

滇池柴河流域不同土地利用方式土壤养分剖面分异

阳利永¹, 吴献花^{1,2}, 赵斌^{1,2}, 吴斌², 王泉^{1,2}

(1. 玉溪师范学院 资源环境学院, 云南 玉溪 653100;

2. 玉溪师范学院 玉溪高原湖泊生态环境研究中心, 云南 玉溪 653100)

摘要:基于滇池柴河流域土壤采样,研究了平坦设施农业、平坦传统农业、坡耕地、撂荒地和林地 5 种土地利用方式 0—100 cm 土壤养分剖面的分异特征,结果表明:(1) 不同土地利用方式土壤 0—100 cm 内 TN 含量排序为:设施农业>传统农业>撂荒地>坡耕地>林地,并且设施农业 TN 含量显著高于坡耕地和林地($P<0.05$)。不同土地利用方式间土壤 TN 含量的显著差异主要表现在 0—80 cm。土壤 TN 含量沿土层自上而下逐层降低,但在不同土地利用方式下,各土层间的差异不一致。(2) 不同土地利用方式土壤 0—100 cm 内 TP 含量排序为:传统农业>设施农业>坡耕地>林地>撂荒地,且不同土地利用方式间各个土层内土壤 TP 均无显著性差异。5 个土层 TP 均表现为撂荒地<林地<耕作土壤。土壤 TP 沿土层自上而下总体先降后升,但不同土地利用方式土壤 TP 随土层的变化趋势不尽一致。(3) 不同土地利用方式土壤 0—100 cm 内有机质含量排序为:设施农业>传统农业>撂荒地>坡耕地>林地,且设施农业有机质含量明显高于坡耕地和林地。在 5 个土层内,不同土地利用方式间土壤有机质差异不显著,只在 20—40 cm 土层内设施农业与坡耕地、林地之间达到显著性差异。土壤有机质含量沿土层自上而下逐层降低,但在不同土地利用方式下,各土层间的显著性差异不一致。

关键词:土地利用方式; 土壤养分; 垂直分布; 柴河流域

中图分类号:S153.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0095-05

Effects of Different Land Uses on Profile Variability of Soil Nutrients in Chaihe Basin of Dianchi Lake

YANG Li-yong¹, WU Xian-hua^{1,2}, ZHAO Bin^{1,2}, WU Bin², WANG Quan^{1,2}

(1. Colleges of Resources and Environment, Yuxi Normal University, Yuxi, Yunnan 653100, China;

2. Yuxi Research Center of Ecological Environment of Plateau Lakes, Yuxi Normal University, Yuxi, Yunnan 653100, China)

Abstract: The vertical distributions of soil nutrients in the profile of 0—100 cm depth under different land uses such as flat facility agriculture, flat traditional agriculture, slop land, abandoned land and woodlands in the Chaihe Basin of Dianchi Lake were investigated, and the effect of different land uses on nutrient distribution was discussed. The results indicated that: (1) the rank order of total nitrogen (TN) contents in the soils of 0—100 cm depth for different land uses was facility agriculture>traditional agriculture>abandoned land>slop land>woodland, and the TN concentrations in the soil with facility agriculture were significantly higher than these in slope land and woodland ($P<0.05$). The distribution of TN contents showed significant difference primarily in the depth of 0—80 cm. The TN contents decreased from top to bottom in the soil profile. However, it has significant differences between different soil layers for different land uses; (2) the contents of soil total phosphorus (TP) in the depth of 0—100 cm for different land uses followed the order of traditional agriculture>facility agriculture>slope land>woodland>abandoned land, and it didn't show significant difference in the depth of 0—100 cm. The contents of soil TP at five soil layers followed the order of abandoned land<woodland<cultivated land. The contents of soil TP firstly decreased and then increased from top to bottom in the soil profile, but it showed a difference for different land uses; (3) the contents of soil organic matter (SOM) in the depth of 0—100 cm for different land uses follow the order of facility agri-

收稿日期:2012-03-07

修回日期:2012-04-29

资助项目:国家水专项“滇池流域水污染治理及湖泊富营养化综合控制技术与示范”(2009ZX07102-4)

作者简介:阳利永(1983—),男,湖南衡阳人,硕士,助教,主要从事农村土地利用与管理研究。E-mail: yangliyong@yxnu.net

通信作者:吴献花(1971—),女,云南大理人,硕士,教授,主要从事湖泊生态修复研究。E-mail: xhw105@163.com

culture>traditional agriculture>abandoned land>slop land>woodland, and the SOM in the facility agriculture is significantly higher than these in the slop land and woodland. It didn't show significant difference between land uses in five soil layers but for the difference between facility agriculture and slop land or woodland in the depth of 20—40 cm. The contents of SOM decreased in soil depths down the soil profile. However, it has significant differences between different soil layers under different land uses.

Key words: land use; soil nutrient; vertical distribution; Chaihe Basin

滇池是国家重点治理的“三湖三河”之一,在滇池入湖污染负荷中,农业面源污染是主要污染源之一^[1]。柴河流域面积约占滇池流域面积的 10.48%,作为滇池主要入湖河流之一,柴河流域的面源污染控制对减少滇池面源污染具有重要意义。近年来,关于不同土地利用方式对土壤养分含量及其垂直分布的影响,不少学者分别基于不同研究区域探讨了土地利用方式对土壤养分的影响。其中,耕地利用方式下主要涉及设施农业^[2-4]、传统农业^[5-7]、坡耕地^[8-9]、撂荒地^[10-12]等,对耕地利用方式的研究以单一研究为主,缺乏系统化研究。农业生产中氮、磷的过量使用不仅仅对地表水造成污染,而且会通过淋溶作用对地下水造成污染^[5]。因而农业土壤剖面养分分布与流域面源污染密切相关,如因过量施肥而不断积累于土壤剖面中的养分的持续释放则可能使农业土壤成为流域面源污染的持久来源。本研究选择滇池柴河小流域为研究区,研究设施农业、传统农业、坡耕地、撂荒地和林地 5 种不同土地利用方式对土壤养分剖面分布的影响,以期为流域面源污染治理提供参考依据。

1 研究区概况

柴河流域位于滇池流域南部,处于云南省昆明市晋宁县境内,东经 102°36'—102°43',北纬 24°28'—24°43'。柴河流域面积 193.6 km²,辖晋宁县六街乡和上蒜乡,涉及 24 个行政村。其中,六街乡 9 个村,上蒜乡 15 个村。六街乡地处山区、半山区,属三县交界。上蒜乡北部为 5 个坝区村,南部为 8 个半山区村、2 个山区村。柴河流域方山丘陵连绵起伏,平坝、台地分布其间。研究区属低纬度高原亚热带季风气候,年平均气温 15.0℃,年平均日照 2 372.2 h,日照率为 54%,年平均降水量 900.7 mm,主导风向为西南风。柴河流域土壤以砂岩、砾岩发育的红壤为主,局部有黄棕壤分布。种植用地以旱地为主,主要种植玉米、蔬菜、花卉等。

2 材料与方法

2.1 不同土地利用方式样点选定

根据柴河流域土地利用现状,选取柴河流域内最

主要的两大农用地(耕地和林地)作为研究对象。同时,将耕地划分为平坦耕地、坡耕地和撂荒地 3 类,将平坦耕地进一步区分为设施农业和传统农业两种用地方式。

首先以土地利用现状图为底图,在 2 km×2 km 网格内初步布设土壤采样点,之后使用手持 GPS 现场踏勘定点。最终共确定样点 50 个,设施农业、传统农业、坡耕地、撂荒地、林地样点分别为 5,7,19,4,15 个。

2.2 土壤样品采集与分析

于 2010 年 7 月在柴河流域内进行土壤样品采集。在去除土壤表面落叶等后,对 5 种土地利用方式土壤分 5 层进行采样:0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm,重复采样 3 次,取其算术平均值作为该层样点的土壤养分含量。土壤测定项目主要包括:全氮(TN)、全磷(TP)、有机质(SOM),土壤 TN、TP、有机质含量测定分别采用凯氏蒸馏法、酸溶—钼锑抗比色法和重铬酸钾容量法。

2.3 数理统计方法

样点数据采用 SPSS 13.0 进行统计分析。采用单因素方差分析(One—Way ANOVA)对不同土地利用方式、不同土层之间土壤养分在 $\alpha=0.05$ 上的显著性差异进行分析和检验,不同处理间的多重比较采用最小显著差异法(LSD 法)。

3 结果与分析

3.1 不同土地利用方式土壤 TN 剖面分异

由表 1 可知,不同土地利用方式土壤 0—100 cm 内 TN 含量排序为:设施农业(1.13 g/kg)>传统农业(0.90 g/kg)>撂荒地(0.68 g/kg)>坡耕地(0.65 g/kg)>林地(0.60 g/kg),且设施农业 TN 含量显著高于坡耕地和林地。设施农业 5 个土层土壤 TN 含量均高于其它土地利用方式;传统农业除 0—20 cm 土层土壤 TN 含量略低于撂荒地外,其它土层土壤 TN 含量均高于撂荒地、坡耕地和林地,为土壤 TN 含量次高的土地利用方式;林地除 40—60,80—100 cm 土层土壤 TN 含量略高于撂荒地外,其它土层 TN 含量均低于其它土地利用方式土层土壤 TN 含量,为土壤 TN 含量最低的土地利用方式。

表 1 不同土地利用方式下不同土层土壤 TN 含量 g/kg

土层/cm	设施农业(n=5)	传统农业(n=7)	坡耕地(n=19)	撂荒地(n=4)	林地(n=15)	总量(n=50)
0—20	1.69±0.47Aa	1.09±0.33Ba	0.98±0.36Ba	1.17±0.80ABa	0.93±0.56Ba	1.07±0.51
20—40	1.53±0.53Aab	1.04±0.34Ba	0.74±0.37BCb	0.89±0.33BCab	0.62±0.44Cb	0.83±0.47
40—60	1.01±0.50Abc	0.95±0.32ABab	0.62±0.38BCbc	0.54±0.3BCab	0.59±0.37Cb	0.69±0.40
60—80	0.80±0.30ABc	0.8±0.47Aab	0.5±0.3ABc	0.46±0.28ABb	0.45±0.39Bb	0.55±0.37
80—100	0.63±0.32Ac	0.6±0.46Ab	0.43±0.25Ac	0.36±0.41Ab	0.39±0.3Ab	0.46±0.32
0—100	1.13±0.40A	0.9±0.32AB	0.65±0.28B	0.68±0.37AB	0.6±0.38B	0.72±0.37

注:同行中不同大写字母表示不同土地利用方式间差异显著($P<0.05$),同列中不同小写字母表示不同土层间差异显著($P<0.05$),下同。

方差分析显示,不同土地利用方式间土壤 TN 含量的显著差异主要表现在 0—80 cm,在 80—100 cm 土层差异不显著。在 0—20 cm 土层中,设施农业土壤 TN 含量显著高于传统农业、坡耕地和林地($P<0.05$),而撂荒地与其它土地利用方式间差异不显著,设施农业土壤 TN 含量(1.69 g/kg)分别是传统农业、坡耕地、撂荒地和林地土壤的 1.6,1.7,1.4,1.8 倍;在 20—40 cm 土层中,设施农业土壤 TN 含量显著高于其它土地利用方式,传统农业土壤 TN 含量又显著高于林地土壤 TN 含量,设施农业土壤 TN 含量(1.53 g/kg)分别是传统农业、坡耕地、撂荒地和林地土壤的 1.5,2.1,1.7,2.5 倍;在 40—60 cm 土层中,设施农业土壤 TN 含量显著高于坡耕地和林地,传统农业土壤 TN 含量显著高于林地土壤 TN 含量;在 60—80 cm 土层中,传统农业土壤 TN 含量显著高于林地土壤 TN 含量;在 80—100 cm 土层中,各土地利用方式间则无显著性差异。

从表 1 还可看出,土壤 TN 含量沿土层自上而下逐层降低,但在不同土地利用方式下,各土层间的差异性不一致。在设施农业方式下,0—20 cm 土层与 40—60,60—80,80—100 cm 土层差异显著,20—40 cm 土层又与 60—80,80—100 cm 土层差异显著;在传统农业方式下,80—100 cm 土层与 0—20,20—40 cm 土层差异达到显著水平,其它土层间则无显著性差异;在坡耕地方式下,0—20 cm 土层与其它 4 个土层差异均达到显著水平,20—40 cm 土层又与 60—80,80—100 cm 土层差异显著;在撂荒地方式下,0—20 cm 土层与 60—80,80—100 cm 土层差异显著,其它土层间则无显著性差异;在林地方式下,除 0—20 cm 土层与其它 4 个土层差异均达到显著水平外,其它土层间则无显著性差异。

3.2 不同土地利用方式土壤 TP 剖面分异

由图 1 可见,不同土地利用方式土壤 0—100 cm 内 TP 含量排序为:传统农业(2.81 g/kg)>设施农业(2.63 g/kg)>坡耕地(2.27 g/kg)>林地(0.89 g/kg)>撂荒地(0.38 g/kg),且方差分析显示,在各个土层内不同土地利用方式间土壤 TP 含量均无显著

性差异($P<0.05$)。在不同土层内,不同土地利用方式土壤 TP 含量不一致:0—20 cm 土层 TP 含量的大小顺序为设施农业>传统农业>坡耕地>林地>撂荒地;20—40,40—60,60—80 cm 土层 TP 含量的大小顺序为传统农业>设施农业>坡耕地>林地>撂荒地;80—100 cm 土层 TP 含量的大小顺序为传统农业>坡耕地>设施农业>林地>撂荒地。5 个土层 TP 含量均表现为撂荒地<林地<耕作土壤(设施农业、传统农业、坡耕地)。同时,除 80—100 cm 土层坡耕地土壤 TP 含量大于设施农业外,坡耕地土壤各土层 TP 含量均低于设施农业和传统农业;除 0—20 cm 土层外,设施农业其它土层 TP 含量均低于传统农业。在 0—100 cm 内,不同土地利用方式土壤 TP 平均值的大小顺序为传统农业>设施农业>坡耕地>林地>撂荒地,传统农业、设施农业、坡耕地、林地土壤 TP 含量分别为撂荒地土壤 TP 含量的 6.9,7.4,6.0,2.3 倍。

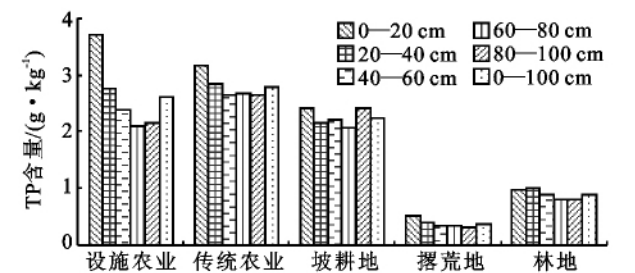


图 1 不同土地利用方式下不同土层土壤 TP 含量

从图 1 亦可知,土壤 TP 含量沿土层自上而下总体先降后升,但不同土地利用方式土壤 TP 含量随土层的变化趋势不尽一致。随土层自上而下,不同土地利用方式土壤各土层 TP 含量变化趋势为:设施农业和传统农业呈先降后升的“V”型,坡耕地呈先降后升再降再升的“W”型,撂荒地呈逐层“递减”型,林地呈先升后降的“倒 V”型。除设施农业方式下的 0—20 cm 土层与 40—60,60—80,80—100 cm 土层存在显著性差异外,其它土地利用方式下各土层间均无显著性差异。

3.3 不同土地利用方式土壤有机质剖面分异

由表 2 可知,不同土地利用方式土壤 0—100 cm

内有机质含量排序为:设施农业(13.39 g/kg) > 传统农业(11.16 g/kg) > 撂荒地(9.66 g/kg) > 坡耕地(9.32 g/kg) > 林地(9.08 g/kg),并且设施农业有机质含量显著高于坡耕地和林地土壤中有机质含量($P < 0.05$)。由此可见,在 0—100 cm 内,土壤有机质与 TN 平均值的大小顺序及其在不同土地利用方式间的显著性差异非常一致,这是因为土壤有机质与 TN 之间往往显著相关^[13-14]。

设施农业 5 个土层土壤有机质含量均高于其它土地利用方式土壤有机质含量;传统农业土壤除 0—

20 cm 土层土壤有机质含量低于坡耕地、撂荒地和林地外,其它土层土壤有机质含量均高于撂荒地、坡耕地和林地土壤含量,为土壤有机质含量次高的土地利用方式;林地除 0—20 cm 土层土壤有机质含量高于坡耕地和传统农业、40—60 cm 土层土壤有机质含量高于坡耕地和撂荒地外,其它土层有机质含量均低于其它土地利用方式,为土壤有机质含量最低的土地利用方式。在 0—100 cm 土壤内,设施农业土壤有机质含量分别为传统农业、坡耕地、撂荒地和林地的 1.2, 1.4, 1.4, 1.5 倍。

表 2 不同土地利用方式下不同土层土壤有机质含量

g/kg

土层/ cm	土地利用方式					总量(n=50)
	设施农业(n=5)	传统农业(n=7)	坡耕地(n=19)	撂荒地(n=4)	林地(n=15)	
0—20	18.14±3.76Aa	13.4±3.38Aa	14.33±4.74Aa	16.32±11.27Aa	15.08±6.63Aa	14.97±5.73
20—40	17.21±4.3Aa	13.26±3.85ABa	10.3±4.6Bb	12.08±3.38ABab	9.77±4.34Bb	11.39±4.74
40—60	12.72±5.74Aab	12.47±2.53Aa	8.7±4.66Abc	7.3±3.79Ab	9.02±6.03Abc	9.62±5.07
60—80	10.21±4.84Ab	9.74±4.03Aab	6.78±3.7Ac	6.46±2.39Ab	6.34±5.05Abc	7.38±4.33
80—100	8.68±4.54Ab	6.91±4.06Ab	6.51±3.42Ac	6.14±4.38Ab	5.21±3.69Ac	6.36±3.75
0—100	13.39±4.48A	11.16±3.06AB	9.32±3.46B	9.66±4.34AB	9.08±4.29B	9.94±3.92

方差分析显示,在 5 个土层内,不同土地利用方式间土壤有机质含量的差异并不显著,只在 20—40 cm 土层内设施农业与坡耕地、林地之间达到显著性差异。

从表 2 还可知,土壤有机质含量沿土层自上而下逐层降低,但在不同土地利用方式下,各土层间的差异不一致。在设施农业方式下,0—20,20—40 cm 土层与 60—80,80—100 cm 土层差异显著,其它土层间则无显著性差异;在传统农业方式下,80—100 cm 土层与 0—20,20—40,40—60 cm 土层差异达到显著水平,其它土层间则无显著性差异;在坡耕地方式下,0—20 cm 土层与其它 4 个土层差异均达到显著水平,20—40 cm 土层又与 60—80,80—100 cm 土层差异显著;在撂荒地方式下,0—20 cm 土层与 40—60,60—80,80—100 cm 土层差异显著,其它土层间则无显著性差异;在林地方式下,0—20 cm 土层与其它 4 个土层差异均达到显著水平,20—40 cm 土层又与 80—100 cm 土层差异显著。

4 结论与讨论

本研究基于滇池柴河流域的土壤采样,研究了设施农业、传统农业、坡耕地、撂荒地和林地 5 种土地利用方式 0—100 cm 土壤养分剖面的分异特征,研究得出:

(1) 不同土地利用方式土壤 0—100 cm 内 TN 含量排序为:设施农业 > 传统农业 > 撂荒地 > 坡耕地 > 林地,并且设施农业 TN 含量显著高于坡耕地和林地。

不同土地利用方式间土壤 TN 含量的显著差异主要表现在 0—80 cm,而 80—100 cm 土层差异不显著。说明农业耕作活动的强弱影响土壤 TN 含量。耕作过的土壤(设施农业、传统农业、撂荒地和坡耕地)由于施用过氮肥,致使其土壤 TN 含量均高于未耕作过的林地。并且,由于耕作者的偏好,平坦耕地(设施农业和传统农业)相对较多地施用氮肥,导致氮素累积于土壤中,从而使其土壤 TN 含量高于撂荒地、坡耕地和林地。然而,由于设施农业比传统农业更多地施用氮肥,使设施农业与坡耕地和林地土壤在 0—100 cm 内的 TN 含量达到显著性差异,而传统农业与其他土地利用方式间则未达到显著性差异。这与赵瑞芬^[7]、张玉斌^[9]、马群^[14]等的研究较为一致。由此表明,农业耕作特别是设施农业的发展可能是造成研究区内面源污染的原因之一。土壤 TN 含量沿土层自上而下逐层降低,但在不同土地利用方式下,各土层间的显著性差异不一致,但总体而言,表层土壤与底层土壤的 TN 含量往往达到显著性差异,这与王洪杰^[13]等的研究一致。

(2) 不同土地利用方式土壤 0—100 cm 内 TP 含量排序为:传统农业 > 设施农业 > 坡耕地 > 林地 > 撂荒地,且在各个土层内不同土地利用方式间土壤 TP 含量均无显著性差异。5 个土层 TP 含量均表现出撂荒地 < 林地 < 耕作土壤(设施农业、传统农业、坡耕地)。这也说明人类耕作活动影响土壤 TP 的含量。土壤 TP 含量沿土层自上而下总体先降后升,但不同土地利用方式土壤 TP 含量随土层的变化趋势不尽一致。

土壤 TP 含量由于沿土层有所波动,因而在各土层间并未表现出显著性差异,这与王洪杰^[13]等的研究一致,但与陆安祥^[5]的研究不一致。这可能与土壤母质或耕作者的施肥习惯有关,还需进一步研究证实。

(3) 不同土地利用方式土壤 0—100 cm 内有机质含量排序为:设施农业>传统农业>撂荒地>坡耕地>林地,并且设施农业有机质含量显著高于坡耕地和林地。在 5 个土层内,不同土地利用方式间土壤有机质含量差异不显著,只在 20—40 cm 土层内设施农业与坡耕地、林地之间达到显著性差异。土壤有机质含量沿土层自上而下逐层降低,但在不同土地利用方式下,各土层间的显著性差异不一致。由此可见,土壤有机质含量与土壤 TN 含量在不同土地利用方式间的含量排序及其剖面分布方面表现出较高的一致性,这与两者往往表现出较强相关性的结论是一致的。然而,土壤有机质与土壤 TN 含量在不同土地利用方式间的显著性差异并不一致。这是因为土壤有机质比土壤氮素更易受环境因素的影响,导致其在土壤剖面中的含量偏离人类耕作活动的控制。

参考文献:

- [1] 段永蕙,张乃明. 滇池流域农村面源污染状况分析[J]. 环境保护,2003(7):28-30.
- [2] Zhao G X, Li X J, Wang R Y, et al. Soil nutrients in intensive agricultural areas with different land-use types in Qingzhou County, China[J]. Pedosphere, 2007, 17(2):165-171.
- [3] 罗春燕,张维理,雷秋良,等. 嘉兴农村不同土地利用方式下沟渠底泥中的氮磷形态分布特征[J]. 环境科学研究,2009,22(4):415-420.
- [4] 曾希柏,白玲玉,李莲芳,等. 山东寿光不同利用方式下农田土壤有机质和氮磷钾状况及其变化[J]. 生态学报,2009,29(7):3737-3746.
- [5] 陆安祥,赵云龙,王纪华,等. 不同土地利用类型下氮、磷在土壤剖面中的分布特征[J]. 生态学报,2007,27(9):3923-3929.
- [6] 陈伏生,曾德慧,陈广生,等. 土地利用变化对沙地土壤全氮空间分布格局的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(6):953-957.
- [7] 赵瑞芬,张一弓,张强,等. 不同土地利用方式对土壤养分状况的影响:以太原市为例[J]. 中国农学通报,2011,27(14):262-266.
- [8] 刘世梁,傅伯杰,吕一河,等. 坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响[J]. 生态学报,2003,23(3):414-420.
- [9] 张玉斌,吴发启,曹宁,等. 泥沟流域不同土地利用土壤养分分析[J]. 水土保持通报,2005,25(2):23-26.
- [10] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等. 黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(12):2292-2296.
- [11] 王鑫,刘建新,张希彪,等. 黄土高原半干旱地区土地利用变化对土壤养分、酶活性的影响研究[J]. 水土保持通报,2007,27(6):50-55.
- [12] 胡江玲,张高,赵枫,等. 新疆精河流域不同土地利用方式对土壤质量的影响[J]. 水土保持研究,2010,17(4):92-99.
- [13] 王洪杰,李宪文,史学正,等. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系[J]. 水土保持学报,2003,17(2):44-46,50.
- [14] 马群,赵庚星. 集约农区不同土地利用方式对土壤养分状况的影响[J]. 自然资源学报,2010,25(11):1834-1844.

(上接第 94 页)

- [7] Miller R E, VerHoef J M, Fowler N L. Spatial heterogeneity in eight central Texas grassland[J]. Journal of Ecology,1995,83(6):919-928.
- [8] Dutilleul P, Legendre P. Spatial heterogeneity against heteroscedasticity: an ecological paradigm versus a statistical concept[J]. Oikos,1993,66(1):152-167.
- [9] 王根绪,郭晓寅,程国栋. 黄河源区景观格局与生态功能的动态变化[J]. 生态学报,2002,22(10):1587-1598.
- [10] 张素梅,王宗明,闰百兴,等. 辉发河流域景观格局与土壤侵蚀的关系研究[J]. 生态学报,2008,22(3):29-35.
- [11] 查轩,张萍. 基于 GIS 的重要水源地东圳库区土壤侵蚀与景观格局分析[J]. 水土保持学报,2007,21(3):43-47.
- [12] 崔卫国,文倩,吴大放,等. 基于 DEM 的土壤理化性质空间统计与三维表达:以醴陵市为例[J]. 地理与地理信息科学,2007,23(3):78-82.