

土地利用方式对滇池流域土壤养分时空分布的影响 *

陈春瑜 和树庄 ** 胡 斌 吕文龙

(云南大学环境科学与生态修复研究所, 昆明 650091)

摘要 选择滇池流域 6 种土地利用方式(废弃大棚区、林地、坡耕地、台地、平坝菜地和设施大棚菜地)逐月定点测定表层土壤 pH 以及氮、磷和有机质含量, 分析土地利用方式对滇池流域土壤养分时空分布的影响。结果表明: 研究区不同土地利用方式的土壤 pH、有机质含量、总氮含量、总磷含量、C/N 均存在显著差异。pH 值依次为废弃大棚>平坝菜地>设施大棚>台地>坡耕地>林地; 有机质含量依次为废弃大棚>平坝菜地>设施大棚>坡耕地>林地>台地; 总氮含量依次为设施大棚>平坝菜地>废弃大棚>坡耕地>台地>林地; 总磷含量依次为平坝菜地>设施大棚>废弃大棚>坡耕地>台地>林地; C/N 值依次为林地>坡耕地>平坝菜地>台地>废弃大棚>设施大棚。土壤中有机质、氮、磷含量受施肥、灌溉、田间耕作及季节因素等影响。不同样点各指标的高值均出现在雨季, 可能与当地追肥习惯有关。各种土地利用方式下, 土壤总氮、总磷和有机质含量之间呈显著正相关。高强度利用的设施大棚和废弃大棚的土壤 pH 以及氮、磷、有机质含量明显异于人为扰动较小的林地和台地。

关键词 土地利用 土壤养分 滇池

文章编号 1001-9332(2012)10-2677-08 中图分类号 S158.3 文献标识码 A

Effects of land use type on spatiotemporal distribution of soil nutrients in Dianchi watershed, Yunnan Province of Southwest China. CHEN Chun-yu, HE Shu-zhuang, HU Bin, LÜ Wen-long (*Institute of Environmental Sciences and Ecological Restoration, Yunnan University, Kunming 650091, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2012, 23(10): 2677–2684.

Abstract: Surface soil samples were monthly collected from six land use types (abandoned greenhouse field, forest land, sloped farmland, table land, flat vegetable land and greenhouse field) in Dianchi watershed of Yunnan to determine the soil pH and the contents of soil organic matter (OM), total nitrogen (TN), and total phosphorus (TP), aimed to understand the effects of different land use types on the spatiotemporal distribution of the soil nutrients. The soil pH, SOM, TN and TP, contents, and soil C/N differed significantly with soil land use types. The soil pH was in the order of abandoned greenhouse field > flat vegetable land > greenhouse field > table land > sloped farmland > forest land; the OM content was in the sequence of abandoned greenhouse field > flat vegetable land > greenhouse field > sloped farmland > forest land > table land; the TN content was in the order of greenhouse field > flat vegetable land > abandoned greenhouse field > sloped farmland > table land > forest land; the TP content was in the order of flat vegetable field > greenhouse field > abandoned greenhouse field > sloped farmland > table land > forest land; and the C/N ratio was in the sequence of forest land > sloped farmland > flat vegetable plot > table land > abandoned greenhouse field > greenhouse field. The OM, TN and TP contents were affected by fertilization, irrigation, field cultivation and season. All the test parameters had the highest values in rainy season, which could be related to the local top-dressing habits. There were significant positive correlations among the TN, TP and OM under all the land use types. In greenhouse field and abandoned greenhouse field, due to the severe human disturbances, the soil pH and OM, TN and TP contents were obviously higher than those in forestland and table land.

Key words: land use; soil nutrient; Dianchi watershed of Yunnan.

* 国家科技重大专项(2009ZX07002-004-001)资助。

** 通讯作者. E-mail: heshuzhuang@ynu.edu.cn

2011-11-22 收稿, 2012-07-15 接受。

滇池流域位于我国云贵高原中部,地处金沙江、南盘江和红河三大流域分水岭地带,是云南省人口最密集、经济最发达的地区^[1]。1990年以来,滇池流域土地利用方式发生了明显变化,表现为建设用地的显著上升、耕地面积的逐渐下降以及人均耕地的锐减,随之带来的是城乡收入差距拉大、化肥使用量增加、复种指数提高,这虽然使该区农业生产产值得到很大提高,但导致土地利用强度加大,相应的面源污染风险也随之上升。土地利用的变化不仅改变自然景观的面貌,也改变了景观中土地物质循环和能量交换,对区域土壤、湖泊产生了深刻影响^[2]。

土地利用方式与土壤养分有着密切的联系^[3]。土壤性质受各种气候、地形和人类活动等因素的综合影响,其具有时间和空间的变化特征^[4]。土地利用方式影响植被凋落物和残余量^[5]以及土壤微生物的活动^[6],进而引起土壤养分的变化。合理的土地利用方式可以改善土壤结构、增强土壤对外界环境变化的抵抗力,反之,将导致土壤质量下降^[7]、增加土壤侵蚀^[8]、降低生物多样性。对于土地质量下降所带来的生产力下降,当地农民采取的主要措施是增加施肥量,特别是在大棚种植过程中。目前,滇池流域的土地质量已大幅下降^[9]。土地利用方式不合理是该流域面源污染负荷变化的主导因素之一,对滇池水体富营养化起着重要作用。

本文于2010年3月至2011年2月对滇池流域不同土地利用方式下的土壤养分含量进行逐月调查测定,分析不同土地利用方式带来的土壤养分时空分布差异,并对土壤养分时空分布进行定量研究和综合评价,旨在通过分析土地利用方式对土壤化学性质产生的影响,为当地寻求最佳的土地利用结构,以及为土壤生态环境的可持续发展提供基础依据,从而建立面源污染源头控制的监督体系。

1 研究地区与研究方法

1.1 采样区概况

滇池($24^{\circ}28'—25^{\circ}28' N, 102^{\circ}30'—103^{\circ}00' E$)是我国著名的高原淡水湖泊,位于昆明市西南,地处长江、珠江和红河三大水系分水岭地带。该区属北亚热带湿润季风气候,具有“四季如春”、“干湿季分明”的云南高原中部的典型气候特征,年均气温 $14.7^{\circ}C$ 。滇池南北长40 km、东西宽12.5 km,为四周由山地和丘陵构成的南北长、东西窄的湖盆地。湖面面积 298 km^2 ,平均水深4 m,总容水量 $15.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,最大容积 $1.2 \times 10^9 \text{ m}^3$,流域面积2920 km²,年径

流量 $9.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,年均降水量797~1007 mm,80%~90%的降水集中在雨季(5—10月)。滇池入湖河流大多源近流短,有20多条主要河流汇入滇池。林地为滇池流域的主要土地利用类型,其面积(991.9 km^2)占整个流域面积的34.2%,主要分布在松华坝水源保护区范围内;耕地面积(636.4 km^2)占流域土地总面积的21.9%,主要分布在滇池盆地、嵩明县的白邑坝子内海拔2300 m以下的中山、丘陵地带。流域内地带性植被为半湿润常绿阔叶林^[10],主要有云南松(*Pinus yunnanensis*)、华山松(*Pinus armandii*)、滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoiodes*)和黑荆(*Acacia mearnsii*)等次生林。种植作物以玉米(*Zea mays*)、小麦(*Triticum aestivum*)和豌豆(*Pisum sativum*)为主。成土母质为石灰岩、砂岩残积物、坡积物和冲积洪积物。水稻土和红壤为主要土壤类型,人为活动对该区土壤形成和演化有重要影响。

1.2 布点与采样

依据滇池流域总体特征,从土地利用强度对滇池的影响程度出发,将研究区土地利用类型分为4大类,分别为废弃大棚区(样点数为10)、林地(样点数为30)、粮作地(样点数为36)和蔬菜地(样点数为44)(图1)。根据实际利用情况,将蔬菜地分为平坝菜地和设施大棚菜地,其中,平坝菜地主要种植豌豆等作物,设施大棚菜地主要种植小白菜等蔬菜;粮作地主要种植小麦、玉米等大田作物,分为坡耕地和

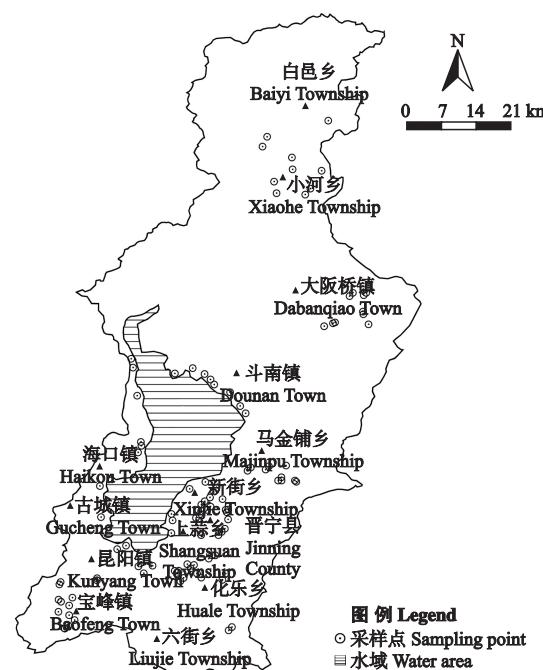


图1 滇池流域土壤采样点分布图

Fig. 1 Distribution of soil samples in Dianchi watershed.

台地; 废弃大棚区现无任何作物种植; 林地以保存较好的次生阔叶混交林为主。

在实地考察当地土地利用方式后选择 120 个样点,于 2010 年 3 月至 2011 年 2 月逐月采集土壤样品。每个样点随机采集 3~5 个 0~20 cm 剖面的土样混合后,用四分法处理,最后剩余 1.5 kg 样品带回实验室风干,去掉植物根系、落叶、石块等,分别过 2 和 0.25 mm 筛,贮存备用。

1.3 分析方法

土壤酸碱度(pH)采用水浸提(水:土=2.5:1.0)电位法测定; 土壤有机质(OM)采用重铬酸钾容量法-氧化外加热法测定; 土壤总氮(TN)采用半微量凯氏定氮法测定; 土壤总磷(TP)采用 NaOH 熔融-钼锑抗比色法测定^[11]。

先用 Excel 2007 软件对试验数据进行初步统计,再用 SPSS 17.0 软件进行方差分析和相关性分析。

表 1 研究区不同土地利用方式下土壤养分含量

Table 1 Soil nutrient content under different land use types in the study area

土地利用方式 Land use type	样本数 Number of sample	年限 Years	特征值 Characteristic value	pH	有机质 OM (g·kg ⁻¹)	总氮 TN (g·kg ⁻¹)	C/N	总磷 Total P (g·kg ⁻¹)
废弃大棚区 Abandoned greenhouse	10	>2	平均值 Average	7.58a	35.87a	1.92b	11.00b	1.63c
			范围 Range	4.92~8.45	4.49~82.46	0.47~4.27	2.43~53.10	0.28~3.14
			SD	0.17	3.61	0.16	3.66	0.14
			CV (%)	2.3	10.1	8.4	33.3	8.4
林地 Forest land	30	>3	平均值 Average	5.46c	28.25b	1.11c	16.64a	0.99c
			范围 Range	4.16~8.31	5.80~120.56	0.12~4.18	5.60~89.01	0.15~13.17
			SD	0.14	3.37	0.11	4.88	0.49
			CV (%)	2.6	12.9	10.3	29.3	49.2
坡耕地 Sloped farmland	25	>4	平均值 Average	5.59c	28.85b	1.38c	12.87b	1.24c
			范围 Range	4.11~8.25	10.34~73.45	0.24~3.36	5.03~78.99	0.28~8.20
			SD	0.13	1.3	0.07	4.64	0.27
			CV (%)	2.4	4.5	4.9	36.1	21.6
台地 Table land	11	>3	平均值 Average	5.63c	24.52b	1.32c	11.36b	1.14c
			范围 Range	4.22~7.82	4.95~51.80	0.22~2.77	2.57~38.24	0.25~5.06
			SD	0.13	1.64	0.09	2.55	0.3
			CV (%)	2.3	6.7	7.0	22.4	26.6
平坝菜地 Flat vegetable plot	20	>2	平均值 Average	6.81b	35.60a	1.92b	11.49b	2.59a
			范围 Range	4.29~8.40	13.89~83.64	0.35~4.09	5.02~42.39	0.49~11.16
			SD	0.15	1.35	0.1	3.38	0.49
			CV (%)	2.2	3.8	5.4	29.4	19.1
设施大棚 Greenhouse	24	>2	平均值 Average	6.73b	35.20a	2.18a	9.82b	1.92b
			范围 Range	3.76~8.02	15.41~60.31	0.61~3.95	4.33~32.77	0.34~5.96
			SD	0.28	0.89	0.07	1.7	0.13
			CV (%)	4.2	2.5	3.4	17.3	6.8

同列不同小写字母表示不同土地利用类型间差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column indicated significant difference among different land use types at 0.05 level.

的施用,以及 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 等离子的利用和流失,加速了平坝菜地、设施大棚等土壤的酸化程度。因此,农业的施肥、管理(地膜覆盖)等措施对土壤pH有很大影响。另外,邱莉萍和张兴昌^[13]认为,林地土壤表层掉落了较多的枯枝落叶和果实,这些物质在微生物的分解作用下会向表层土壤释放各种有机酸,从而降低林地土壤pH值。

2.1.2 土壤有机质 不同土地利用方式导致土壤耕垦变化的差异,不仅改变了土壤理化性质、影响土壤肥力,还直接影响土壤有机质的分解与转化^[14]。滇池流域土壤有机质平均含量以废弃大棚区最高($35.87 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),台地最低($24.52 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。有机质含量变化范围以林地和废弃大棚区最大。林地土壤有机质变化范围较大,可能与群落构成不同、凋落物的转化和积累量差异有关;废弃大棚区土壤有机质变化范围较大的原因可能与耕作历史有关。设施大棚种植区土壤有机质含量变化范围最小,最大值为最小值的4倍,这与施肥习惯较接近有关。不同土地利用类型土壤有机质含量变异系数表现为林地>废弃大棚区>台地>坡耕地>平坝菜地>设施大棚,这与李东等^[14]对紫色丘陵区不同土地利用类型土壤有机质含量的研究结果相似。

以土壤有机质含量 $20.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 作为丰缺指标可以看出,滇池流域不同土地利用方式的土壤有机质含量普遍较高。不同利用方式下作物对养分利用比例、吸收能力的差异使土壤有机质和养分含量存在不同,有机质平均含量大小依次为废弃大棚区>平坝菜地>设施大棚>坡耕地>林地>台地,这与其他研究^[15]的结论类似。不同土地利用方式下土壤pH和有机质含量变化规律基本一致。由于受种植模式、植被覆盖等因素影响较大,不同土地利用方式间有机质含量差异显著。废弃大棚区枯落物长期分解、累积,补充到土壤中的养分也较多,水热条件较充足,植被生长状况良好^[16],且均为2年以上退湖地带,每年枯落物全部回归土壤,根系数量多,且广泛分布于地表下,使有机质含量较高;平坝菜地和设施大棚的大部分收获物从土壤中移走,导致土壤有机质含量增加有限;坡耕地水土流失严重,造成土壤中大量养分随侵蚀物质和径流被转移走,加之各种耕作措施导致土壤结构发生变化,加速了土壤有机质的矿化分解;林地经营较粗放,径流等水文过程会造成有机质丧失,并受季节影响因素较大,导致其土壤有机质含量较低;台地多种植农作物,其地上部分成熟后多被割去,加之补充土壤养分的枯落物及根系

不足,导致台地土壤有机质含量较低。

2.1.3 土壤总氮 影响土壤氮素空间分布的因素较多,包括成土母质、土壤类型、土地利用类型、施肥管理、水土流失程度、坡度等^[17]。滇池流域设施大棚的土壤总氮平均值最高($2.18 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),林地最低($1.11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$);林地的变化范围最大($0.12 \sim 4.18 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$),可能与群落结构有关,大棚区的变化幅度最小($0.61 \sim 3.95 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。不同土地利用方式下土壤总氮含量依次为设施大棚>平坝菜地>废弃大棚区>坡耕地>台地>林地,这与高云等^[18]对浙江省湖州地区不同土地利用氮磷非点源污染的结果相似。

以土壤全氮含量 $1.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 作为丰缺指标可以看出,研究区土壤总氮含量普遍较高。不同土地利用方式间土壤总氮含量差异显著。人为施肥造成设施大棚和平坝菜地土壤总氮含量较高;废弃大棚区人为干扰较小,但因枯落物积累较多,可提供持续的氮源,故土壤总氮含量也较高;人为干扰极易造成坡耕地水土流失,导致土壤养分流失;台地以传统农业为主,施肥强度相对较小,土壤总氮含量相对较少。不同土地利用方式下土壤总氮含量的变异系数依次为林地>废弃大棚区>台地>平坝菜地>坡耕地>设施大棚,表明样点间总氮含量的差异以林地土壤最大,原因在于林地每年有丰富的枯枝落叶可补充土壤养分的耗竭^[19],这与刘梦云等^[20]对宁夏固原上黄地区土壤总氮的研究结论一致。

2.1.4 土壤碳氮比 土壤有机质和全氮是土壤质量评价中最重要的指标,也是陆地土壤碳库和氮库的重要组成部分,它们不仅反映土壤肥力水平,也印证区域生态系统演变规律。两者的关系可用土壤C/N[土壤有机碳含量($0.58 \times$ 土壤有机质含量)与全氮含量的比值]来表示,它是土壤质量的敏感指标,也是衡量土壤C、N营养平衡状况的指标,其演变趋势对土壤碳、氮循环有重要影响。土壤C/N通常被认为是土壤氮素矿化能力的标志,低的C/N可以加快微生物的分解和氮的矿化速率^[21]。一般认为,当C/N>30,氮素矿化作用的最初阶段不能对植物产生供氮效应;当C/N<15,氮素矿化作用最初所提供的有效氮量会超过微生物的同化量,使植物有可能从有机质矿化过程中获得有效氮的供应^[22]。由表1可以看出,研究区不同土地利用方式下土壤C/N值差异显著。其中,林地土壤的平均值最高(16.64),变化范围最大($5.60 \sim 89.01$),原因在于林地没有氮肥的投入,有机碳积累又较多^[23];设施大棚土壤的

平均值最低(9.82), 原因在于设施大棚有机碳积累少又有氮肥的大量投入, 变幅最小(4.33~32.77)。由C/N均值可以看出, 该区植物基本能从有机质矿化过程中获得有效氮的供应, 保证了氮素的有效利用。不同土地利用模式下土壤C/N的差异主要与加入的有机物料的数量及C/N有关^[24]。研究区C/N值依次为林地>坡耕地>平坝菜地>台地>废弃大棚区>设施大棚。研究区不同土地利用方式下土壤C/N值的变异系数依次为坡耕地>废弃大棚区>平坝菜地>林地>台地>设施大棚, 均属于高变异。这与姜勇等^[25]对潮棕壤不同土地利用方式下土壤有机碳剖面分布及碳储量的研究结果相似。

2.1.5 土壤总磷

磷素是一种沉积性的矿物, 在植物的主要营养元素中, 磷素在风化壳中的物质迁移最小。磷素的风化、淋溶、富集迁移是多种因素共同作用的结果, 其含量大小、分布格局与成土母质、植被类型、土地利用方式等密切相关^[19]。研究区平坝菜地总磷平均含量最高($2.59\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 其次为设施大棚种植区($1.92\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 再次为废弃大棚区($1.63\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 总磷含量较高之处多集中在耕作历史长、利用强度高的区域; 坡耕地($1.24\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、台地($1.14\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和林地($0.99\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)总磷含量较低, 这与其他研究^[26~27]的结论相似。采样区南部的晋宁县属磷矿开采、磷化工生产较发达的区域^[28], 导致了整个研究区域总磷平均值较高。总磷变化范围最大的是林地($0.15\sim13.17\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 表明林地不同样点间土壤总磷含量差异极大; 其他耕作区(坡耕地、台地、平坝菜地、设施大棚)总磷含量的变化幅度也较大。不同土地利用方式的总磷变异系数依次为: 林地>台地>坡耕地>平坝菜地>废弃大棚区>设施大棚。方差分析显示, 不同土地利用方式对总磷含量有显著影响。平坝菜地和设施大棚总磷含量显著高于其他土地利用类型, 这与磷肥常作为基肥在农业种植中广泛施用有关。平坝菜地、废弃大棚区和设施大棚的总磷含量高于土壤总磷含量的丰缺指标($1.50\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。该区很多农户在从事农业生产经营中仍存在大量施肥习惯, 使得不同土地利用方式下的土壤总氮、总磷分布趋势基本一致。

2.2 不同土地利用方式下土壤养分的时间变化特征

不同土地利用方式下, 土壤养分不仅受施肥、灌溉和田间耕作等诸多因素影响, 季节因素也影响其含量的变化。不同土地利用类型所覆盖的植被、植被覆盖率和凋落物量存在差异, 使土壤养分随季节积

累有所不同。平坝菜地、设施大棚和大棚废弃区的土壤pH基本在6~7, 并随时间推移呈一致性变化, 其他3种土地利用方式下的土壤pH在5~6(图2)。土壤pH并不随时间变化而发生较大改变, 这与土壤的缓冲性有关。

研究区不同土地利用方式下土壤有机质含量基本在2.0%~4.0%之间波动, 月低值出现在3、4月,

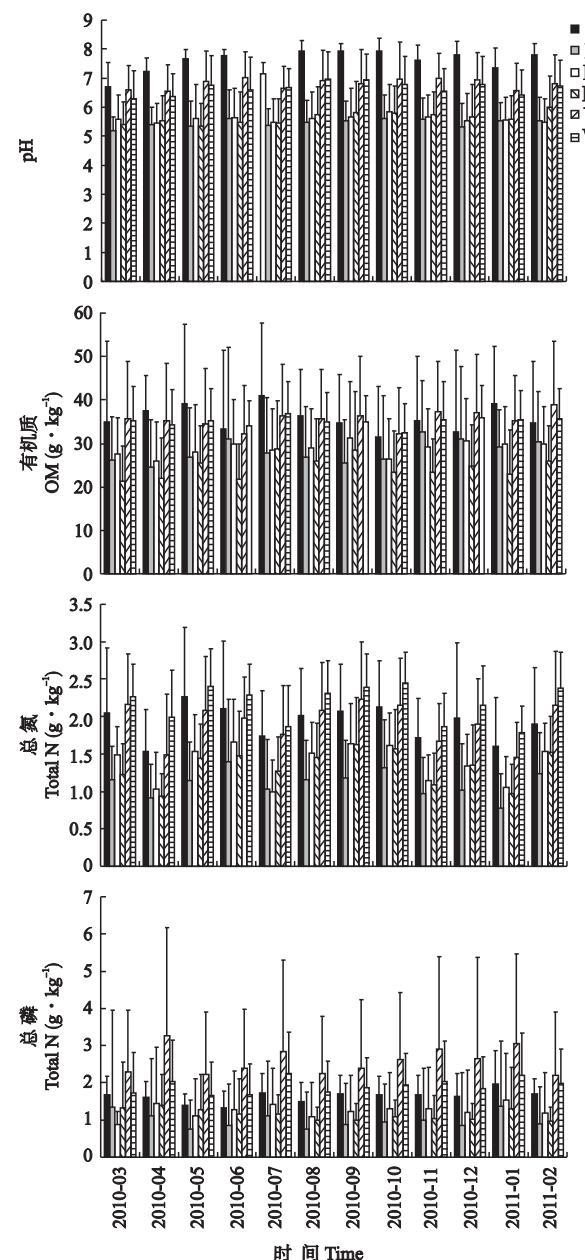


图2 滇池流域土壤pH、有机质、总氮和总磷随时间的变化

Fig. 2 Temporal variation of soil pH, OM, TN and TP in Dianchi watershed (mean \pm SD).

I: 废弃大棚区 Abandoned greenhouse; II: 林地 Forest land; III: 坡耕地 Sloped farmland; IV: 台地 Table land; V: 平坝菜地 Flat vegetable plot; VI: 设施大棚 Greenhouse. 下同 The same below.

高值出现在1、7、8、11月(图2). 7、8月处于夏季, 土壤有机质高值与降雨高值重合, 易造成养分流失. 不同土地利用方式下土壤有机质含量均值之间的差异约为30%. 7、8月土壤有机质含量较高并与降雨高峰重合, 是滇池流域土壤有机质含量变化的重要特征. 11月以后, 随着人为种植活动的减少, 以及作物的收割, 蔬菜地和耕作地的土壤有机质输入量明显减少^[29], 林地和湖滨拆除区的枯落物较少, 其有机质积累较少. 1月以后, 冬季的微生物活性较低, 有机质在土壤表层积累较多, 而随着施肥活动的增加, 有机质逐渐富集.

不同土地利用方式下土壤总氮和总磷的月变化趋势基本一致(图2). 昆明属于干湿两季变化较明显的地区, 5—10月为雨季, 雨季即将结束时(10月), 新一轮的蔬菜开始耕种, 施肥量增多, 氮磷含量累积随之增多, 在12月, 滇池流域大部分地区基本不进行农业施肥灌溉, 因此土壤表层氮磷含量降低. 土壤总氮的月际变化幅度较土壤有机质小. 总氮低值出现在1、4、7、11和12月, 高值出现在2、3、5、6、8、9和10月, 其中, 8、9和10月与雨季降雨高值重叠, 易造成氮流失. 相同土地利用类型表层土壤总氮含量差异较大(10~30倍), 不同土地利用类型之间土壤总氮含量的差异也较大(相差20倍), 而月际变化较小(<30%)是滇池流域表土总氮分布的基本特征. 表土总磷含量在1、4、7和11月较高, 其余月份均较低. 由于7月与雨季降雨高峰重合, 所以磷素流失较突出.

不同土地利用方式下土壤C/N的月低值出现在2、3、5、6、10月, 高值出现在1、4、7、11月(图3). 随着土壤有机质和总氮含量的改变, C/N值也发生了不同程度的改变, 这与齐雁冰等^[30]关于长江三角洲典型区农田土壤C/N值的演变趋势研究结果一致.

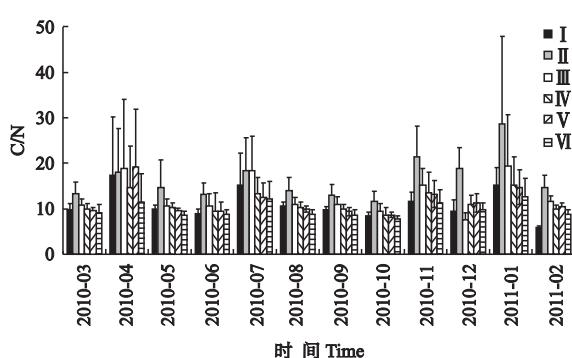


图3 滇池流域土壤C/N随时间的变化

Fig. 3 Temporal variation of soil C/N in Dianchi watershed (mean±SD).

表2 研究区土壤pH、有机质、全氮和全磷之间的相关系数
Table 2 Correlation coefficients between soil pH, OM, TN and TP in the study area

	pH	土壤有机质 SOM	总氮 TN	总磷 TP
pH	1	0.51 **	0.76 **	0.58 **
有机质 OM		1	0.43 **	0.50 **
总氮 TN			1	0.52 **
总磷 TP				1

* * P<0.01.

2.3 土壤养分指标间的相关性分析

土壤有机质(OM)、全氮(TN)、全磷(TP)是评价土壤质量的重要指标, 不但可以反映土壤肥力状况, 还能反映土壤环境质量状况, 可以用来评价土壤的生产、环境和健康功能^[31-32]. 陆安祥等^[33]认为, 土壤养分在土壤中的累积受很多因素影响, 如土壤性质(土壤质地、土体构型、土壤pH、有机质、游离的Al和Fe含量, 及土壤氮、磷含量等)、气候因子(降水量、降水强度等)、水文地理因子(坡度、地下水位等)、农业管理因子(种植结构差异、氮磷施肥时间和方法、灌溉和耕作制度)的影响.

滇池流域土壤pH、有机质、总氮和总磷之间均存在显著正相关关系($P<0.01$)(表2), 反映了土壤养分之间内在的平衡与耦合机制, 这与其他研究结论一致^[34-36]. 造成这一结果的原因可能是由于长期耕作使土壤有机质含量直接或间接地影响土壤中其他营养元素的含量, 导致这些土壤属性更多地受人类活动的影响, 从而表现出了相对一致的变化规律.

3 讨论

虽然自然条件下矿物质的风化是土壤养分库的主要来源^[37], 但不同土地利用方式下人为干扰的程度与过程也对土壤养分库具有重要影响. 不同土地利用方式通过改变土壤微生态环境, 使土壤养分含量变化表现出不同趋势.

滇池流域6种土地利用方式(坝平地、废弃大棚区、大棚、林地、坡耕地和台地)的土壤pH、有机质、总氮、总磷含量和C/N均呈明显的时空变化规律. 滇池流域土壤养分含量均高于相应的丰缺指标值, 土壤中面源污染组分输出潜力较大. 土地利用强度、化肥施用量对土壤养分含量有较显著的影响.

土壤中氮、磷、有机质含量不仅受施肥、灌溉和田间耕作等诸多因素影响, 也受到季节因素的影响. 需要重视的是, 各指标的高值出现在雨季(可能与当地追肥习惯有关), 易造成流失. 本文中各土壤养分指标间均存在显著正相关($P<0.01$), 反映了土壤

养分间存在内在平衡与耦合机制,其原因可能是由土壤缓冲体系的特征所决定,该体系特征有待进一步研究,以便用于指导施肥技术。

高强度利用的大棚区域土壤 pH 及有机质氮和磷含量明显异于人为扰动较小的林地和台地。高强度利用土地可能导致土壤系统质量变化、污染潜力的全面上升。滇池流域人均耕地面积显著下降、耕地迅速大棚化以及施肥量的剧增,可能导致耕地的面源污染潜力居高不下,并成为未来制约滇池生态环境恢复与改善的制约因素。因此,保有足够的平均耕地、降低施肥强度、注意养分的平衡施用、提高土地利用水平,是降低该区域面源污染潜力的重要措施。

参考文献

- [1] Gao M (高明), Yang H (杨浩). Distribution of soil nutrient and its environmental impact under different land utilization in Dounan of Dianchi watershed. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), 2006, **34**(23): 6255–6259 (in Chinese)
- [2] Guo X-D (郭旭东), Chen L-D (陈利顶), Fu B-J (傅伯杰). Effects of land use/land cover changes on regional ecological environment. *Advances in Environmental Science* (环境科学进展), 1999, **7**(6): 66–75 (in Chinese)
- [3] Ma Y (马云), He B-H (何丙辉), Chen X-Y (陈晓燕), et al. Distribution characteristics of the soil fertility in a slope under different land use. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2009, **23**(6): 118–122 (in Chinese)
- [4] Ma Q (马群), Zhao G-X (赵庚星). Effects of different land use types on soil nutrients in intensive agricultural region. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 2010, **25**(11): 1834–1844 (in Chinese)
- [5] Zhang P (张萍), Guo H-J (郭辉军), Dao Z-L (刀志灵), et al. Preliminary study on soil biochemical activities in Gaoligong Mountains. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2000, **37**(2): 275–279 (in Chinese)
- [6] Shi Y-X (史衍玺), Tang K-L (唐克丽). Changes of biological characteristics of soil quality under man-made accelerated erosion. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 1998, **4**(1): 28–33 (in Chinese)
- [7] Gong J (巩杰), Chen L-D (陈利顶), Fu B-J (傅伯杰), et al. Effects of land use and vegetation restoration on soil quality in a small catchment of the Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(12): 2292–2296 (in Chinese)
- [8] Warkentin BP. The changing concept of soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, **50**: 226–228
- [9] Yuan D-H (袁东海), Wang Z-Q (王兆骞), Chen X (陈欣), et al. Characteristics of nitrogen loss from sloping field in red soil area under different cultivation practices. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(7): 863–866 (in Chinese)
- [10] Editorial Board of Flora of Yunnan (《云南植物志》编委会). *Flora of Yunnan*. Beijing: Science Press, 1987 (in Chinese)
- [11] Bao S-D (鲍士旦). *Soil Agrochemistry Analysis*. Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese)
- [12] Xu Z-C (许自成), Wang L (王林), Xiao H-Q (肖汉乾). pH distribution and relationship to soil nutrient in Hunan tobacco lands. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2008, **16**(4): 830–834 (in Chinese)
- [13] Qiu L-P (邱莉萍), Zhang X-C (张兴昌). Effects of land use on soil properties in Ziwuling region. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), 2006, **21**(6): 965–972 (in Chinese)
- [14] Li D (李东), Wang Z-F (王子芳), Zheng J-B (郑杰炳), et al. Contents of soil organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium under different land-use patterns in purple hill area. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2009, **40**(2): 310–314 (in Chinese)
- [15] Pu Y-L (蒲玉琳), Xie D-T (谢德体), Qu M (屈明), et al. Effects of land use and landscape position on soil nutrient in hilly region of Chongqing west. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2010, **24**(5): 35–39 (in Chinese)
- [16] Ren C-Y (任春颖), Zhang B (张柏), Wang Z-M (王宗明), et al. Effects of land use type on soil nutrients in the semiarid area of western Jilin Province: A case study in Tongyu County of Jilin. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究) 2010, **28**(4): 206–212 (in Chinese)
- [17] Zhang S-R (张世熔), Sun B (孙波), Zhao Q-G (赵其国), et al. Analysis on influence factors for scale effect of soil nitrogen in hilly region. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27**(10): 4057–4064 (in Chinese)
- [18] Gao Y (高云), Yuan X-Y (袁旭音), Deng X (邓旭), et al. The research of nitrogen and phosphorus non-point source pollution of different land use in Huzhou area, Zhejiang Province. *Jiangsu Environmental Science and Technology* (江苏环境科技), 2006, **19**(6): 13–19 (in Chinese)
- [19] Wang Y-R (王月容), Zhou J-X (周金星), Zhou Z-X (周志翔), et al. Effects of different land use patterns under converting polders back into wetlands on soil nutrient pools in the Dongting Lake region. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 2010, **19**(6): 634–639 (in Chinese)
- [20] Liu M-Y (刘梦云), An S-S (安韶山), Chang Q-R (常庆瑞), et al. Features of soil chemical property under different land use. *Journal of Northwest A & F University* (Natural Science) (西北农林科技大学学报·自然科学版), 2005, **33**(1): 39–42 (in Chinese)
- [21] Gunther S, Holger K. Bulk soil C to N ratio as a simple measure of net N mineralization from stabilized soil organic matter in sandy arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*

- chemistry*, 2003, **35**: 629–632
- [22] Huang Q-Y (黄巧云). *Soil Science*. Beijing: China Agriculture Press, 2006 (in Chinese)
- [23] Zheng H (郑华), Su Y-R (苏以荣), He X-Y (何寻阳), et al. Effects of land use on soil nutrient in peak-forest valley: A case study in Dacai village of Huanjiang County, Guangxi. *Carsologica Sinica* (中国岩溶), 2008, **27**(2): 177–181 (in Chinese)
- [24] Hou X-Y (侯雪莹), Han X-Z (韩晓增), Wang S-Q (王树起), et al. Different land uses and management effects on soil fertilities in black soil. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2008, **22**(6): 99–103 (in Chinese)
- [25] Jiang Y (姜勇), Zhang Y-G (张玉革), Liang W-J (梁文举), et al. Profile distribution and storage of soil organic carbon in an aquic brown soil as affected by land use. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2005, **38**(3): 544–550 (in Chinese)
- [26] Qin S-J (秦胜金), Liu J-S (刘景双), Wang G-P (王国平), et al. Phosphorus fractions under different land uses in Sanjiang Plain. *Environmental Science* (环境科学), 2007, **28**(12): 2777–2782 (in Chinese)
- [27] Xu L-F (许联芳), Wang K-L (王克林), Zhu H-H (朱捍华), et al. Effects of different land use types on soil nutrients in Karst region of Northwest Guangxi. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(5): 1013–1018 (in Chinese)
- [28] Zhang N-M (张乃明), Yu Y (余扬), Hong B (洪波), et al. Factors influencing phosphorus loss by runoff process from farmlands in the Dianchi watershed. *Environmental Science* (环境科学), 2003, **24**(3): 155–157 (in Chinese)
- [29] Adejuwon JO, Ekanade O. A comparison of soil properties under different land use types in a part of the Nigerian cocoa belt. *Catena*, 1988, **15**: 319–331
- [30] Qi Y-B (齐雁冰), Huang B (黄标), Gu Z-Q (顾志权), et al. Spatial and temporal variation of C/N ratios of agricultural soils in typical area of Yangtze delta region and its environmental significance. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry* (矿物岩石地球化学通报), 2008, **27**(1): 50–55 (in Chinese)
- [31] Susan SA, Douglas LK, Cynthia AC. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, **68**: 1945–1962
- [32] Zhang H (张华), Zhang G-L (张甘霖), Qi Z-P (漆智平), et al. Systematic assessment of soil quality at farm level in tropical area of China. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2003, **40**(2): 186–193 (in Chinese)
- [33] Lu A-X (陆安祥), Zhao Y-L (赵云龙), Wang J-H (王纪华), et al. Distribution characteristics of nitrogen and phosphorus in agricultural soil profiles under different landuse. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27**(9): 3923–3929 (in Chinese)
- [34] Li X-A (李新爱), Xiao H-A (肖和艾), Wu J-S (吴金水), et al. Effects of land use type on soil organic carbon, total nitrogen, and microbial biomass carbon and nitrogen contents in Karst region of South China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(10): 1827–1831 (in Chinese)
- [35] Yu W-T (宇万太), Jiang Z-S (姜子绍), Li X-Y (李新宇), et al. Effects of land use type on soil organic carbon storage in aquic brown soil. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(12): 2760–2764 (in Chinese)
- [36] Woldeamlak B, Leo S. Effects of agro ecological land use succession on soil properties in Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Geoderma*, 2003, **111**: 85–95
- [37] Latty EF, Canham CD, Marks PL. The effects of land-use history on soil properties and nutrient dynamics in northern hardwood forests of the Adirondack Mountains. *Ecosystems*, 2004, **7**: 193–207

作者简介 陈春瑜,女,1986年生,硕士研究生。主要从事污染生态学研究。E-mail: chenchunyu0936@126.com

责任编辑 杨弘
