

半干旱区流域土壤养分分布特征 及其与地形、植被的关系*

郭胜利^{1,2}, 刘文兆^{1,2}, 史竹叶^{1,2}, 侯喜禄^{1,2}, 李凤民³

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100; 3. 兰州大学生命科学学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要:以小流域为单元,以典型横断面为代表,初步分析了黄土高原半干旱区中连川小流域坡顶、坡面和坡脚不同部位土壤养分分布特征及其与地形和植被的关系。结果表明,中连川流域土壤养分全量和速效态都匮乏。在开垦利用条件下,0~20 cm 土层土壤有机碳、氮、磷、Olsen-P、硝态氮含量在不同坡位的高低顺序:坡面<坡顶<坡脚,显示了土壤养分坡脚富集、坡面和坡顶流失的特征。恢复地表植被后,土壤有机碳、氮的含量较相邻的农田显著提高。草本植被群落对土壤养分(0~20 cm)的积累促进作用高于灌木。

关键词:流域;土壤养分;地形;植被

中图分类号:S 158.3 文献标识码:A 文章编号:1000-7601(2003)04-0040-04

土壤发育与地形、植被密切相关^[1~3]。地形是影响土壤理化性状的重要因素^[4~6]。水分是干旱和半干旱地区影响植被生长的重要因素,降水由于地形的重新分配直接影响植被的分布,植被影响土壤养分积累和分布。例如,植被凋落物和根系分泌物是土壤有机质积累的主要物质来源,但土壤养分含量也是制约植被生长的重要影响因子。例如,黄土高原“小老树”的成因除土壤水分影响外,土壤养分的不足或养分间不平衡也是一个重要的影响因子^[7,8]。此外,在黄土高原地区,长期的水土流失直接影响了土壤颗粒和养分沿坡面或沟道重新分布^[9,10]。因此,地形、植被与土壤养分相互作用,关系复杂。小流域既是包含地形、土壤、植被等要素的集水区域,又是黄土高原进行区域治理的基本单元。它包含了社会-经济-自然复合生态系统中各种生态要素的变化信息^[11]。因此,深入探讨流域内地形、植被与土壤养分之间的关系对资源合理利用和生态环境建设具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 地点描述

中连川小流域位于甘肃省榆中县北部(东经104°25',北纬36°2'),海拔2300~2450 m。据位于县中部的榆中气象站的多年统计结果,年均降水量为395 mm,7~9月降水量占年降水量的56%,水

面年蒸发量1326 mm,年均气温6.5℃。流域土壤类型主要为黑麻土和灰钙土。为典型雨养农业区。主要作物春小麦、马铃薯、豌豆、玉米、谷子等。

1.2 测定项目与方法

在普查的基础上,于中连川村附近的南岔梁选择了一条流域横断面。沿这一横切面从坡顶到坡脚进行坡度、植被类型、土壤类型调查。植被群落及其覆盖度的调查采用1 m×1 m样方(3次重复)。在典型样方内采集土样,土样由1 m²样方内5~7个0~20 cm土层的样品混合而成。描述各坡位土壤剖面,并按发生层采集土样用以分析土壤理化性状。土壤有机碳(外加热-重铬酸钾氧化法)、全氮(凯氏法)、全磷(酸溶-钼蓝比色法)、有效磷(Olsen法)。微生物C、N测定采用熏蒸提取法^[12,13]。

土壤NO₃⁻-N和NH₄⁺-N测定:取风干土10 g于150 ml塑料瓶中,加入100 ml 1 mol/L KCl溶液,振荡60 min,用定量分析滤纸过滤。提取液不能立即测定时放在-4℃冷藏箱保存。滤液中NO₃⁻-N和NH₄⁺-N含量用流动注射分析仪(FOSS TECATOR, FIAstar 5000)测定。

2 结果与分析

2.1 不同地形部位土壤剖面的养分分布特征

从整体上看,南岔梁由坡顶、坡面和坡脚三部分构成,其中坡面约占70%面积。由坡顶到坡脚相对

* 收稿日期:2003-06-08

基金项目:“973”预研究项目“半干旱黄土区植被景观覆盖与农业生态系统功能调控”;国家自然科学基金项目(90202011)资助

作者简介:郭胜利(1969-),男,河北栾城人,副研究员,博士,主要从事土壤养分与土壤生态领域研究。

高差 140 m 左右, 尽管整个南岔梁皆已开垦利用, 但坡面和坡脚是土地利用的主体。这种地形和土地利用方式决定了坡面具有较强的水土流失而坡脚泥沙沉积的特征。坡顶、坡面和坡脚土壤剖面的形态特征印证了这种效应: 坡脚、坡顶具有黑麻土完整的剖面层次, 尤其坡脚、坡顶的有机质层颜色较深且有机碳含量明显高于坡面(表 1)。此外, 表 1 的数据显示, 从坡顶到坡脚土壤养分全量和速效态都匮乏。土壤有机碳、氮、磷含量依次为 5.73、0.56 和 0.66 g/kg, 分别属于黄土高原地区土壤有机碳、氮、磷含

量的“低水平”、“中低水平”和“低水平”^[14]。Olsen-P 属于“极低水平”。但坡脚土壤有机碳、氮、磷含量显著高于坡顶和坡面, 表现为明显的富集特征。坡脚土壤的 C/N 比值较高(12 左右), 显示了其在固定氮素方面具有较高潜力。整个剖面 < 0.01 mm 粘粒含量的平均值在坡顶、坡面和坡脚依次为 27.4%、26.3% 和 35.5%。坡脚 0~150 cm 土层都具有显著的养分富集特征极可能与坡面常年侵蚀造成的土壤粘粒物质在坡脚富集有关。这与史竹叶等的资料是一致的^[15]。

表 1 中连川流域南岔梁典型部位土壤的理化和形态特性

Table 1 The chemical, physical and morphological properties of soils along Nanchaliang hillside

坡位 Slope position	坡度 Slope (°)	土壤类型 Soil types	土层 Depth (cm)	粘粒 Caly < 0.01 mm (%)	有机碳 SOC ¹⁾ (g/kg)	全氮 TSN ²⁾ (g/kg)	全磷 TSP ³⁾ (g/kg)	Olsen P (mg/kg)	NO ₃ ⁻ - N (mg/kg)	NH ₄ ⁺ - N (mg/kg)	C/N
坡顶 Summit 2439 m	2	黑麻土 Rusty dark loessial soil	0~25	30.4	9.7	1.07	0.65	1.2	6.2	5.4	9.1
			25~50	25.0	3.9	0.47	0.57	4.2	4.4	5.0	8.4
			50~70	26.1	3.7	0.42	0.59	1.1	4.3	5.7	8.7
			70~100	27.6	2.4	0.28	0.59	2.6	3.5	4.7	8.5
			100~130	28.1	2.5	0.26	0.59	0.6	3.3	4.5	9.6
坡面 Back slope 2400 m	20	黑麻土 Rusty dark loessial	0~30	27.8	5.2	0.63	0.60	9.7	6.9	5.2	8.2
			30~60	24.9	2.8	0.35	0.58	0.5	5.0	5.5	8.1
			60~100	25.1	3.0	0.36	0.63	0.2	4.5	5.0	8.4
			100~150	27.2	2.0	0.21	0.60	0.9	4.2	4.7	9.7
沟底 Foot slope 2300 m	3	黑麻土 Rusty dark loessial soil	0~30	34.1	13.2	1.14	0.89	7.1	5.4	6.6	11.6
			30~60	33.7	11.1	0.92	0.82	2.3	4.1	5.4	12.1
			60~100	35.9	11.7	0.93	0.84	5.5	7.3	7.2	12.5
			100~150	37.0	10.2	0.82	0.85	13.0	4.7	6.6	12.4
			150 以下	36.6	10.3	0.87	0.84	18.2	6.0	6.9	11.8
中沟沟底 Foot slope 2300 m	2	灰钙土 Orthic sierozem	0~50	25.2	1.7	0.24	0.59	0.2	7.1	5.2	7.2
			50~100	26.2	2.5	0.32	0.63	5.0	6.8	6.1	7.8
羊凹 Back slope 2400 m	35	灰钙土 Orthic sierozem	0~50	25.1	3.9	0.48	0.54	2.2	5.2	6.8	8.1
			50~100	25.1	3.2	0.26	0.54	0.8	3.4	6.0	12.5
平均 Mean ± Std			29.0 ± 4.4	5.7 ± 4.0	0.56 ± 0.32	0.66 ± 0.12	4.2 ± 5.0	5.1 ± 1.3	5.7 ± 0.9	9.7 ± 1.9	

注 Note: 1) soil organic carbon; 2) total soil N; 3) total soil P.

2.2 地形和植被对土壤养分分布的影响

坡顶、坡面和坡脚都在开垦利用条件下, 土壤有机碳、氮、磷、Olsen-P、硝态氮都具有坡面 < 坡顶 < 坡脚的趋势, 显示了土壤养分坡脚富集、坡面和坡顶流失的特征。坡面耕地尽管每年有一定的肥料投入, 但由于土壤耕层流失严重, 土壤养分不易积累。相对而言, 坡顶宽阔、平坦, 侵蚀相对较弱, 较之坡面土壤养分得到了一定积累。阳坡的短花针茅+ 冷蒿群落与阴坡坡顶的长芒草+ 赖草+ 阿尔泰狗哇花群落相似, 但土壤有机碳、氮阳坡低于阴坡。这些结果反映了阴阳坡位、坡顶、坡面和坡脚对土壤养分分布

都具有一定的影响。

植被条件也是影响土壤养分分布的重要因素。坡顶由农田撂荒 7 a 后, 地表植被已恢复为长芒草+ 赖草+ 阿尔泰狗哇花群落, 同时有机碳、氮的含量较相邻的农田提高了 1 倍以上。坡面部位多年生苜蓿地对土壤养分也具有改善作用。在坡脚, 苜蓿和做饲草用的草谷子对土壤养分的改善作用高于春小麦和玉米。在阳坡, 30 a 生柠条林土壤有机碳、氮、磷含量低于短花针茅+ 冷蒿的自然植被群落。反映了草本植被群落对土壤养分的积累促进作用高于灌木。在黄土丘陵区纸坊沟流域, 王国梁等发现草本植物

对 0~40 cm 土层土壤养分的提高作用大于乔木和灌木^[16]。

有机碳、氮相似,但土壤微生物 C、N 变化幅度显著高于土壤有机碳、氮。

植被覆盖类型对土壤微生物 C、N 影响与土壤

表 2 中连川小流域坡位和植被对土壤养分分布的影响

Table 2 Effects of landform and vegetation on soil nutrients distribution in Zhonglianchuan watershed

坡位 Slope position	植 被 Vegetations	有机碳 SOC (g/kg)	全 氮 TSN (%)	全 磷 TSP (%)	Olsen-P (mg/kg)	NO ₃ -N (mg/kg)	NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	微生物 C SMBC ¹⁾ (mg/kg)	微生物 N SMBN ²⁾ (mg/kg)
坡 顶 Summit	长芒草+ 赖草+ 阿尔泰狗娃花 ³⁾ <i>Stipa bungeana</i> + <i>Aneurolepidium dawystachys</i> Nevski. + <i>Heteropappus altaicus</i> (Willd.) Novopokr.	12.5	0.141	0.064	2.3	5.0	6.3	236.3	10.3
	春小麦 Spring wheat	5.2	0.063	0.060	1.9	6.9	5.2	84.9	5.7
阴坡坡面 Northern backslope	22 年生苜蓿 22-year alfalfa	8.3	0.094	0.065	3.3	5.8	6.2	247.2	10.6
	豌豆 Pea	5.5	0.096	0.058	6.7	9.1	5.7	97.9	4.8
	马铃薯 Potato	3.9	0.044	0.060	6.8	2.8	4.1	67.1	2.3
阴坡沟底 Northern footslope	1 年生苜蓿 1-year alfalfa	9.4	0.105	0.070	9.2	6.7	5.6	79.0	6.4
	春小麦 Spring wheat	8.3	0.096	0.072	7.7	11.7	5.9	104.9	6.7
	玉米 Corn	8.6	0.098	0.073	14.0	25.9	6.9	69.9	5.2
	草谷子 Millet straw	9.4	0.105	0.070	9.2	4.2	5.3	76.6	5.6
阳坡坡面 Southern backslope	短花针茅+ 冷蒿 <i>Stipa breviflora</i> + <i>Artemisia frigida</i>	9.7	0.114	0.066	1.1	4.3	5.6	232.1	11.8
阳坡坡面 Southern backslope	柠条锦鸡儿 <i>Caragana korshinskii</i>	8.4	0.089	0.053	2.2	6.4	6.2	249.0	14.3

注 Note: 1) soil microbial biomass carbon; 2) soil microbial biomass nitrogen; 3) 撂荒 7 年, 7-year uncultivated set-aside land.

3 结 论

流域土壤养分全量和速效态都匮乏,土壤有机碳、氮、磷含量从坡顶到坡脚呈降低趋势。在开垦利用条件下,土壤有机碳、氮、磷、Olsen-P、硝态氮具有坡面< 坡顶< 坡脚的趋势,显示了土壤养分坡脚富集、坡面和坡顶流失的特征。恢复地表植被后,土壤有机碳、氮的含量较相邻的农田显著提高。草本植被群落对土壤养分的积累促进作用高于灌木。

参 考 文 献:

[1] Jenny, H. The soil resource: Origin and behavior[M]. Ecol-Stud. New York: Springer-Verlag, 1980. 37.

[2] Honeycutt C W, Heil R D, Cole C V. Climatic and topographic relations on three Great Plains soils: II. Carbon, nitrogen and phosphorus[J]. Soil Sci Soc Am J, 1990, 54: 476- 483.

[3] Norton J B, Sandor J A, White C S. Hillslope soils and organic matter dynamics within a Native American agroecosystem on the Colorado plateau[J]. Soil Sci Soc Am J, 2003, 67: 225 - 234.

[4] Aguilar R, Heil R D. Soil organic carbon, nitrogen, and phosphorus quantities in northern great plains rangeland[J]. Soil Sci Soc Am J, 1988, 52: 1076- 1081.

[5] Schimel D, Stillwell M A, Woodmansee R G. Biogeo-

chemistry of C, N, and P in a soil catena of the shortgrass steppe[J]. Ecology, 1985, 66: 276- 282.

[6] Kleiss H J. Hillslope sedimentation and soil formation in Northeastern Iowa[J]. Soil Sci Soc Amer Proc, 1970, 34: 287- 296.

[7] 侯庆春, 黄旭, 韩世峰, 等. 关于黄土高原地区小老树成因及其改造途径的研究: 小老树的成因及其改造途径[J]. 水土保持学报, 1991, 5(4): 80- 86.

[8] 侯庆春, 黄旭, 韩世峰, 等. 关于黄土高原地区小老树成因及其改造途径的研究: 土壤水分和养分状况及其与小老树生长的关系[J]. 水土保持学报, 1991, 5(2): 75- 83.

[9] 毕银丽, 余存祖, 郭胜利, 等. 黄土高原沟壑区坝系土壤养分特征与侵蚀环境的关系: 坝地土壤的理化性状及其数值分析[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(3): 1- 9.

[10] 毕银丽, 王百群, 郭胜利, 等. 黄土高原沟壑区坝系土壤养分特征与侵蚀环境的关系: II 坝地土壤的粒径分布及各粒径的养分状况[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(4): 37- 43.

[11] 马世骏, 王如松. 社会- 经济- 自然复合生态系统理论[J]. 生态学报, 1984, 4(1): 1- 9.

[12] Brookes P C, Landman A, Pruden G, et al. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen, a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil[J]. Soil Biol & Biochem, 1985, 17, 837- 842.

[13] Wu J, Joergensen R G, Pommerening, et al. Measurement of soil microbial biomass by fumigation-extraction - an automated procedure[J]. Soil Biol & Biochem, 1990, 20, 1167-

1169.

特征及其与地形的关系[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(4): 101- 104.

[14] 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992, 125- 127.

[16] 王国梁, 刘国彬, 许明祥. 黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应[J]. 水土保持通报, 2001, 22(1): 1- 5.

[15] 史竹叶, 刘文兆, 郭胜利. 中连川流域土壤剖面的水分物理

Soil nutrients distribution and its relation to landform and vegetation at small watershed in semiarid area

GUO Sheng-li^{1,2}, LIU Wen-zhao^{1,2}, SHI Zhu-ye^{1,2}, HOU Xi-tu^{1,2}, LI Feng-min³(1. *Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences;*2. *College of Resources & Environmental Science, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;*3. *College of Life Science, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)*

Abstract: The study was conducted to investigate soil nutrients distribution and its relation to landform and vegetation along summit to toeslope transection at the small watershed of Zhonglianchuan in the semiarid hilly region of Loess Plateau. The results showed that both soil nutrients and available fractions were significantly low across the watershed. Under the condition of cultivation, soil organic carbon (SOC), total soil nitrogen (TSN), total soil phosphorus (TSP), Olsen-P, and nitrate N in the 0~20 cm depth were low at slopeback and summit, and enriched at toeslope due to soil losses. The distribution of soil nutrients could be put in order as: slopeback < summit < toeslope. SOC and TSN in the 0~20 cm depth were increased significantly when the cropland was converted into grassland. Herbaceous plants caused more accumulation of soil nutrients than shrubby plants.

Key words: soil nutrients; topography; vegetation; semiarid region; Loess Plateau