

# 洱海缓冲带典型入湖溪流沉积物磷形态的分布特征

赵斌<sup>1</sup>, 卢少勇<sup>2</sup>, 罗杨阳<sup>1,2</sup>, 董文飞<sup>1,2</sup>, 刘佩佩<sup>2</sup>, 王国静<sup>2</sup>, 张闻涛<sup>2</sup>

(1. 玉溪师范学院 资源环境学院, 云南 玉溪 653100; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

**摘要:** [目的] 了解洱海缓冲带典型入湖河流沉积物磷形态分布特征, 为洱海生态系统修复提供科学依据。[方法] 对洱海缓冲带3条典型入湖溪流茫涌溪、莫残溪、中和溪进行了沉积物的采集, 并对其中总磷(TP)、无机磷(IP)、铁铝磷(Fe/Al-P)、钙磷(Ca-P)4种磷形态的含量进行测定。[结果] 3条溪流沉积物磷形态沿程变化趋势大不相同; 洱海的缓冲带结构缺乏合理性, 有待改进; 土地的利用类型不同对洱海缓冲带入湖河流沉积物磷形态贡献率也就不同; 入湖口沉积物磷形态含量从大到小均依次为: 中和溪>莫残溪>茫涌溪; 从磷形态组成来看, 茫涌溪沉积物中的磷主要为Ca-P, 莫残溪、中和溪则均以Fe/Al-P为主; 磷形态的相关性分析表明, 3条溪沉积物中TP含量的变化与Fe/Al-P, 及有机磷(OP)呈极显著正相关。[结论] 沉积物中OP的变化对Ca-P, Fe/Al-P的含量有一定影响。Fe/Al-P含量对IP含量有较高的贡献率。Fe/Al-P与Ca-P之间相关性较弱。

**关键词:** 茫涌溪; 莫残溪; 中和溪; 沉积物; 磷形态; 洱海

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2016)03-0094-04

**中图分类号:** X522

**文献参数:** 赵斌, 卢少勇, 罗杨阳, 等. 洱海缓冲带典型入湖溪流沉积物磷形态分布特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 94-97. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.017

## Distribution Characteristics of Phosphorus Forms in Typical Inflow Rivers in Buffer Zones of Erhai Lake

ZHAO Bin<sup>1</sup>, LU Shaoyong<sup>2</sup>, LUO Yangyang<sup>1,2</sup>,

DONG Wenfei<sup>1,2</sup>, LIU Peipei<sup>2</sup>, WANG Guojing<sup>2</sup>, ZHANG Wentao<sup>2</sup>

(1. College of Resource and Environmental, Yuxi Normal University, Yuxi, Yunan 653110, China;

2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

**Abstract:** [Objective] Analyzing the distribution characteristics of phosphorus forms in typical inflow rivers in buffer zones of Erhai lake in order to provide the basis for ecosystem restoration in Erhai lake. [Methods] The sediment samples were collected in Zhonghe river, Mocan river and Mangyong river in the buffer zone of Erhai lake. Four different phosphorus forms, including total phosphorus(TP), inorganic phosphorus(IP), Fe/Al-P and Ca-P in the sediments were measured. [Results] The contribution rate of different land-use types was different with the various phosphorous forms. The variation trend of the phosphorous forms in three rivers was different along the way. The structure of the buffer zone in Erhai lake was not reasonable, and need to be improved. The content of phosphorus forms in estuary sediment was as follows(in a descending order): Zhonghe river > Mocan river > Mangyong river. The phosphorus in Zhonghe and Mocan rivers was mainly Fe/Al-P, while it was mainly Ca-P in Mangyong river. There was a significant positive correlation between the change of TP in sediments and the Fe/Al-P, OP(organic phosphorous). [Conclusion] The change of OP in sediments influenced the content of Ca-P, Fe/Al-P. The content of Fe/Al-P had a great contribution to the content of IP. The correlation between Fe/Al-P and Ca-P was not significant.

**Keywords:** Mangyong river; Mocan river; Zhonghe river; sediments; phosphorus forms; Erhai lake

收稿日期: 2015-01-30

修回日期: 2015-07-18

资助项目: 云南省应用基础研究计划项目“抚仙湖浮游藻类群落结构演替及增殖行为研究”(2013ZX07101-014); 国家水体污染控制与治理科技重大专项“缓冲带空间结构研究及缓冲带污染控制工程参数研究”(2012ZX07105-002, 2013ZX07101-014)

第一作者: 赵斌(1983—), 男(汉族), 河南省开封市人, 硕士, 讲师, 研究方向为水环境生态修复。E-mail: zhaobin@yxnu.net。

湖泊水体的富营养化是中国现在面临的一个严峻环境问题。当水体中的 TP 含量超过 0.02 mg/L 时,对于水体富营养化将会有很明显的增进作用<sup>[1]</sup>。作为水体富营养化的主要限制因子,磷的控制和去除是控制水体富营养化的关键,而沉积物磷是水体中磷的重要来源<sup>[2]</sup>,因此,研究沉积物磷形态对于水体富营养化的控制有重要意义。缓冲带又可称为“保护缓冲带”,是指利用永久性植被拦截有害物质或污染物的受保护的、条状土地。一方面,它可以截留部分水土,从而截留污染物;另一方面,其组成中的林、草、土壤和湿地本身也能发挥降解或吸收污染物的作用<sup>[3]</sup>。对水体富营养化的控制和治理有一定作用。

洱海位于云南大理州境内,是中国第 7 大淡水湖,云南第 2 大淡水湖,发源于洱源县江尾乡的茈碧湖,西纳苍山 18 溪,东南收波罗江,北有弥沱河注入,海拔 1 972 m,湖面面积约 251 km<sup>2</sup>,南北长 41.5 km,总径流面积 2 565 km<sup>2</sup>,平均水深约 11.5 m,最大水深 20 m,蓄水量为 3.0×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>,形状酷似人耳<sup>[3]</sup>。洱海也是大理白族自治州居民生活用水、旅游与发电、工农业生产用水的水源地,对于大理州的经济的发展具有重要作用<sup>[4]</sup>。近年来,随着湖区人口的迅猛增长和经济的飞快发展,流域生态环境逐步恶化,水质持续下降,洱海正处于从中营养化向富营养化过渡的关键时期<sup>[5]</sup>,水体治理刻不容缓。污染源的控制是水体富营养化控制中最基本的环节,对湖泊水质的治理须在控制外源污染物进入的条件下进行。而外源污染物进入湖泊的主要途径是入湖河流<sup>[6]</sup>。洱海流域内的各种污染物均以地表径流为途径进入河道,再流经缓冲带,从而汇入洱海,所以,分析和了解洱海缓冲带内典型入湖河流的污染特征,有利于对入湖河流开展针对性的治理工作,进而有效的控制外源污染物汇入洱海。本研究选择洱海缓冲带的茫涌溪、莫残溪、中和溪 3 条典型入湖河流沉积物中的磷形态进行测定和分析,旨在探讨其空间分布特征以及对洱海富营养化的影响和意义,以期对洱海生态系统的修复提供基础数据以及科学依据。

# 1 试验材料与方法

## 1.1 研究区概况

洱海属亚热带高原季风气候,湖面年平均蒸发量 1 208.6 mm,年平均气温为 15.1 ℃<sup>[7]</sup>。洱海周围土壤、岩石种类较多。东、西面主要为石灰岩,而表土以冲积土、红壤和水稻土为主。洱海流域人口密集,旅游业兴旺,工农业发达,流域内的大理市是滇西文化、经济、政治中心<sup>[8]</sup>。

(1) 茫涌溪。位于湾桥镇,发源于苍山莲花峰与白云峰之间,流域面积 22 km<sup>2</sup>,全长 12 km,宽约 8 m,流经剑邑、湾桥及石岭和杨家登等,系常年性河,溪口建有目前大理发电量较大的电站——茫涌溪水电站<sup>[9]</sup>。

(2) 莫残溪。位于下关镇,发源于苍山佛顶峰与圣应峰之间,流域面积 12 km<sup>2</sup>,全长 9.5 km,宽约 8 m,流经上末南村、万庆村以及大湾庄和大庄等村,系常年性河<sup>[9]</sup>。

(3) 中和溪。发源于苍山龙泉峰与中和峰之间,流域面积为 21 km<sup>2</sup>,全长 11 km,宽约 8 m<sup>[9]</sup>。

洱海缓冲带是由以东岸环海路以西,石屏、团山路以北,大丽路以南、以东,洱海湖面最高水位 1 966 m 以外等组成的区域<sup>[10]</sup>。洱海缓冲带非点源污染严重,水位下降,水资源紧张。目前由于大量侵占滩地填筑码头和宅基地、围建鱼塘、修建水田,洱海缓冲带自然群落的生态结构已被严重破坏,缓冲带的功能也随之减弱,甚至丧失<sup>[11]</sup>。茫涌溪小流域缓冲带类型主要为农田型,入湖处有少量村落。莫残溪小流域农田型缓冲带和村落型缓冲带交错。中和溪流域缓冲带则以农田型缓冲带为主,入湖处为才村,属于村落型缓冲带。3 条溪流域内土地的利用方式都包含村落和农田,不同之处在于中和溪流域内中上游存在景区和城镇两种土地利用方式。

## 1.2 采样点位和采样方法

在洱海缓冲带的茫涌溪、中和溪、莫残溪每条溪各设采样点 3 个,分别布设在该条溪洱海缓冲带起点、中间点、入湖口。用麦哲伦 315 型定位仪对采样点进行导航定位(表 1),于 2014 年 4 月对采样点进行了表层沉积物的采集。采样现场用卡尺测量水深,YSI-DO 200 便携式溶氧仪测定溶氧(DO)和温度(T)。采用彼德森采泥器在同一断面采 4~5 次,去除贝类、砂石、枯枝等,置聚乙烯袋内,碾压空气后分装密封,在冰盒中暂存,带回实验室进行冷冻干燥。茫涌溪缓冲带上段采样点无沉积物,因此未采集沉积物样品。

表 1 采样点位描述

溪 流	点位 编号	坐标		DO/ (mg·g <sup>-1</sup> )	T/℃	水深/ m
		N	E			
莫残溪	1	25°39′59″	100°11′51″	6.65	23.5	0.078
	2	25°40′14″	100°12′11″	8.60	19.0	0.075
	3	25°40′27″	100°12′34″	8.67	18.2	0.423
中和溪	4	25°42′28″	100°10′03″	5.60	18.6	0.020
	5	25°42′37″	100°10′20″	4.61	13.9	0.040
	6	25°43′09″	100°11′16″	14.70	18.2	0.050
茫涌溪	7	25°47′56″	100°08′06″	6.93	14.1	0.052
	8	25°48′00″	100°08′32″	9.31	15.7	0.325
	9	25°47′56″	100°08′42″	10.15	14.4	0.736

1.3 样品处理与测定

沉积物样品经冷冻干燥机干燥后置于洁净硬质白纸上,经玻璃棒压散,去除杂质,再经陶瓷研钵研磨后过 100 mm 尼龙筛,装入聚乙烯袋置于干燥器内备用,采用 SMT 法<sup>[12]</sup>测定其总磷(TP)、无机磷(IP)、铁铝磷(Fe/Al-P)、钙磷(Ca-P)含量。本研究所述沉积物磷含量均为干重,所用分光光度计为 721 型可见分光光度计。

1.4 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS Statistics 18.0 软件进行试验数据分析。

2 结果与讨论

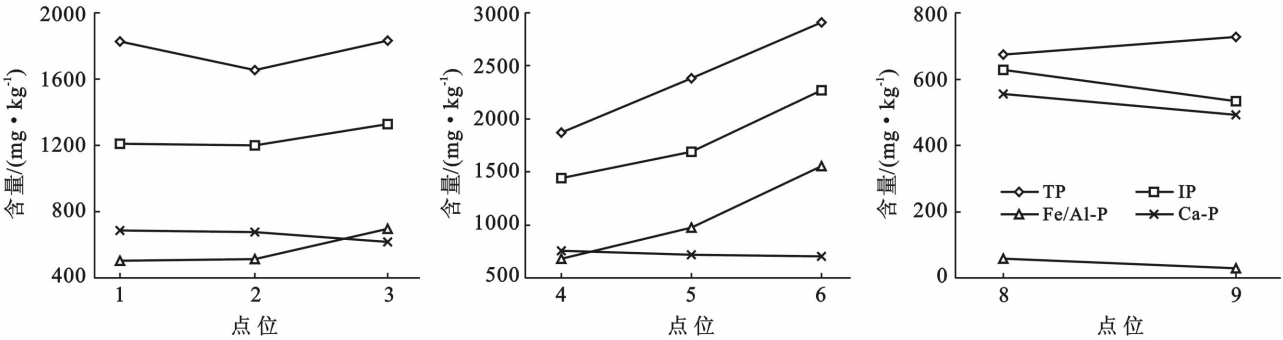
2.1 3 条溪流沉积物磷形态含量沿程变化趋势

研究分析发现,缓冲带 3 条溪沉积物的磷形态沿程变化趋势各不相同(图 1)。磷形态含量沿程上升,

则表明缓冲带结构合理性不足。

莫残溪沉积物在缓冲区内的磷形态沿程变化趋势有明显差异。第 1 个采样点位之前的阳河庄和神能庄作为污染源排入大量生活污水后,水体中 P 含量较高,而上覆水体中颗粒的吸收和沉降作用是沉积物中磷的主要来源<sup>[1]</sup>,致使第 1 个点位处沉积物中 P 含量较高。

进入缓冲带后,河道两岸为大片农田,面源污染有所减少,入河污染降低,沉积物 P 随之减少。之后河道流经大庄村,排入河道水体污染物增多,沉积物 P 含量再次升高。同时,河道上游流速较入湖口快,且入湖处为大庄村,排入水体有机污染物增多,使水体有机污染物升高,水体自净过程需氧量增加,Fe 元素存在氧化还原平衡,当氧化还原电位发生变化时易受到影响<sup>[13]</sup>,表现出 Fe/Al-P 含量升高,Ca 与磷的结合能力降低,Ca-P 含量下降。



注:TP 代表总磷; IP 代表无机磷; Fe/Al-P 代表铁铝磷; Ca-P 代表钙磷。7 号点未采到样品。下同。

图 1 3 条溪流沉积物磷形态沿程变化趋势

缓冲带内中和溪沉积物各形态磷含量则呈现沿程上升趋势。中和溪进入缓冲带前先流经大理古城,古城属于居民住宅区,城内有大量客栈、民居、餐馆和商铺,旅游业兴旺,各类生活污水的排入,导致水质严重降低,磷含量大幅升高,流经缓冲区的过程中水体中的磷不断向沉积物中沉积。同时,缓冲区内农田产生的大量含有化肥、农药的农田废水流入河道,且在水流流动过程中逐渐沉降。因此,表现出沉积物中各形态磷含量沿程不断上升的趋势。

在农业生产中,P 肥的投入有助于实现粮食增产。然而,施用的 P 肥能被植物有效吸收利用的只有约 30%,其余约 70%则积累在土壤中并随着降雨径流迁移到水体中<sup>[14]</sup>。缓冲区内茫涌河流域为大量农田,种植业发达<sup>[6]</sup>,面源负荷较重,大量磷进入河道,并沿程沉积到沉积物中,表现出总磷含量沿程逐渐升高的趋势。流经农田的过程中,无机磷逐渐释放,表现出沿程略有下降的趋势。

2.2 3 条溪流入湖口沉积物磷形态分析

将 3 条溪入湖口处水体中各形态磷含量进行对比分析,结果显示,不同溪流间沉积物磷形态差异性显著(图 2)。TP,IP,Fe/Al-P,Ca-P 含量由高到低均为:中和溪>莫残溪>茫涌溪。

中和溪流经大理古城、农田和才村,且有 18 家客栈和餐饮等经营单位分布在下段河道的两岸,其所产生的废水先通过化粪池进行处理,再由河道内的 8 个排污口向河内排放,导致中和溪污染严重<sup>[6]</sup>,沉积物中磷含量升高;而莫残溪虽流经上末南村、刘官厂、万庆村、大湾庄、大庄等村落以及农田,但上段无大型城镇,排污情况低于中和溪,磷含量较低。茫涌溪则处于种植业区,周边多为农田,村落污染较少,磷含量为 3 条溪中最低。3 条溪虽流域内缓冲带类型均有农田型及村落型,土地利用方式为农田和村落,但中和溪入湖口处为旅游型,且上游土地利用类型为城镇,磷含量较莫残溪及茫涌溪高。莫残河流域内缓冲带为

交错的农田型和村落型缓冲带,沉积物中磷含量较以农田型缓冲带为主的茫涌溪高。不同土地利用类型对磷形态的贡献率不同。土地利用类型为城镇及村落的区域对磷形态的贡献率较农业土地利用类型用地的区域大。

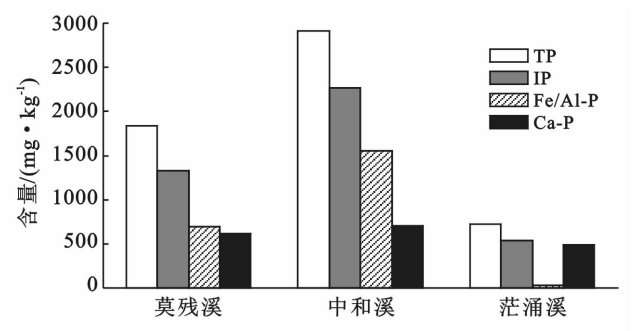


图 2 3 条溪流入湖口沉积物磷形态含量对比

根据沉积物有机磷(OP)含量为 TP 与 IP 之差,计算出沉积物中 OP 含量。3 条溪沉积物中各磷形态占 TP 含量百分比见表 2。3 条溪入湖口沉积物中占 TP 含量百分比最高的磷形态均为 IP。茫涌溪沉积物的 IP 中占 TP 含量百分比最高的为 Ca-P,占 67.73%。Ca-P 也可称作磷灰石磷,源自碎屑岩或本地自生<sup>[12]</sup>,表明茫涌溪沉积物中以不可生物利用性磷为主,河道沉积物受污染情况较小。莫残溪、中和溪沉积物 P 则是以 Fe/Al-P 为主,分别为 38.04%, 53.32%。此处所测的 Fe/Al-P 是指被 Fe,Al,Mn 的氧化物和其水合物所包裹的磷,是可被生物所利用的磷,与人类活动密切相关,主要来源于工业废水和生活污水<sup>[12]</sup>。

表 2 3 条溪流入湖口沉积物各形态磷占 TP 比例				
河 流	占 TP 含量比例/%			
	OP	IP	Fe/Al-P	Ga-P
茫涌溪	26.59	73.41	4.04	67.73
莫残溪	27.58	72.42	38.04	33.74
中和溪	22.16	77.84	53.32	24.02

2.3 3 条溪流沉积物中各形态磷的相关性分析

对 3 条溪流沉积物中各形态磷进行相关性分析(表 3)。相关系数显著性检验表明,TP 含量与 OP, IP,Fe/Al-P 都有较好的相关性,三者均达到极显著水平,其中与 Fe/Al-P 相关性最好,而与 Ca-P 的相关性相对较差,仅达到显著水平,表明沉积物 TP 含量的增加,主要来自于 Fe/Al-P 部分,其次来自于 OP,也有一部分来自于 Ca-P<sup>[12]</sup>。各形态磷中,OP 与 IP, Fe/Al-P,Ca-P 均呈显著相关关系,表明 OP 的含量

对 Fe/Al-P,Ca-P 的含量有一定影响<sup>[12]</sup>。在无机磷形态中,IP 含量与 Fe/Al-P 的呈现较好的正相关关系,达到了极显著水平,与 Ca-P 的相关性则只达到显著水平,表明沉积物中 Fe/Al-P 含量对 IP 含量有较高的贡献率。而 Fe/Al-P 与 Ca-P 之间相关性较弱,表明二者的含量是相对独立的,可能由于两者来源不同<sup>[12]</sup>。

表 3 3 条溪流沉积物中各形态磷相关性分析					
相关系数	TP	OP	IP	Fe/Al-P	Ga-P
TP	1				
OP	0.914**	1			
IP	0.986**	0.834*	1		
Fe/Al-P	0.974**	0.808*	0.994**	1	
Ga-P	0.801*	0.768*	0.777*	0.704	1

注: \*\* 极显著性水平  $\alpha=0.01$ ; \* 显著性水平  $\alpha=0.05$ 。OP 表示有机磷。下同。

3 结 论

(1) 茫涌溪、莫残溪、中和溪沉积物中磷形态沿程变化趋势各有不同,但均呈沿程上升趋势,表明 3 条河小流域内缓冲带结构不尽合理。

(2) 入湖口沉积物中的磷含量从大到小依次为:中和溪>莫残溪>茫涌溪。中和溪流域缓冲带类型为农田型为主,且入湖口处既是村落型,又是旅游型,莫残溪为农田、村落两种类型不断交错,茫涌溪则以农业型为主,入湖口处为少量村落型,因此中和溪沉积物磷形态含量最高,莫残溪次之,茫涌溪较好。

(3) 不同土地利用类型对磷形态的贡献率不同。土地利用方式为城镇及村落的区域对磷形态的贡献率较以农业为主要利用方式的区域大。

(4) 洱海缓冲带区域内茫涌溪沉积物的 IP 中占 TP 含量百分比最高的为 Ca-P,莫残溪、中和溪的沉积物 P 则是以 Fe/Al-P 为主。

(5) 通过中茫涌溪、莫残溪、中和溪各形态磷相关性检验,表明沉积物中 TP 含量的变化,主要来自于 Fe/Al-P 部分,其次来自于 OP,也有一部分来自于 Ca-P。沉积物中 OP 的含量对 Fe/Al-P,Ca-P 的含量有一定影响;Fe/Al-P 含量对 IP 含量有较高的贡献率;Fe/Al-P 与 Ca-P 之间的相关性较差。

[ 参 考 文 献 ]

[1] Le C, Zha Y, Sun D, et al. Eutrophication of Lake Waters in China: Cost Causes and Control[J]. Environmental Management,2010,45(4):662-668.

- [2] Seneviratne S, Pal J, Eltahir E, et al. Summer dryness in a warmer climate: A process study with a regional climate model[J]. *Climate Dynamics*, 2002, 20(1): 69-85.
- [3] 常兆丰, 韩福贵, 仲生年, 等. 民勤荒漠区几种主要固沙植物群落的水分平衡特性[J]. *干旱区地理*, 2012, 35(1): 139-144.
- [4] 奚如春, 马履一, 王瑞辉, 等. 林木耗水调控机理研究进展[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(6): 692-697.
- [5] 白登忠, 邓西平, 黄明丽. 水分在植物体内的传输与调控[J]. *西北植物学报*, 2003, 23(9): 1637-1643.
- [6] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [7] 赵传燕, 李守波, 冯兆东, 等. 黑河下游地下水波动带地下水位动态变化研究[J]. *中国沙漠*, 2009, 29(2): 365-369.
- [8] 刘冰, 赵文智, 常学向, 等. 黑河流域荒漠区土壤水分对降水脉动响应[J]. *中国沙漠*, 2011, 31(3): 3716-722.
- [9] 唐志红, 纪永福, 安富博, 等. 10 a 来民勤县荒漠草地植物群落变化与降雨量的关系[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(1): 47-53.
- [10] 安桂香, 曾凡江, 孙旭伟, 等. 塔克拉玛干沙漠南缘不同植被区土壤水分状况研究[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(1): 63-67.
- [11] 闫峰, 吴波. 近 40 a 毛乌素沙地荒漠化过程研究[J]. *干旱区地理*, 2013, 36(6): 987-996.
- [12] 赵良菊, 肖洪浪, 程国栋, 等. 黑河下游河岸林植物水分来源初步研究[J]. *地球学报*, 2008, 29(6): 709-718.
- [13] 赵文智, 刘鹤. 荒漠区植被对地下水埋深响应研究进展[J]. *生态学报*, 2006, 26(8): 2702-2708.
- [14] 牛赞, 刘贤德, 王立, 等. 祁连山大野口流域青海云杉林分结构及其土壤水热特征分析[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(3): 385-391.
- [15] 崔清涛, 阅丽梅, 刘清泉. 荒漠草原灌木与草本植物年度生物量测定分析[J]. *内蒙古林业科技*, 1994, 11(3): 30-33.
- [16] Dawson T E, Pate J S. Seasonal water uptake and movement in root systems of Australian phraeatophytic plants of dimorphic root morphology: A stable isotope investigation[J]. *Oncology*, 1996, 107(1): 13-20.
- [17] 张丽, 董增川, 黄晓玲. 干旱区典型植物生长与地下水位关系的模型研究[J]. *中国沙漠*, 2004, 24(1): 110-113.
- [18] 王金叶, 马永俊, 江泽平. 甘肃省张掖市土地荒漠化发展动态及成因探析[J]. *中国沙漠*, 1999, 19(4): 368-374.

(上接第 97 页)

- [2] Xie Fazhi, Liu Guijian, Wu Fengchang, et al. Selective adsorption and separation of trace dissolved Fe(III) from natural water samples by double template imprinted sorbent with chelating diamines[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2012, 183(15): 372-380.
- [3] 叶春, 金相灿, 王临清, 等. 洱海湖滨带生态修复设计原则与工程模式[J]. *中国环境科学*, 2004, 24(6): 717-721.
- [4] 赵海超, 王圣瑞, 赵明, 等. 洱海水体溶解氧及其与环境因子的关系[J]. *环境科学*, 2011, 32(7): 1952-1959.
- [5] 颜昌宙, 金相灿, 赵景柱, 等. 云南洱海的生态保护及可持续利用对策[J]. *环境科学*, 2005, 26(5): 38-42.
- [6] 徐斌. 苍山十八溪入湖河口水样氮形态空间分布规律[D]. 云南 玉溪: 玉溪师范学院, 2014.
- [7] 焦立新, 赵海超, 王圣瑞, 等. 2010 年洱海全湖磷负荷时空分布特征[J]. *环境科学研究*, 2013, 26(5): 534-539.
- [8] Anshumali, A L, Ramanathan. Phosphorus fractionation in surficial sediments of Pandoh Lake, Lesser Himalaya, Himachal Pradesh, India[J]. *Applied Geochemistry*, 2007, 22(9): 1860-1871.
- [9] 王正能. 苍山十八溪入湖河口沉积物氮形态空间分布特征[D]. 云南 玉溪: 玉溪师范学院, 2014.
- [10] 倪喜云, 杨苏树. 欧阳作富, 等. 洱海湖滨带现状浅析[J]. *农业环境与发展*, 2002, 19(2): 29-30.
- [11] 叶春, 金相灿, 王临清, 等. 洱海湖滨带生态修复设计原则与工程模式[J]. *中国环境科学*, 2004, 24(6): 717-721.
- [12] Ruban V. Harmonized protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments: A synthesis of recent works[J]. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 2001, 370(2/3): 224-228.
- [13] 何桐, 谢健, 余汉生, 等. 大亚湾表层沉积物中磷的形态分布特征[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2010, 49(6): 126-131.
- [14] Lena B M, Gilles P, Charles R, et al. Structure and function of buffer strips from a water quality perspective in agriculture landscapes[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1995, 31(1/2/3): 323-331.