

黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应

王国梁^{1,2}, 刘国彬^{1,2}, 许明祥^{1,2}

(1. 中国科学院 教育部 水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100;
2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 经过 20 a 多的人工恢复和封禁措施, 纸坊沟流域内的植物群落对土壤养分产生明显影响, 植被对土壤养分的作用表现为, 在植被作用下土壤有机质、全氮、水解氮、全磷、速效磷向土壤上层富集, 但不同植被对养分的影响不同。从土壤剖面来看, 植被对 0-20 cm 土壤养分作用大于 20-40 cm; 从植被生活型来看, 草本对 0-40 cm 土壤养分的提高作用大于乔木和灌木。土壤全氮与土壤有机质之间有良好的线性相关关系, 土壤全磷与土壤有机质之间也有一定的线性相关关系, 其中 0-20 cm 相关性好, 但 20-40 cm 相关性较差, 说明土壤有机质的累积和分解对土壤全磷和全氮有重要影响。

关键词: 小流域; 植被恢复; 养分效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)01-0001-05

中图分类号: S714.8

Effect of Vegetation Restoration on Soil Nutrient Changes in Zhifanggou Watershed of Loess Hilly Region

WANG Guo-liang^{1,2}, LIU Guo-bin^{1,2}, XU Ming-xiang^{1,2}

(1. Research Centre of Soil and Water Conservation & Eco-environment, Chinese Academy of Sciences and Education Ministry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract Through more than 20 years artificial vegetation restoration and stopping grazing in Zhifanggou watershed, the plant communities had obvious effect on the soil nutrient by vegetation accumulation on the top of the soil with various effect of different plant. The content of nutrient in the profile of soil in 0-20 cm was higher than that in 20-40 cm, and the increasing effect on soil nutrient by herbage communities was clearer than by arboreal communities and by bush communities. In addition, the content of nitrogen had a linear correlativity with the organic matter content. The content of phosphorus had a linear correlativity with organic matter too. However, in 20-40 cm soil layer, the relationship of linear correlativity was not significant.

Keywords small watershed; vegetation restoration; effect of nutrient

土壤养分的空间分布状况是土壤、植被和周围环境共同作用的结果。植被对土壤的影响表现在植物根系对土壤的挤压、穿插和分割作用; 死亡根系和枯枝落叶产生的有机质及根际分泌物对土壤性质的影响; 植物对土壤中营养元素的富集和再分配作用; 植被防止或减轻水土流失引起的养分损失。由于不同植物对不同元素的选择吸收以及吸收能力的不同, 必然造成土壤剖面上养分差异。同时, 土壤养分状况反过来又对植被的生长状况产生影响。因此, 研究植被恢复后不同植被下的土壤养分变异特征不仅可以反映植被恢复对土壤养分的影响状况, 同时为植被恢复的环境评价提供依据。

1 研究区概况及研究方法

纸坊沟流域(36°51'N, 109°19'E)位于陕西省安塞县, 属黄土丘陵沟壑区第II副区。流域面积 8.27 km², 海拔 1010-1431 m。在气候区划上属暖温带半干旱气候, 年均降雨量 549.1 mm, 年均气温为 8.8°C。土壤类型为黄绵土。经过 20 a 多的综合治理, 流域植被基本得到恢复, 目前流域有高等植物 48 科 160 种, 植被平均盖度达到 60% 以上。

选取纸坊沟流域内 12 个主要的植物群落并选择对照荒地 1 个(群落样地描述见表 1), 其中人工群落有建造 25 a 的沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、柠条

收稿日期: 2001-10-06

资助项目: 中科院知识创新项目(KZCX1-06); 国家重点基础研究发展规划项目(G2000018606)

作者简介: 王国梁(1971-), 男(汉族), 陕西西安人, 水土保持研究所读硕士研究生, 主要研究方向为植被恢复与环境效应。

电话 (029) 7010514

(*Caragana korshinski*), 刺槐 (*Robinia pseudoacacia*), 油松 (*Pinus tabulaeformis*) 群落和建造 17a 的苹果 (*Malus pumila*) 群落, 天然群落有退耕初期的茵陈蒿 (*Artemisia capillaries*) 群落, 恢复初期的铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*), 芨蒿 (*Artemisia giraldi*), 白羊草 (*Bothriochloa ischemum*), 长芒草 (*Stipa bungeana*), 厚穗宾草 (*Aneurolepidium dasystachys*) 和恢复中期的狼牙刺 (*Sophora*

vivifolia) 群落。测定各群落下土壤养分含量, 土壤剖面取 0–20 cm 和 20–40 cm 养分测定采用国家标准^[1], 测定项目包括有机质、全氮、水解氮、全磷、速效磷。有机质的测定采用重铬酸钾氧化—外加热法, 全氮采用半微量开氏法, 水解氮采用碱解扩散法, 全磷采用氢氧化钾碱熔—钼锑抗比色法, 速效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法。

表 1 主要群落的采样点描述

项目	刺槐	油松	苹果	柠条	沙棘	狼牙刺	白羊草	长芒草	铁杆蒿	芨蒿	厚穗宾草	茵陈蒿	对照荒地
坡度	23°	27°	18°	22°	27°	15°	35°	32°	21°	30°	0	0	0
坡向	东南	西北	东北	西北	东北	东南	东南	东北	北	西南	—	—	—
地形	梁峁下部	梁峁下部	梁峁中部	梁峁上部	沟坡中部	沟坡上部	沟坡上部	沟坡上部	沟坡中部	梁峁上部	沟道	梁峁顶部	梁峁顶部
干扰	轻度	轻度	中度	中度	轻度	轻度	无扰	无扰	无扰	无扰	无扰	无扰	无扰

2 结果分析

2.1 植被恢复的土壤有机质效应

2.1.1 土壤有机质的空间变异 从土壤剖面层次来看, 0–20 cm 和 20–40 cm 有机质的变异规律为上层变异程度大于下层 (表 2), 这可能与上层不仅受植物根系影响, 而且受枯枝落叶及环境影响较大有关。

表 2 有机质空间变异的一般性描述

生活型	剖面 / cm	最小值 / %	最大值 / %	平均数 / %	标准差	变异系数
乔木	0–20	0.53	1.60	0.923	0.589	0.632
	20–40	0.37	0.95	0.579	0.320	0.553
灌木	0–20	0.71	1.49	0.993	0.432	0.435
	20–40	0.54	0.62	0.593	0.050	0.080
草本	0–20	0.29	1.76	0.891	0.487	0.547
	20–40	0.41	1.30	0.743	0.39	0.525

注: 表中乔木灌木的统计例数皆为 3, 草本为 6

从生活型来看, 有机质的变异为乔木林大于草本, 草本大于灌木林, 但 0–20 cm 和 20–40 cm 剖面

差异程度不同, 0–20 cm 乔灌木土壤有机质含量的变异程度不明显, 20–40 cm 土壤有机质含量变异较大, 其中灌木的变异程度明显小于乔木和草本, 乔木之间差异不明显 (图 1)。

2.1.2 不同植被下土壤有机质含量变化分析 根据彭祥林等测定^[2], 黄绵土表层有机质含量为 0.43%–0.80%, 以下土层有机质含量为 0.15%–0.30%。在纸坊沟 12 个主要植物群落中, 乔灌木群落土壤表层的有机质含量平均值均大于 0.8% (表 2), 20–40 cm 平均值也大于 0.3%, 反映了植被对土壤有机质明显的积累作用, 同时也说明植被对坡地养分流失有明显的防止或减轻作用。对剖面口下层养分进行对比发现, 在 12 个植物群落中, 除厚穗宾草群落外, 土壤有机质含量均表现为 0–20 cm 大于 20–40 cm。厚穗宾草出现异常的原因是其生长在沟道坝地中, 由于径流带来的土壤颗粒不断在表层沉积, 每年形成的有机质部分被径流冲走, 部分被掩埋在下层, 从而不仅出现了上层有机质小于下层, 而且在所有群落中有机质含量也最低的现象。

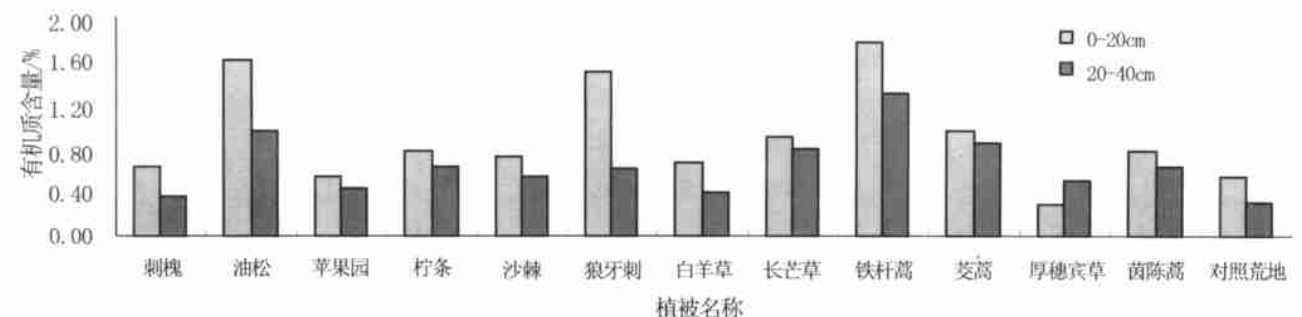


图 1 不同植被下土壤剖面有机质含量

在乔木林中,油松林下有机质含量最高(上下层分别为 1.6% 和 0.9%),这可能与油松林下草本植被生长较好有关。有关研究表明,植物细根具有较高的生长速率和死亡分解率,年周转率多在 0.5~1.2 次/a 之间^[3],对 0~40 cm 土壤剖面而言,细根对土壤有机质含量的提高作用明显。油松林初植密度小,林下草本生长较好,草本盖度可达 30%~50%,而刺槐林下草本盖度仅 2% 左右,由于草本对表层土壤有机质的影响较乔木大,所以有机质含量较高。此外,油松林下有机质含量高的另一个原因可能是油松生长在阴坡,阴坡较阳坡阴湿,有利于有机质积累。苹果园下有机质含量最低,这与苹果园种植密度小,长期无施肥措施,且林下缺乏草本植被有关。

灌木林中狼牙刺林下有机质含量最高(1.49% 和 0.62%),因为狼牙刺为天然林,林下草本盖度较大,可达 40%~50%,而柠条和沙棘为人工纯林,林下草本盖度较小,尚不足 10%。同样,由于草本对表层有机质的提高大于灌木,所以在狼牙刺林下有机质含量较高。

草本群落中,基本表现为阴坡(铁杆蒿群落)>半阴坡(长芒草)>阳坡(芨芨草、白羊草)和峁顶撂荒地(茵陈蒿)>沟道坝地(厚穗宾草)。铁杆蒿群落生物量

最高,所以有机质积累多,又由于其生长在阴坡,有机质分解慢,所以有机质含量高。芨芨草、白羊草和茵陈蒿分别测自阳坡和峁顶,植被盖度和生物量小,每年形成的有机质本身就少,加上阳坡温度高而水分含量小,微生物活性强,有机质分解快,所以有机质含量低;长芒草介于上述两类之间;厚穗宾草有机质含量低是其特殊的环境造成,生物量和有机质分解快慢不是主要影响因素。

2.2 植被恢复的土壤氮素效应

在黄土高原草地土壤生态系统中,氮素是草地产量的主要限制因子。在自然状态下,草地生态系统中的氮素依自然生态环境而循环。具体到纸坊沟流域,经过 20 a 多的封育恢复,植被有效盖度达到了 60% 以上,有效防止了由于水土流失引起的氮素损失,同时由于采取封育措施,因放牧产生的土壤养分水平迁移也被消除,有利于系统内氮素的富集。

2.2.1 土壤全氮/水解氮的空间变异 从土壤剖面层次来看(表 3),全氮上层变异系数大于下层。从生活型来看,全氮含量表现为草本的变异程度大于乔木,乔木大于灌木;但水解氮却表现为乔木大于灌木,灌木大于草本,说明不同生活型植被对不同形态的氮富集作用不同。

表 3 全氮/水解氮空间变异的一般性描述

生活型	剖面 / cm	统计例数	最小值		最大值		平均数		标准差		变异系数	
			全氮	水解氮	全氮	水解氮	全氮	水解氮	全氮	水解氮	全氮	水解氮
乔木	0-20	3	0.040	29.20	0.099	65.90	0.060	40.04	0.030	19.33	0.500	0.439
	20-40	3	0.035	23.10	0.058	45.50	0.044	34.37	0.012	11.20	0.273	0.326
灌木	0-20	3	0.050	36.05	0.090	60.80	0.060	45.87	0.020	13.14	0.333	0.286
	20-40	3	0.035	32.30	0.412	38.40	0.038	35.80	0.003	3.14	0.156	0.088
草本	0-20	6	0.020	29.60	0.110	75.40	0.050	44.35	0.03	16.88	0.600	0.381
	20-40	6	0.028	27.90	0.723	65.90	0.046	43.38	0.016	13.53	0.348	0.312

注:表中全氮和水解氮的单位分别为%和 mg/kg

2.2.2 不同植被下土壤全氮/水解氮含量分析 黄土高原土壤生态系统的氮素主要决定于生物量的积累和土壤有机质分解的强度。植被类型、水热状况和土壤侵蚀的强度等都影响其含量^[4,5]。由于纸坊沟流域土壤生态系统近似于一个封闭系统,因此,土壤氮素的含量主要取决于生物量的积累和有机质的分解强度。图 2 表明,除厚穗宾草因所处地形位置比较特殊有反常外,其余群落土壤 0~20 cm 全氮含量均大于 20~40 cm,反映了土壤氮素垂直迁移主要是土壤氮素在成壤作用下向表层富集这一规律。这和有机质的变化规律一致,但水解氮的变化与全氮的变化有所不同,表现在苹果园、沙棘、长芒草表层土壤水解氮含

量大于下层,其余群落与全氮变化规律基本一致,说明不同植被对不同形态的氮作用不同,不同植被下土壤剖面水解氮含量详见图 3。

2.2.3 土壤全氮与土壤有机质的关系 从图 2 还可以看出,不同生活型植被对土壤全氮的影响与土壤有机质的变化规律也比较一致,反映了土壤有机质积累对土壤氮素含量的主导作用。对此,我们对土壤全氮与土壤有机质的关系做回归分析。

土壤 0~20 cm 剖面全氮含量与有机质含量之间的关系可以用下面方程拟合:

$$y = 0.007 + 0.055x$$

式中:Y——全氮含量;X——有机质含量

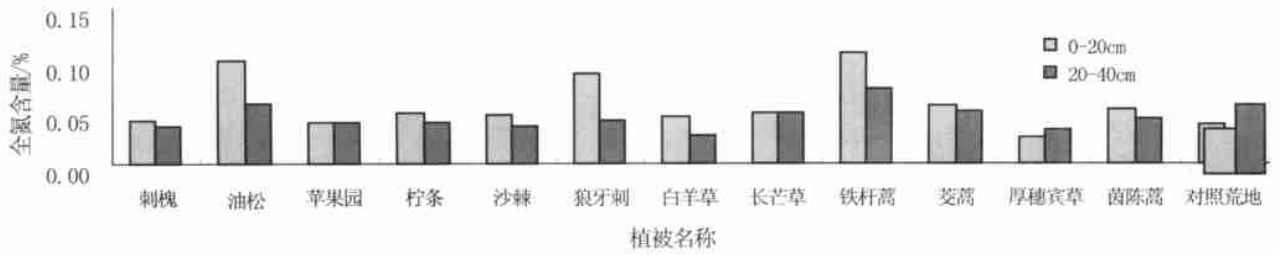


图 2 不同植被下土壤剖面全氮含量

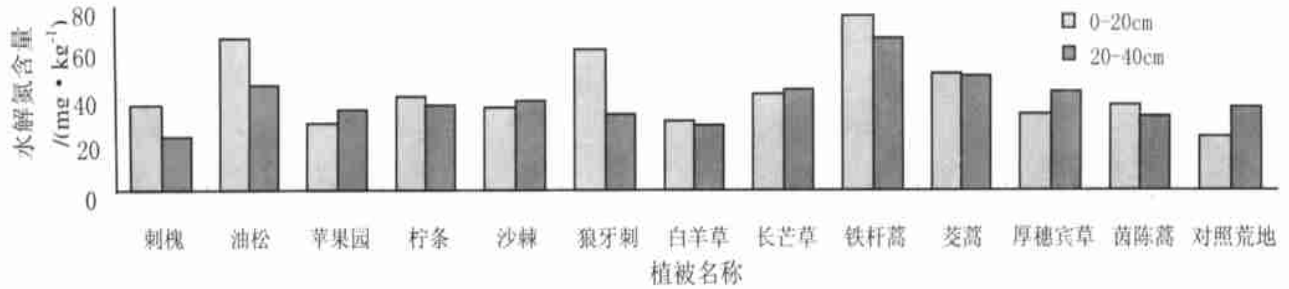


图 3 不同植被下土壤剖面水解氮含量

方程 $R^2 = 0.8981$, $T < 0.01$ 说明 0-20 cm 土壤全氮含量与有机质具有很高的相关性

土壤 20-40 cm 剖面土壤全氮含量与有机质含量之间的关系可以用下面方程拟合:

$$y = 0.015 + 0.044x$$

式中: Y — 全氮含量; X — 有机质含量

方程 $R^2 = 0.927$, $T < 0.01$ 说明 20-40 cm 土壤全氮含量与有机质之间也有很高的相关性。

综上所述,土壤全氮含量与土壤有机质的含量有很好的相关性,并可以用线性关系式表示。这充分证明了有机质的积累和分解对土壤氮素含量具有重要的影响。

2.3 植被恢复的土壤磷素效应

磷素是一种沉积性的矿物,在主要植物营养元素中,磷素在风化壳中的物质迁移是最小的。在土壤形

成的过程中,磷素的风化、淋溶、富集迁移是多种因素共同作用的结果,其中生物的富集迁移是磷素累积的主导性因素。纸坊沟流域的土壤类型为黄绵土,黄绵土具有富含碳酸盐类物质而磷素缺乏的特点。因此,研究纸坊沟流域系统中土壤磷的含量、分布和形态对于了解该流域退化生态系统在恢复过程中磷素的富集迁移以及草地生产力等方面有着重要的理论与现实意义。

2.3.1 土壤全磷、速效磷的空间变异 从变异情况来看(表 4),各生活型植被土壤全磷变异系数无论在每一剖面层次上都很小,说明纸坊沟流域磷素含量主要受黄土母质的影响,生物因素对其虽有作用,但影响不大。所测样地土壤质地均一,影响磷素的其它因素也相差不大。因此,生物因素是形成磷素差异的主导因子。

表 4 全磷、速效磷空间变异的一般性描述

生活型	剖面 / cm	统计例数	最小值		最大值		平均数		标准差		变异系数	
			全磷 / %	速效磷 / (mg·kg ⁻¹)	全磷 / %	速效磷 / (mg·kg ⁻¹)	全磷 / %	速效磷 / (mg·kg ⁻¹)	全磷 / %	速效磷 / (mg·kg ⁻¹)	全磷 / %	速效磷 / (mg·kg ⁻¹)
乔木	0-20	3	0.13	1.70	0.15	2.37	0.138	2.076	0.008	0.340	0.058	0.164
	20-40	3	0.10	0.67	0.14	1.10	0.126	0.893	0.023	0.213	0.182	0.239
灌木	0-20	3	0.14	0.81	0.15	2.47	0.143	1.790	0.006	0.870	0.041	0.486
	20-40	3	0.13	1.04	0.14	2.12	0.138	1.469	0.006	0.573	0.043	0.390
草本	0-20	6	0.12	0.82	0.15	2.72	0.136	1.760	0.010	0.780	0.074	0.443
	20-40	6	0.12	0.82	0.15	1.96	0.135	1.344	0.009	0.449	0.067	0.334

与全磷变异程度相比,不同生活型下土壤速效磷的变异程度很大。此外,同一植被下速效磷的变异程度与全磷变异程度相差较大,可达 2~10 倍之多。

2.3.2 不同植被下土壤全磷的含量 分析表明,除苹果园、厚穗宾草和茵陈蒿群落下土壤下层磷素含量大于上层外,其余群落下土壤下层磷素含量均小于上层(图 4) 因为植物根系对下层土壤中磷吸收后又以

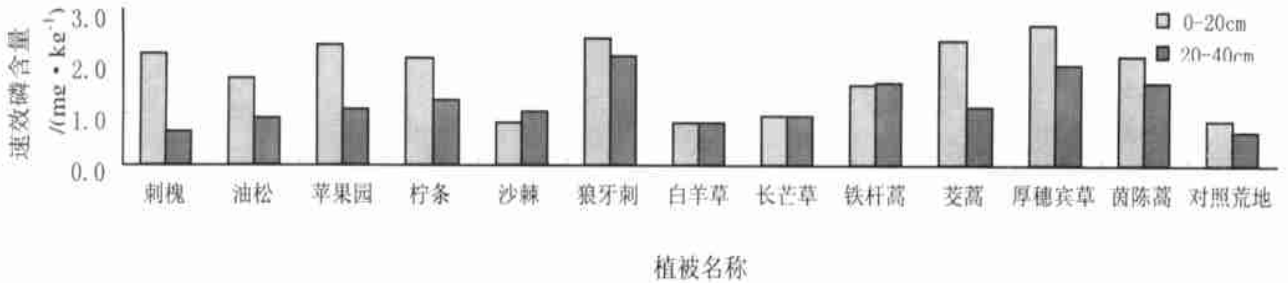


图 4 不同植被下土壤剖面速效磷含量

从图 4 可以看出,速效磷含量在土壤剖面上差异很大,除沙棘和铁杆蒿外,均表现为上层有效磷含量大于下层。对同一植被而言,上下剖面速效磷含量相差悬殊,说明同一植被对不同剖面磷的转化利用能力相差悬殊;对不同植被而言,土壤速效磷的含量变化也很大,说明不同植被对磷的转化利用能力也有明显差异。

2.3.3 土壤全磷与土壤有机质的关系 土壤 0~20 cm 全磷与土壤有机质有很好的相关性:

$$y = 0.123 + 0.016x$$

$$R^2 = 0.772, T < 0.01$$

式中: Y —全氮含量; X —有机质含量

20~40 cm 土壤全磷与土壤有机质相关性较差,其中 $R^2 = 0.529, T < 0.10$,可用下式表示:

$$y = 0.116 + 0.025x$$

式中: Y —全氮含量; X —有机质含量

从以上分析可知,土壤全磷与土壤有机质也有一定的相关性,其中上层相关性较好,下层相关性较差,下层相关性差的原因与苹果园、厚穗宾草及茵陈蒿下层全磷含量大于上层而出现异常有关。

3 结 论

(1) 经过 20 a 多的人工植被恢复,采取封育措施,植被对土壤养分产生明显影响。从土壤剖面来看,植被对 0~20 cm 土壤养分影响大于 20~40 cm;从植

有机物的形式累积在土壤表面,同时由于磷的迁移率小,不易从剖面上层向下层淋溶迁移,从而使上层含量大于下层。苹果园土壤中根系少,吸收力小,故下层大于上层。厚穗宾草所处的坝地由于不断淤积抬高,所以下层全磷含量也大于上层。茵陈蒿为撂荒地,下层磷含量大于上层可能因为该地块中的磷素随同植物收获而产生水平迁移,同时得不到施肥补充有关。

被生活型来看,草本对 0~40 cm 土壤养分的提高作用大于乔木和灌木。

(2) 植被对土壤养分的作用规律总体表现为,在植被作用下,土壤有机质、全氮、水解氮、全磷、速效磷向土壤上层富集,但不同植被对土壤养分的作用各不相同。

(3) 在纸坊沟流域土壤养分循环系统中,土壤全氮与土壤有机质之间有良好的线性相关关系,并可以用关系式: $y = a + bx$ 表示。土壤全磷与土壤有机质之间也有一定的线性相关关系,其中 0~20 cm 相关性好,但 20~40 cm 相关性较差。说明土壤有机质的累积和分解对土壤全磷和全氮含量有重要影响。

[参 考 文 献]

- [1] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1996. 6.
- [2] 彭祥林, 贾恒义. 黄土高原草地土壤生态 [M]. 北京: 世界图书出版社, 1997. 9: 151-241.
- [3] 单建平, 等. 国外对树木细根的研究动态 [J]. 生态学杂志, 1992, 11(4): 46-49.
- [4] 王百群, 刘国彬, 张成娥. 黄土丘陵区坡地土壤养分及其生产力的空间变异性 [J]. 水土保持通报, 2000, 20(7): 70-73.
- [5] Stone J R et al. Effect of erosion and landscape position on the productivity of Piedmont soil [J]. Soil Sci. Soc. Am. J. 1985, 49: 987-991.