境比例、流失系数估算。该研究中,氮磷进入水环境的比例按照 12% 估算<sup>[12]</sup>,按照《肥料手册》<sup>[13]</sup>的计算方法,同时参考国内相关研究报告<sup>[14]</sup>及柘林湖区实际情况估算。研究中畜禽粪尿的排污系数如表 3 所示。

表 3 典型畜禽养殖污染物排放系数 kg/(头·a)

污染物	TN 当量数	TP 当量数
猪粪	2.32	1.35
猪尿	2.16	0.32
牛粪	31.80	8.60
牛尿	29.10	1.36
家禽	0.18	0.15

**2.2.3 农业种植业流失负荷。**农业种植业流失氮磷主要依据折纯化肥施用量、氮磷含量、进入水环境比例和流失系数相结合估算。该研究中氮磷进入水环境的比例分别按照 35%、20% 估算。2010 年,江西省施用复合肥的总量和折纯量分别为 132.6 万和 46.5 万 t,有效性约为 35%,按照江西省施用中浓度复合肥 15-10-10 计算,折纯复合肥氮磷的比例分别为 42.9% 和 12.5%。折纯磷肥中磷的比例为 43.7%。按照各施用肥料的氮、磷含量确定施用化肥中氮磷的总量,计算公式为:

$$C_n = F_n + 0.429 \times F_c \quad (2)$$

$$C_p = 0.437 \times F_p + 0.125 \times F_c \quad (3)$$

式中, $C_n$ 、 $C_p$  分别表示施用化肥中氮、磷的含量(t); $F_n$ 、 $F_p$ 、 $F_c$  分别表示施用氮肥、磷肥、复合肥的折纯量(t)。

**2.2.4 水产养殖污染负荷。**据统计,柘林湖流域湖鱼等养

殖主要在柘林湖水体,且湖体分布较多的网箱养殖,因此采用调查区域乡镇人工养殖鱼类作为基数估算。根据有关研究结果<sup>[15]</sup>,内陆水产养殖中,按养殖 1 kg 杂食性鱼类向环境中排放氮、磷分别为 0.028、0.004 6 kg 计算,该研究也采用这一系数进行估算。

**2.2.5 农村生活污染负荷。**农村生活污染入湖的负荷来源主要是生活污水未经处理直接排放进入水体,该研究关于入湖负荷的估算采用乡镇人口作为估算基数,结合产污系数、排放率和流失系数估算(表 4)。由于新宁镇为武宁县城,已建成城镇污水处理厂,对新宁镇的人口估算仅以乡村人口作为依据。

表 4 农村生活污染 N、P 的产排污系数

污染物	TN//g/(人·a)	TP//g/(人·a)	排放率//%
农村污水	5.70	0.43	60
粪尿	3.04	0.50	20

**2.2.6 氮磷入湖负荷。**由表 5 可知,柘林湖农业非点源污染氮磷的入湖负荷总量分别为 2 039.57 和 250.21 t/a。由图 4 可知,水产养殖、农业种植业流失、农村生活和畜禽养殖污染是柘林湖流域非点源污染入湖氮的主要来源。分别占入湖氮总量的 48%、30%、16% 和 6%;水产养殖污染是入湖磷的主要来源,占 64%,其次为畜禽养殖、农村生活和农业种植业流失,分别占 17%、10% 和 9%,因此水产养殖是非点源入湖负荷最主要的来源。在空间上,滨湖乡镇较近的空间距离和较高的污染基数与柘林湖非点源入湖负荷密切相关,因此滨湖乡镇成为湖泊非点源污染的重点控制区。

表 5 柘林湖入湖氮磷的来源及总量

乡镇	畜禽养殖//t		农业种植//t		水产养殖//t		农村生活//t		合计//t		单位负荷//t/km <sup>2</sup>	
	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP	TN	TP
新宁镇	17.99	6.29	78.62	3.78	79.80	13.11	113.78	7.77	290.19	30.95	0.12	0.01
宋溪镇	4.41	1.45	27.96	1.65	83.78	13.76	13.29	1.11	129.44	17.97	0.05	0.01
鲁溪镇	24.55	6.41	63.79	2.75	71.93	11.82	35.85	3.04	196.12	24.02	0.08	0.01
澧溪镇	7.37	2.14	116.37	2.18	0	0	26.54	2.25	150.28	6.57	0.06	0
罗坪镇	7.00	2.14	22.33	0.68	102.17	16.79	19.79	1.66	151.29	21.27	0.06	0.01
甫田乡	13.82	3.83	13.75	0.49	51.32	8.43	14.50	1.23	93.39	13.98	0.04	0.01
官莲乡	12.03	3.29	73.25	2.30	91.25	14.99	17.81	1.52	194.34	22.10	0.08	0.01
横路乡	11.59	3.20	23.53	0.77	23.38	3.84	22.93	1.96	81.43	9.77	0.03	0
巾口乡	7.06	2.32	75.79	3.97	78.85	12.95	9.07	0.77	170.77	20.01	0.07	0.01
石渡乡	7.84	2.80	22.53	0.74	74.06	12.17	15.48	1.31	119.91	17.02	0.05	0.01
扬州乡	5.98	1.65	5.28	0.21	38.67	6.35	10.76	0.90	60.69	9.11	0.02	0
柘林镇	11.10	5.23	19.82	1.11	194.01	31.87	10.50	0.86	235.43	39.07	0.09	0.02
三溪桥镇	2.80	0.99	64.79	2.37	83.16	13.66	15.53	1.32	166.28	18.34	0.07	0.01
合计	133.54	41.76	607.82	23.01	972.38	159.75	325.83	25.69	2 039.57	250.21	0.81	0.10

另外,例行水质监测结果表明,当前柘林湖 TN、TP 的平均浓度分别为 0.75 和 0.04 mg/L 特别是新宁镇周边水域,水质较差。假设非点源氮磷污染负荷在全湖内分布均匀,不考虑降解动力学作用,柘林湖氮磷的容许负荷将分别达到 0.81、0.10 mg/L,叠加本底浓度将达到 1.56、0.14 mg/L, TN 已与洞庭湖(1.11 mg/L)、洪泽湖(1.39 mg/L)相当, TP 已接近巢湖(0.204 mg/L)<sup>[16]</sup>,湖泊生态演变值得引起关注。研究表明,

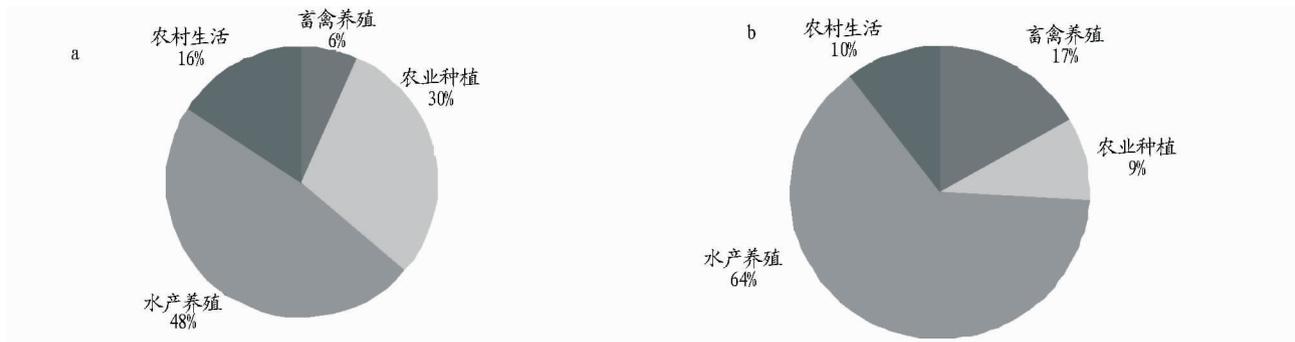
长江中下游地区浅水湖泊从草型生态类型转向藻型生态类型的 TP 阈值为 0.09 mg/L 左右<sup>[17]</sup>,这也表明柘林湖已经成为中-富营养型湖泊,且有引发水体富营养化的风险。

### 3 非点源污染控制对策

综上所述,非点源污染已成为柘林湖区域污染的重要来源,因此对其进行有效控制显得十分必要,提出如下对策:一是加强对水产养殖的科学规划与管理,减少投饵量,取缔网

箱网围养殖,改为天然放养模式;二是合理规划养殖场布局,提高畜禽粪尿的利用率,积极推广“畜禽-沼气-渔(林)”相结合的沼气工程,降低因畜禽粪便的流失产生的入湖负荷;三是推广测土配方施肥技术,逐步减少化肥的施用水平,相应增加有机肥的利用率,推进生物防治;四是推动柘林湖湖

区农村生活污水处理工程建设,加快推进新农村建设,逐步改善农村落后的生活方式,针对湖区农村塘沟渠较多的优势,选择典型水塘和沟渠,建设农村生活污水处理的氧化塘或人工湿地示范工程,探索选择化粪池、地理式污水处理等技术模式,减少农村生活污染入湖负荷。



注:a.氮,b.磷。

图 4 柘林湖非点源污染入湖负荷来源构成

## 参考文献

- [1] JIANG D M,ZHOU Y F,LU G F. The roles of country women in controlling non-point source pollution [J]. Chinese Journal of Population, Resources and Environment,2006,4(2):28-32.
- [2] 贾蕊,陆迁,何学松. 我国农业污染现状、原因及对策研究[J]. 中国农业科技导报,2006,8(1):59-63.
- [3] 尹澄清,毛战坡. 用生态工程技术控制农村非点源水污染[J]. 应用生态学报,2002,13(2):229-232.
- [4] JOHNS P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface;the export coefficient modeling approach [J]. Journal of Hydrology,1996,183(3/4):323-349.
- [5] 郑丙辉,王丽婧,龚斌. 三峡水库上游河流入库面源污染负荷研究[J]. 环境科学研究,2009,22(2):125-131.
- [6] 于涛,孟伟,EDWIN ONGLEY,等. 我国非点源负荷研究中的问题探讨[J]. 环境科学学报,2008,28(3):401-407.
- [7] 陈友媛,惠二青,金春姬. 非点源污染负荷的水文估算方法[J]. 环境科学研究,2003,16(1):10-13.
- [8] 梁博,王晓燕,曹利平. 我国水环境非点源污染负荷估算方法研究[J]. 吉林师范大学学报:自然科学版,2004(3):58-61.
- [9] 朱罡,程胜高,安琪. 区域地表水水源污染负荷的 GIS 计算方法研究[J]. 湖南科技大学学报:自然科学版,2006,21(2):90-93.
- [10] 李杰霞,杨志敏,陈庆华,等. 重庆市农业面源污染负荷的空间分布特征研究[J]. 西南大学学报:自然科学版,2008,30(7):145-151.
- [11] 郭红岩,王晓蓉,朱建国,等. 太湖流域非点源氮污染对水质影响的定量化研究[J]. 农业环境科学学报,2003,22(2):150-153.
- [12] 黄生斌,刘宝元,刘晓霞,等. 密云水库流域农业非点源污染基本特征分析[J]. 农业环境科学学报,2007,26(4):1219-1223.
- [13] 北京农业大学《肥料手册》编写组. 肥料手册[M]. 北京:农业出版社,1979.
- [14] 叶飞. 江苏省水环境农业非点源污染综合评价与控制对策研究[D]. 南京:南京农业大学,2005.
- [15] 李绪兴. 水产养殖与农业面源污染研究[J]. 安徽农学通报,2007,13(11):61-67.
- [16] 田永杰,唐志坚,李世斌. 我国湖泊富营养化的现状和治理对策[J]. 环境科学与管理,2006,31(5):119-121.
- [17] 羊向东,沈吉,董旭辉,等. 长江中下游浅水湖泊历史时期营养态演化及其与水生生态系统的关系——以龙感湖、太白湖为例[J]. 中国科学:D 辑,2005,35(S2):45-54.

(上接第 1663 页)

处于主导地位,而小范围的生态补偿以市场为主,从而实现生态保护和经济发展的“双赢”。

## 4 结语

水源地生态的可持续发展严重威胁着城乡居民的饮水质量和安全,建立和完善水源地生态补偿机制是解决水源地保护和发展矛盾的关键所在。我国应该在实践经验的基础上,结合西方发达国家成功案例,从区域实际出发,形成一套符合我国国情的水源地生态补偿机制。该研究仅仅从功能分析的角度对重庆市水源地生态补偿机制进行了初步的

探讨,但要真正取得明显的实效,还需要多方利益主体的共同努力。

## 参考文献

- [1] 武立强. 水源涵养区生态补偿研究——以大伙房水库上游苏子河流域为例[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2007.
- [2] 彭海珍,任荣明. 环境保护私人供给的经济学分析——基于一个俱乐部物品模型[J]. 中国工业经济,2004(5):68-75.
- [3] 鲁传一. 资源与环境经济学[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [4] 沈满洪,陆青. 论生态补偿保护机制[J]. 浙江学刊,2004(4):217-230.
- [5] 张维宾,刘萍,刘伟. 重庆地区饮用水源地污染现状及防治对策[J]. 河北农业科学,2008,12(9):95-96.
- [6] 谢静怡,姚艺伟. 丹江口库区水源地保护的生态补偿机制研究[J]. 理论与实践,2009(9):89-92.