

# 滇池流域土壤氮磷分布特征及关键影响因素研究\*

胡 斌 和树庄 陈春瑜 吕文龙 雷冬梅

(云南大学生命科学学院,昆明 650091)

**摘 要** 为了从流域尺度了解滇池流域土壤氮、磷的水平分布特征,本研究根据不同的土地利用方式,在滇池流域选择 130 个样点进行表层土壤 pH、氮、磷和有机质的测定。结果表明,水平分布呈现为滇池东部盆地区的斗南、马金铺、晋城主要农耕区及西山片区全氮含量较高;北部松花坝、东北部宝象河及南部的山地区全氮含量较低。其中斗南片区土壤氮的含量最高,为  $2.21 \text{ g kg}^{-1}$ ;宝象河片区最低,为  $1.32 \text{ g kg}^{-1}$ 。土壤全磷水平分布为南部上蒜和东部马金铺、斗南、晋城较高;西山、东大河次之;北部松花坝和东北部宝象河最低。其中上蒜片区最高,含量为  $2.21 \text{ g kg}^{-1}$ ;宝象河片区最低,为  $0.80 \text{ g kg}^{-1}$ 。大量化肥投入导致污染物氮、磷高积累的大棚种植区和湖滨坝平地成为滇池农业面源污染的高潜力区。因此,有必要重点加强对大棚种植区、湖滨区和坝平地农业面源污染的防控。

**关键词** 滇池流域;土地利用;土壤;氮;磷;分布特征

**中图分类号** X53 **文献标识码** A

氮、磷是引发江河湖泊富营养化的重要因子,是水污染的核心问题<sup>[1]</sup>。随着点源污染物控制的加强,非点源污染物的控制显得越来越重要,非点源已成为水环境的一大污染源或首要污染源<sup>[2-4]</sup>。

从流域尺度研究非点源污染物氮、磷流失是目前国内外的热点<sup>[5]</sup>。流域降雨形成地表径流时,就会加重水土流失,径流携带地表当中的污染物质进入水体,给水体功能正常发挥带来负面影响<sup>[3-4,6]</sup>。污染物性质和污染负荷量由气候、地形、地貌、土壤、植被以及人为活动等共同决定。不同的土地利用方式,在养分管理、养分循环或养分平衡上有很大的差异<sup>[6-7]</sup>。对不同土地利用结构与地表水水质研究表明,林地和草地控制的小流域的地表水水质明显好于以耕地为主的小流域;随着小流域内林地和草地的增加,非点源污染降低,而随着耕地比例的升高,非点源污染有逐渐增大的趋势<sup>[8]</sup>。

滇池流域是云南省人口与工业分布最密集、经济最发达的地区,因污染物的大量排入,滇池已成为水体富营养化程度最严重的湖泊之一。近年来,滇池流域点源污染控制已取得了很大进展,氮、磷的非点源污染已成为影响滇池水质的主要来源。有关滇池流域部分农田和小流域氮磷积累方面已

有过一些研究<sup>[5,9]</sup>。但从流域尺度上整体评价不同土地利用方式下氮、磷分布特征的研究还较少。

鉴于此,本研究从流域的尺度结合不同的土地利用方式对滇池流域内土壤进行采样分析,探讨非点源污染物氮、磷在滇池流域的分布特征和关键影响因素,为滇池非点源污染的控制治理提供基础支持和积累资料。

## 1 研究区概况

滇池流域位于云贵高原中部  $24^{\circ}29' \sim 25^{\circ}28' \text{N}$ ,  $102^{\circ}29' \sim 103^{\circ}01' \text{E}$ ,地处长江、珠江和红河三大水系分水岭地带,流域面积  $2\,920 \text{ km}^2$ 。地形四周为山地、丘陵构成的南北长东西窄的湖盆地。年均气温  $14.7^{\circ}\text{C}$ ,年均降水量  $1\,006 \text{ mm}$ 。按地理条件和不同的功能要求可划分为 3 个区:滇池水体保护区;滇池周围的盆地区;盆地区以外、分水岭以内的水源涵养区。入滇河流主要有盘龙江、东白沙河、宝象河、马料河等。地带性植被为半湿润常绿阔叶林,由于人为活动的影响,原生植被绝大部分破坏,常见的植被类型为云南松(*Pinus yunnanensis* Franch)、华山松(*Pinus armandii* Franch)等次生林。主要成土母质有中生代紫色砂页岩、碳酸岩、第四纪冲积母质、

\* 国家科技重大专项“水体污染控制与治理”(2012ZX07102003)、国家自然科学基金项目(u1133604)资助

作者简介:胡 斌(1967—),男,硕士,副教授,主要从事生态学、环境科学方面研究。E-mail:hubin@ynu.edu.cn;Tel: 15198929196

收稿日期:2011-10-31;收到修改稿日期:2012-06-26

坡(残)积物、第四纪湖积物风化母质。土壤类型主要有红壤、黄棕壤、水稻土和少量紫色土。主要农作物有蔬菜、花卉、水稻、蚕豆、小麦、烤烟、玉米和豌豆等<sup>[10-11]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 样点的设计与样品采集

样品采集的样点布设是根据该区卫星影像图、地形图、结合各小流域单元将滇池流域划分为西山(11)、斗南(11)、松花坝(16)、马金铺(11)、宝象河(13)、晋城新街(37)、东大河(17)、上蒜(18)共 8 个采样单元,按网格法设计采样点。设计时首先采

用网格法抽取近似网格的样点,在网格初步抽样基础上再按统计学中的分层抽样法的代表性原则核查初步抽取的样点。遇村庄、道路等不适合采样时移位到邻近同类土壤采取。经过实地调查,在滇池流域共布设 130 个代表性样地, GPS 进行定位,每个样地采取 0~20 cm 耕作层多点混合样品一份带回实验室处理备用。其中坝平地 20 个、大棚土壤 28 个、林地 31 个(滇青冈林、云南松林、银荆林、针阔混交林)、坡耕地 26 个、台地 14 个、湖滨土壤 10 个,共 6 类土地利用方式合计 130 个样地。采样点见土壤采样点分布图(图 1)。

### 2.2 样品的制备与分析

野外采集土壤样品带回实验室自然风干,弃除

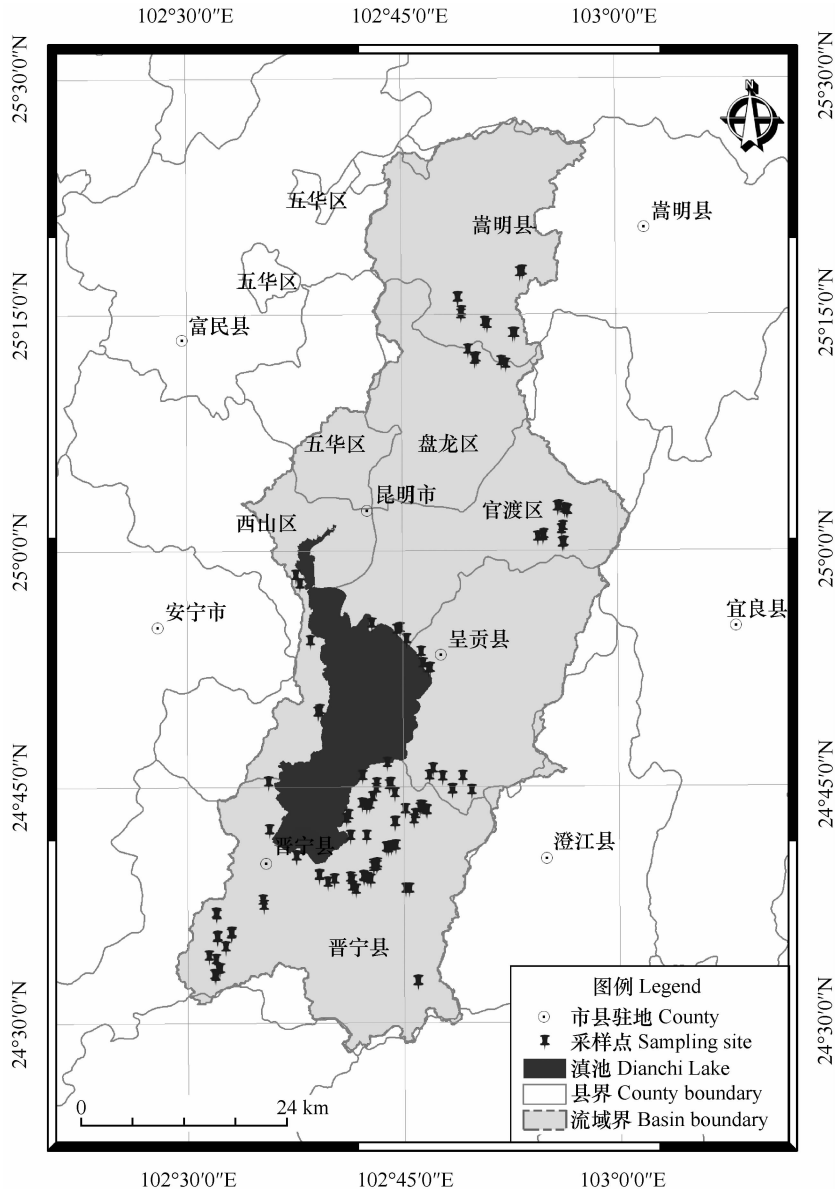


图 1 土壤采样点分布图  
Fig. 1 Distribution map sampling points

动植物残体和结核等。四分法分取所需要风干样品磨细过 2 mm 和 0.25 mm 筛装入自封袋备用。

分析方法均按照相关标准方法进行:土壤 pH, 用 1:2.5 的土水质量比, pHsj-3B 型酸度计测定;土壤有机质, 重铬酸钾外热容量法测定;土壤全氮, 半微量凯氏定氮法测定;土壤全磷, 氢氧化钠熔溶-钼锑抗比色法测定<sup>[12-13]</sup>。

### 2.3 数据统计分析

采用 SPSS 13.0 和 Excel 进行统计分析, 用 LSD

法进行差异显著性比较。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤 pH 和有机质含量分布特征

土壤基本性质见表 1。6 种土地利用方式中, 土壤 pH 以湖滨土壤相对较高, 为 7.68; 其次是坝平地和大棚土壤, 分别为 6.79、6.75, 而林地和台地土壤偏酸性, 分别为 5.36 和 5.43。

表 1 滇池流域土壤 pH 和有机质含量

Table 1 Soil pH and organic matter content in Dianchi Watershed

项目 item		坝平地 Flatland (n=20)	大棚土壤 Greenhouse (n=28)	林地 Forestland (n=31)	坡耕地 Slope farmland (n=26)	台地 Tableland (n=14)	湖滨土壤 Lakeside soil (n=11)
pH	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	6.79 ± 1.05	6.75 ± 1.03	5.36 ± 0.84	5.62 ± 1.17	5.43 ± 0.91	7.68 ± 0.30
	范围 Range	4.81 ~ 8.04	4.16 ~ 8.02	4.49 ~ 7.87	4.14 ~ 8.04	4.47 ~ 7.24	7.16 ~ 8.03
	变异系数 CV (%)	15.5	15.2	15.6	20.8	16.8	4.2
有机质 OM(g kg <sup>-1</sup> )	平均值 ± 标准差 Mean ± SD	34.9 ± 12.2	35.3 ± 7.3	27.0 ± 11.2	28.1 ± 10.8	26.0 ± 8.7	39.1 ± 18.3
	范围 Range	19.0 ~ 57.5	22.3 ~ 56.2	8.5 ~ 53.7	12.8 ~ 54.3	12.3 ~ 44.6	18.7 ~ 59.7
	变异系数 CV (%)	35.0	20.7	41.4	38.4	33.4	34.3

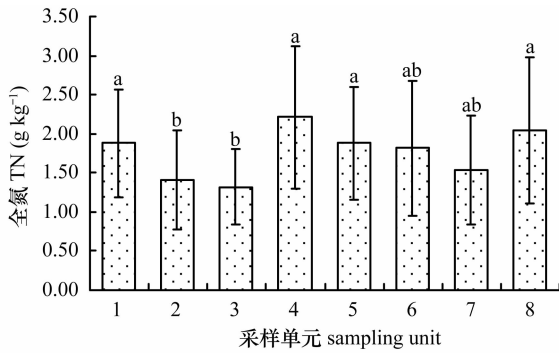
土壤有机质含量在不同土地利用方式中以湖滨土壤最高, 为 39.1 g kg<sup>-1</sup>, 其中, 最高值出现在安乐村小河尾样点(59.7 g kg<sup>-1</sup>)。该样点主要植被为芦苇, 样点区地势较低, 丰水期低于滇池水面, 该区域退田还湖前曾经较长时间作为大棚蔬菜花卉基地之一。最低点在河泊所拆除区(18.7 g kg<sup>-1</sup>), 其余拆除区样点有机质含量集中于 20 ~ 40 g kg<sup>-1</sup> 之间。其余利用方式下有机质含量大小顺序为: 大棚土壤、坝平地、坡耕地、林地、台地。可以看出大棚土壤和坝平地长期的过度利用和大量施肥积累了较多的有机质; 台地一年一季玉米种植方式, 施肥量相对较少, 有机质积累最低。张桃林等研究不同利用方式有机质增加幅度的顺序为: 菜地、水田、旱地<sup>[14]</sup>, 因此, 滇池流域土地利用方式对有机质含量具有较大的影响。6 种利用方式中林地土壤有机质变异系数最大, 为 41.4%, 可能是受植被不同的影响结果; 大棚变异系数最低, 为 20.7%; 表明土壤有机质在大棚分布较为均匀, 滇池流域大棚主要是种植蔬菜和花卉, 处于长期的过度利用状态, 人工施肥水平较高, 耕

作方式基本相似。

### 3.2 非点源污染物氮的水平分布及其影响因子

滇池流域土壤氮的水平分布与人为干扰有着密切关系。从图 2 可见, 在所研究的 8 个区域中, 以斗南片区土壤全氮含量最高, 为 2.21 g kg<sup>-1</sup>; 宝象河片区全氮含量最低, 为 1.32 g kg<sup>-1</sup>。滇池流域土壤全氮的水平分布大小顺序为: 斗南(2.21 g kg<sup>-1</sup>)、西山(2.05 g kg<sup>-1</sup>)、马金铺(1.88 g kg<sup>-1</sup>)、晋城新街(1.88 g kg<sup>-1</sup>)、东大河(1.82 g kg<sup>-1</sup>)、上蒜(1.54 g kg<sup>-1</sup>)、松花坝(1.41 g kg<sup>-1</sup>)、宝象河(1.32 g kg<sup>-1</sup>)。方差分析表明, 松花坝、宝象河与晋城新街、斗南、马金铺、东大河、上蒜、西山片区有显著性差异, 上蒜与东大河有显著性差异。斗南、马金铺、晋城新街和西山片区属于高强度利用的农田和人为干扰较小的森林植被, 土壤全氮含量相对较高, 这些较高的氮的存在成为滇池面源污染中氮的主要潜在来源。而松花坝、宝象河片区多为山地, 土地利用强度较低, 氮的积累也就处于较低的水平。

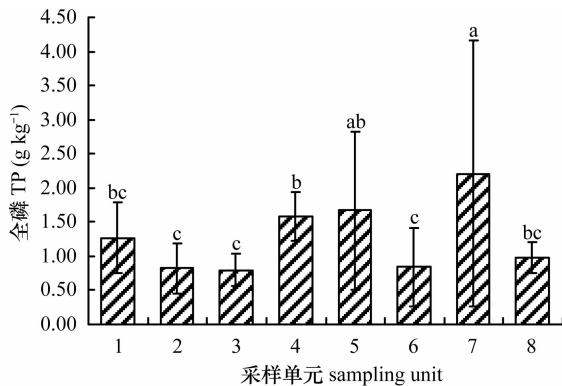
从滇池流域土地利用方式来看, 滇池流域土壤全氮含量以大棚最高(2.40 g kg<sup>-1</sup>), 含量在 1.50 ~



注：不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ ) Note: different letters mean significant difference at 0.05 level; 1晋城新街Jinchexinjie, 2松花坝Songhuaba, 3宝象河Baoliang river, 4斗南Dounan, 5马金铺Majinpu, 6东大河Dongda river, 7上蒜Shangsuan, 8西山Xishan

图 2 滇池流域土壤全氮水平分布

Fig. 2 Horizontal distribution of soil TN contents in Dianchi Watershed of China



注：不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ ) Note: different letters mean significant difference at 0.05 level; 1晋城新街Jinchexinjie, 2松花坝Songhuaba, 3宝象河Baoliang river, 4斗南Dounan, 5马金铺Majinpu, 6东大河Dongda river, 7上蒜Shangsuan, 8西山Xishan

图 3 滇池流域土壤全磷水平分布

Fig. 3 Horizontal distribution of soil TP contents in Dianchi Watershed of China

表 2 滇池流域土壤全氮、全磷含量

Table 2 TN and TP contents in soils in Dianchi Watershed

利用方式 Use patterns	全氮 TN (g kg <sup>-1</sup> )				全磷 TP (g kg <sup>-1</sup> )			
	平均值 ± 标准差	最大值	最小值	变异系数	平均值 ± 标准差	最大值	最小值	变异系数
	Mean ± SD	Maximum	Minimum	CV (%)	Mean ± SD	Maximum	Minimum	CV (%)
坝平地 Flatland (n = 20)	2.12 ± 0.69	3.40	1.16	32.6	2.09 ± 1.64	6.51	0.79	78.6
大棚 Greenhouse (n = 28)	2.40 ± 0.51	3.95	1.50	21.3	1.65 ± 0.91	5.22	0.67	55.1
林地 Forestland (n = 31)	1.14 ± 0.52	2.20	0.38	45.1	0.76 ± 0.77	4.58	0.42	1
坡耕地 Slope farmland (n = 26)	1.53 ± 0.50	2.75	0.74	32.9	1.12 ± 0.99	5.45	0.44	88.3
台地 Platform (n = 14)	1.48 ± 0.46	2.57	0.76	31.3	1.20 ± 0.93	4.20	0.49	77.2
湖滨土壤 Lakeside soil (n = 11)	2.26 ± 0.93	3.31	1.06	32.8	1.39 ± 0.32	1.86	0.71	0.24

3.95 g kg<sup>-1</sup>之间;林地土壤全氮最低(1.14 g kg<sup>-1</sup>),介于0.38~2.20 g kg<sup>-1</sup>间。不同利用方式土壤全氮含量大小顺序为:大棚、湖滨土壤、坝平地、坡耕地、台地、林地。其中,大棚、湖滨土壤、坝平地主要分布在较平坦的湖滨盆地区,全氮含量明显高于山地区域。湖滨土壤是近几年来昆明“四退三还”中拆除大棚恢复湿地或成为荒地的区域;坝平地和大棚均为目前处于过度利用状态耕地,极少有轮息,主要作物为蔬菜和花卉,因此投入的化肥农药以及畜禽粪肥相对较高。有研究显示菜地、花卉地全氮含量显著高于旱地<sup>[15]</sup>。可见,农业种植业结构调整、多年来化肥及畜禽粪肥大量施用已成为土壤养分富集的重要原因,集约化农业下土壤全氮含量会有所增加<sup>[14,16]</sup>。坡耕地、台地在滇池流域肥料投入较坝区低,加之通气条件较好导致耕层有机质分解较快,氮素较容易流失。6种利用方式中,林地的全氮含量最低,且变异系数最大,这是由于森林群落结构的差异及人为干扰强度导致不同群落土壤表层全氮含量的不同。银荆群落的全氮含量最低(0.38 g kg<sup>-1</sup>)。银荆群落地表几乎没有凋落物层存在,群落结构简单,土壤侵蚀较为严重,降雨产生的地表径流和地下径流较易带走林下表层中的氮磷。滇青冈群落全氮含量最高(2.20 g kg<sup>-1</sup>)。王震洪等研究认为<sup>[17]</sup>,高度生长量大、近地表草本植物和枯落物覆盖情况好的人工植被,面源污染物控制效果明显。在本研究的样地中也存在类似的情况,不同的群落类型对控制土壤流失和持水保土的功能有所不同。从所研究的6种土地利用方式看,虽然坡耕地、台地全氮含量并不高,但受降雨的影响较大,大棚、湖滨土壤以及坝平地区虽然坡度小,但大量的肥料的投入加大了土壤中氮的存量,也可能成为非点源的主要潜在性污染源,应引起重视。

### 3.3 非点源污染物磷的水平分布及其影响因子

研究土壤养分的空间变异,对于加强土壤养分管理和非点源污染控制均具有重要的意义。从图3可见,在滇池流域所研究的样地中,土壤全磷含量以上蒜片区最高( $2.21 \text{ g kg}^{-1}$ ),宝象河片区最低。全磷水平分布大小顺序为:上蒜( $2.21 \text{ g kg}^{-1}$ )、马金铺( $1.67 \text{ g kg}^{-1}$ )、斗南( $1.58 \text{ g kg}^{-1}$ )、晋城( $1.27 \text{ g kg}^{-1}$ )、西山( $0.98 \text{ g kg}^{-1}$ )、东大河( $0.84 \text{ g kg}^{-1}$ )、松花坝( $0.82 \text{ g kg}^{-1}$ )、宝象河( $0.80 \text{ g kg}^{-1}$ )。上蒜片区为滇池流域富磷区,磷背景值较高,加上长期大量的开采、运输等生产活动造成了该区域土壤环境高磷含量,高背景值是该区域土壤磷高含量主要原因。周慧平等认为:肥料投入较高,土壤全磷积累也较高<sup>[8]</sup>。因而斗南、马金铺片区由于大棚种植时间较长,大量的化肥施用增加了土壤中全磷的含量。方差分析表明,晋城新街与上蒜片区有显著性差异;上蒜与松花坝、宝象河、斗南、东大河、西山片区土壤全磷含量有显著性差异。松花坝、宝象河、东大河主要为山地,相比之下化肥施用量较低,少有设施农业或建设时间不长,土壤磷的含量也相对较低。从以上可以看出,滇池东岸和东南区的上蒜、马金铺、斗南为滇池流域磷高含量区,这些区域中的高磷含量有向水体流失的高潜在性风险。

从表2可以看出,滇池流域不同土地利用方式土壤全磷的含量有所不同。坝平地土壤全磷含量最高,为 $2.09 \text{ g kg}^{-1}$ ,高含量值分布在友谊村( $6.51 \text{ g kg}^{-1}$ )和宝兴村( $6.01 \text{ g kg}^{-1}$ )两个富磷区;其次为晋城小寨村附近也靠近富磷区的样地。大棚样地分布于滇池周边的相对平缓区域,是昆明地区的主要花卉、蔬菜种植基地。经过近几年的“四退三还”拆退工作,滇池湖岸线附近的大棚大多拆除还为湿地。目前滇池流域的大棚主要集中于晋宁的晋城、上蒜、昆阳和呈贡斗南、马金铺等地。从分析结果可以看出,大棚全磷含量在 $0.67 \sim 5.22 \text{ g kg}^{-1}$ ,平均值为 $1.65 \text{ g kg}^{-1}$ ,与坝平地相似。以上蒜富磷片区的大棚全磷含量最高;其次为斗南片区和晋城片区,介于 $1.00 \sim 2.00 \text{ g kg}^{-1}$ 之间;以宝峰片区全磷含量最低,低于 $1.00 \text{ g kg}^{-1}$ 。长期的大棚种植模式有利于土壤磷素的积累。湖滨土壤含全磷为 $1.39 \text{ g kg}^{-1}$ ,台地为 $1.20 \text{ g kg}^{-1}$ ;从坡耕地全磷含量来看,同样以上蒜片区富磷区坡耕地磷含量最高,其余区域全磷含量大多也低于 $1.00 \text{ g kg}^{-1}$ 。林地全磷含量最低,为 $0.76 \text{ g kg}^{-1}$ ,除上蒜片磷矿区

附近少有几个样地含量较高外,其余片区林地的全磷含量均较低,大部分样地的全磷含量均低于 $1.00 \text{ g kg}^{-1}$ 。滇池流域6种土地利用方式中,坝平地、大棚和湖滨土壤全磷含量较高,台地和坡耕地较低,而林地全磷含量最低。陈欣等研究了红壤小流域坡地不同利用方式对土壤磷素流失的影响,认为坡地不同利用方式磷素流失的差异除了与土壤侵蚀量密切相关外,磷肥的施用量和土壤磷的含量是主要的影响因素<sup>[18]</sup>。滇池流域土壤磷除本底外,其余主要来源于土壤施肥贡献。6种利用方式中,山地区域由于坡度等地形因子的影响土壤侵蚀可能较坝平地、湖滨土壤的高,但坝平地,大棚及湖滨土壤高含量的磷也可能产生较高的流失量,成为磷素流失的高潜力区。

## 4 结 论

1) 滇池流域氮素的水平分布特征为:滇池东部盆地斗南、马金铺、晋城主要农耕地及西山片区全氮含量较高,北部松花坝,东北部宝象河及南部的山地区全氮含量较低;

2) 滇池流域磷素的水平分布特征为:南部上蒜和东部马金铺、斗南、晋城较高,西部西山、东大河次之,北部松花坝和东北部宝象河最低;

3) 滇池流域6种土地利用方式中,大棚、坝平地和湖滨土壤全氮、全磷含量较高,而林地的氮、磷含量最低。因此,在今后滇池流域面源污染防控过程中,需加强对林地的保护与抚育,并重点加强对大棚区、坝平地和湖滨区面源污染的防控。

## 参 考 文 献

- [1] Judith M S, Jeffery C. Cornwell nitrogen, phosphorus and sulfur dynamics in a low salinity marsh system dominated by *Spartina alterniflora*. Wetland, 2001, 21(4): 629—638
- [2] Bao Q S, Mao X Q, Wang H D. Progress in the research in aquatic environmental nonpoint source pollution in China. Journal of Environmental Science, 1997, 9(3): 329—336
- [3] McGrath A, Kensmith C, Henry L, et al. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazonia. Ecosystems, 2001, 4: 625—645
- [4] 王淑堂,代晋国,李利生,等. 水环境中非点源污染的研究. 北京工业大学学报, 2003, 29(4): 486—490. Wang S Y, Dai J G, Li L S, et al. Study on non-point source pollution of water environment (In Chinese). Journal of Beijing University of Technology, 2003, 29(4): 486—490
- [5] 程文娟,史静,夏运生,等. 滇池流域农田土壤氮磷流失分析研究. 水土保持学报, 2008, 22(5): 52—55. Cheng W J, Shi

- J, Xia Y S, et al. Farmland runoff of nitrogen and phosphorus in Dianchi watershed (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(5): 52—55
- [ 6 ] 陈长青, 何园球, 卞新民. 红壤旱地不同种植模式下 NPK 养分动态平衡分析. *土壤通报*, 2009, 40(1): 81—84. Chen C Q, He Y Q, Bian X M. Nutrient dynamic and balance of different farming patterns in red soil upland (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40(1): 81—84
- [ 7 ] 林超文, 涂士华, 黄晶晶, 等. 植物篱对紫色土区坡耕地水土流失及土壤肥力的影响. *生态学报*, 2007, 27(6): 2 191—2 198. Lin C W, Tu S H, Huang J J, et al. The effects of plant hedgerows on soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple soil area (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 2 191—2 198
- [ 8 ] 周慧平, 高超, 孙波, 等. 巢湖流域土壤全磷含量的空间变异特征和影响因素. *农业环境科学学报*, 2007, 26(6): 2 112—2 117. Zhou H P, Gao C, Sun B, et al. Spatial variation characteristics and its driving factors of total phosphorus in topsoil of Chaohu lake watershed (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(6): 2 112—2 117
- [ 9 ] 夏运生, 李阳红, 史静, 等. 滇池宝象河流域土壤磷的累积及吸附特征研究. *土壤学报*, 2010, 47(2): 326—333. Xia Y S, Li Y H, Shi J, et al. Accumulation and sorption characteristics of soil phosphorus in the Baoxiang river watershed in Dianchi Lake (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(2): 326—333
- [ 10 ] 杨树华, 杨桂华. 滇池流域土地利用结构及其生态评价的初步研究. *云南大学学报: 自然科学版*, 1992, 14(2): 202—219. Yang S H, Yang G H. Preliminary study on the structure of land utilization and its ecological evaluation in Dianchi Lake watershed (In Chinese). *Journal of Yunnan University: Natural Science Edition*, 1992, 14(2): 202—219
- [ 11 ] 鲁韦坤, 杨树华. 滇池流域景观格局变化研究. *云南大学学报: 自然科学版*, 2006, 28(S1): 201—208. Lu W K, Yang S H. Landscape pattern and differentiation in Dianchi drainage area based on RS and GIS (In Chinese). *Journal of Yunnan University: Natural Science Edition*, 2006, 28(S1): 201—208
- [ 12 ] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. Lu R K. Analytical methods for soil and agricultural chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999
- [ 13 ] 刘光崧. *土壤理化分析与剖面描述*. 北京: 中国标准出版社, 1996. Liu G S. Soil physical and chemical analysis & description of soil profiles (In Chinese). Beijing: Standards Press of China, 1996
- [ 14 ] 张桃林, 潘剑君, 刘绍贵, 等. 集约农业利用下红壤地区土壤肥力与环境质量变化及调控——江西省南昌市郊区和余江县案例研究. *土壤学报*, 2007, 44(4): 584—591. Zhang T L, Pan J J, Liu S G, et al. Changes in soil fertility and environmental quality in red soil region under intensive agricultural use and their control—A case study of the suburbs of Nanchang City and Yujiang County in Jiangxi Province (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(4): 584—591
- [ 15 ] 陈肖, 张世熔, 黄丽琴, 等. 成都平原土壤氮素的空间分布特征及其影响因素研究. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(1): 1—7. Chen X, Zhang S R, Huang L Q, et al. Spatial distribution characteristic and its influential factors of soil nitrogen in Chengdu Plain (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(1): 1—7
- [ 16 ] 胡建利, 王德建, 孙瑞娟, 等. 长江下游典型地区农田土壤肥力变化——以常熟市为例. *土壤学报*, 2008, 45(6): 1 087—1 094. Hu J L, Wang D J, Sun R J, et al. Variation of soil fertility of farmlands in typical regions in the lower-reaches of the Yangtze river—A case study of Changshu County (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(6): 1 087—1 094
- [ 17 ] 王震洪, 吴学灿, 李英南. 滇池流域荒地植被恢复工程控制面源污染生态机理. *环境科学*, 2006, 27(1): 37—42. Wang Z H, Wu X C, Li Y N. Ecological mechanisms of the effects of vegetation restoration on the controls of non-point source pollution on barren tableland in Dianchi watershed of China (In Chinese). *Environmental Science*, 2006, 27(1): 37—42
- [ 18 ] 陈欣, 王兆骞, 杨武德, 等. 红壤小流域坡地不同利用方式对土壤磷素流失的影响. *生态学报*, 2000, 20(3): 374—377. Chen X, Wang Z Q, Yang W D, et al. Effects of sloping land use patterns on phosphorus loss in a micro-watershed of red soil area Southern China (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(3): 374—377

## DISTRIBUTIONS OF SOIL NITROGEN AND PHOSPHORUS IN DIANCHI WATERSHED AND THEIR KEY INFLUENCING FACTORS

Hu Bin He Shuzhuang Chen Chunyu Lü Wenlong Lei Dongmei

(School of Life Sciences in Yunnan University, Kunming 650091, China)

**Abstract** In order to understand distribution characteristics of soil nitrogen and phosphorus in the Dianchi watershed at the watershed scale, soil pH, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and soil organic matter were analyzed of 130 surface soil samples collected from lands different in land-use type in the Dianchi Basin. Results show that the soils in the major farming regions including Dounan, Majingpu and Jincheng in the basin east to Lake Dianchi and some of Xishan, were higher in total N, and those in Songhuaba in the north, Baoxiang River area in the northeast, and the

mountains in the south of the watershed were lower. The highest and the lowest TN content was found in Dounan ( $2.21 \text{ g kg}^{-1}$ ) and Baoxiang River area ( $1.32 \text{ g kg}^{-1}$ ), respectively. And the soils in Shangsuan in the south and Majingpu, Dounan and Jincheng in the east of the watershed were the highest in total P, and followed by those in Xishan are Dongda River area, and those in Songhuaba in the north and Baoxiang River area in the northeast the lowest. The highest and lowest content of TP was found in Shangsuan ( $2.21 \text{ g kg}^{-1}$ ) and Baoxiang River area ( $0.80 \text{ g kg}^{-1}$ ), respectively. The findings suggest that in the greenhouse farming dominated regions, lakeside plains and flat tablelands, the application of large volumes of chemical fertilizers has led to high accumulation of N and P in the soil, thus making these areas highly potential non-point source agricultural pollution sources. It is, therefore, necessary to intensify control and management of non-point source pollution in those areas.

**Key words** Dianchi watershed; Land-use type; Soil; N; P; Distribution characteristics