

黄土高原沟壑区小流域坡地土壤养分分布特征

魏孝荣^{1,2}, 邵明安^{1,*}

(1. 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点试验室, 中国科学院水利部水土保持研究所 (西北农林科技大学水土保持研究所), 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 坡地土壤质量退化以及生产力下降是限制坡地植被恢复的主要因素, 而坡地土壤质量和生产力在很大程度上取决于土壤养分状况。通过野外调查和室内分析相结合的方法, 研究了黄土高原沟壑区坡地土壤养分分布特征。结果表明坡地土壤主要养分含量均随土壤层次的加深而降低, 其中以有机碳和全氮降低最多, 而硝、铵态氮和全磷降低较少。坡地不同土层土壤有机碳和全氮表现出较大的变异性, 土壤铵态氮和全磷的变异较小。0.005~0.05 mm 土壤颗粒含量随土层加深而增加, 0.05~1 mm 颗粒含量随土层加深而降低; <0.005 mm 土壤颗粒含量在 0~40 cm 土层变异很大, 而 0.005~0.05 mm 和 0.05~1 mm 的土壤颗粒在所有土层变异都很小。有机碳、全氮、全磷和 <0.005 mm 颗粒从坡顶向下呈增加的趋势, 其分布与坡度和坡长有关, 其变异性随坡度和坡长的增加而增大。坡面较长时, <0.005 mm 颗粒易于在坡面中、下部累积, 坡度较大时则易于迁移出坡面。坡面土壤有机碳、全氮和全磷均在坡底部富集, 其富集程度和位置因坡长和坡度而异, 长缓坡有利于养分富集, 短陡坡利于养分迁出。坡度较小时坡面不同位置土壤养分剖面分布主要由坡面土壤性质变异引起, 随坡度的增加, 土壤侵蚀便逐渐成为坡面养分分布的主导因子。坡上部碳、氮养分流失的深度也随坡度的增加而加深, 而不同坡位全磷的剖面分布与坡度的关系较差。因此, 在坡地土壤养分调控中必须综合考虑坡度和坡长因素。

关键词 黄土高原; 沟壑区; 坡地; 土壤养分; 颗粒组成

文章编号: 1000-0933(2007)02-0603-11 中图分类号: P941.74; Q142; S153 文献标识码: A

The distribution of soil nutrients on sloping land in the gully region watershed of the Loess Plateau

WEI Xiao-Rong^{1,2}, SHAO Ming-An^{1,*}

1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR (Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-Tech. University of Agriculture & Forestry), Yangling 712100, China

2 Graduate School of CAS, Beijing, 100039, China

Acta Ecologica Sinica 2007, 27(2): 0603~0612.

Abstract: The deterioration of soil quality and the decline in productivity on sloping land are the main factors that limit the revegetation of the Loess Plateau. However, these two factors largely depend on soil nutrient status. The purpose of this study was to investigate the distribution of soil nutrients on sloping land located in the gully region of the Loess Plateau. The results showed that the soil nutrient content generally decreased with soil depth. Among the soil nutrients, soil organic carbon and total nitrogen decreased most compared with nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, and total phosphorus. In addition, the variation of soil organic carbon and total nitrogen was greater compared to the variation of ammonium nitrogen.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50479063, 90502006); 西北农林科技大学“创新团队”资助项目

收稿日期: 2005-12-08; 修订日期: 2006-09-16

作者简介: 魏孝荣 (1978~), 男, 陕西武功人, 博士生, 从事土壤环境化学研究. E-mail: xrwei78@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mashao@ms.iswc.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50479063, 90502006) and “Innovation Team” Program of Northwest Sci-Tech. University of Agriculture & Forestry

Received date 2005-12-08; **Accepted date** 2006-09-16

Biography: WEI Xiao-Rong, Ph. D. candidate, mainly engaged in soil environmental chemistry. E-mail: xrwei78@163.com

and total phosphorus among different soil layers. The amount of 0.005–0.05 mm soil particles increased with soil depth, but the amount of 0.05–1 mm soil particles decreased with depth. There was little change in the content of 0.05–1 mm and 0.005–0.05 mm particles in 0–60 cm layer soils, but there was a large change in the <0.005 mm particles in the 0–40 cm layer soils. Soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, and <0.005 mm soil particles all increased as the distance from the top of the slope increased. Furthermore, soil properties were closely related with the length and gradient of the slope. Specifically, variation in the soil nutrient content of sloping land increased as the length and gradient of the slope increased. For long and gentle slopes, the middle and lower positions of the slope tended to be enriched in nutrients and <0.005 mm soil particles; however, for short and steep slopes the nutrients and <0.005 mm soil particles tended to be transported away from the slope. As the gradient of the slope increased, soil erosion and sediment deposition became the predominant factors controlling nutrient distribution in the soil profile at different points along the slope. Slope gradient also affected the depth of carbon and nitrogen loss from the upper positions on the slope. In contrast, the distribution of total soil phosphorus in the soil profile was only slightly related with slope gradient. The results in this study recommended that the length and gradient of the slope should be considered in the soil nutrients management on sloping land.

Key Words: the Loess Plateau; gully region; sloping land; soil nutrients; particle fraction

坡地水土流失是导致区域土壤质量退化以及坡地生产力下降的重要原因^[1-3]。降雨侵蚀条件下,坡面物质随径流迁移,但是产流过程中直接输出坡面的径流泥沙及其所包含的养分仅是坡面物质迁移中的一部分。由于坡面较长、产流量较小或降雨停止等原因,径流中携带的大量物质会在坡面不同部位沉积,这些沉积物质又成为以后坡面物质迁移的来源。因此,坡面物质通过径流输出坡面是多次搬运—沉积作用的结果^[4]。在坡面上,地形部位是决定土壤性质变化的重要因素,沿坡面不同位置土壤的成土过程导致了坡面土壤性质的差异^[5]。许多研究表明,不同的坡面位置其土壤性质变异明显,这主要是坡面水土流失和养分流失所造成的^[6,7]。因此,研究坡面土壤养分的分布特征,探讨坡地土壤质量的退化过程与特征,对于控制土壤退化、加速退化生态系统的恢复与重建具有重要的理论价值与指导意义。

黄土高原沟壑区是黄土区侵蚀残留面积较大的地区,该类型区的面积约占黄土高原总面积的12%。该区塬面平坦,塬的四周沟谷侵蚀明显,形成很不规则的塬边,塬面与沟谷的分界线成为明显的陡崖,多在45°以上。谷坡坡度较陡峭,坡度大于25°者约占63%~73%,小于25°者占27%~37%。坡地多为天然草地和宜林宜牧地。该区土壤侵蚀严重,主要为降雨侵蚀,侵蚀模数为5 000~8 000 t km⁻² a⁻¹,主要发生在坡面。

目前关于坡地土壤养分方面的研究主要集中在坡地养分流失规律^[8-12]和流失形态^[9,11-15]方面,而侵蚀坡面土壤养分分布特征方面的研究报道较少。在黄土高原退化或侵蚀坡面,土壤养分状况与坡面植被恢复息息相关。因此,研究坡面土壤养分分布状况可以了解坡面土壤流失过程中养分的再分布规律,对坡面植被恢复的合理调控提供科学建议。本文研究了黄土高原沟壑区不同坡面土壤养分状况,旨在揭示该区坡面土壤养分的分布特征,为同类型地区侵蚀退化环境下坡面土壤养分的合理管理提供依据。

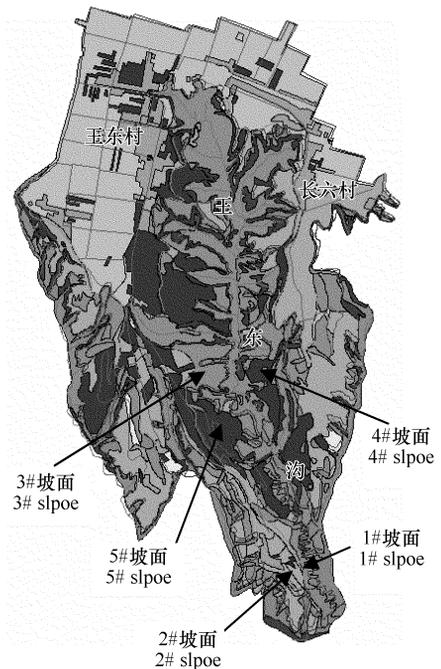


图1 坡面位置图

Fig. 1 Location of 5 slopes in watershed

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究在地处黄土高原南部的王东沟小流域进行。王东沟小流域位于陕西省长武县境内,东经 $107^{\circ}40'30'' \sim 107^{\circ}42'30''$ 北纬 $35^{\circ}12' \sim 35^{\circ}16'$ 海拔 1 200m 属典型的黄土高原沟壑区,流域总面积 8.3km^2 。该流域坡地土壤主要为黄绵土,母质是中壤质马兰黄土。气候属暖温带半湿润大陆型气候,多年平均气温 9.1°C ,无霜期 171d, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年活动积温 $3\ 866^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年活动积温 $3\ 029^{\circ}\text{C}$,多年平均降雨量为 584.1 mm,降水变率大,年内季节分布不均,主要集中在 7~9 月份。

1.2 样品采集

于 2005 年 7 月按照 1:7500 比例尺的王东沟流域土地利用图选择 5 个不同类型的坡面,从坡顶向坡底等间距采集表层 (0~20 cm) 土壤样品 (各坡面所采集的表层土壤样品点依次为 8、9、7、7 个和 7 个)。此外,在每个坡面分别于上、中、下 3 个坡位采集 0~20、20~40、40~60 cm 土层土壤样品,表层和剖面土壤样品均采 3 次重复。土壤样品自然风干,分别处理通过 0.25 mm 和 1.0 mm 筛孔以供测定。本研究所选择的坡面位置见图 1,各坡面状况见表 1,各坡面均为自然状态植被,未受人为活动干扰。

表 1 采样坡面基本情况

Table 1 Conditions of the studied slopes

坡面号* Number of slope	植被 Vegetation	坡度 ($^{\circ}$) Angle of slope	坡长 (m) Slope length	土壤类型 Soil type	海拔 (cm) Altitude
1 [#]	长芒草 <i>Stipa bungeana</i> Trin., 冰草 <i>A. cristatam</i> L. Gaertn, 隐子草 <i>Crypsis aculeate</i> Ait., 胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	18.0	42	黄绵土 Cultivated loessial soils	1058~1071
2 [#]	长芒草 <i>Stipa bungeana</i> Trin., 苜蓿 <i>Medicago sativa</i> L., 大戟 <i>Euphorbia pekinensis</i> Rupr., 胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	12.6	87	黄绵土 Cultivated loessial soils	1071~1110
3 [#]	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> L., 隐子草 <i>Crypsis aculeate</i> Ait., 倒生 <i>P. flaccidum</i> Griseb, 胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	27.3	97	黄绵土 Cultivated loessial soils	1094~1139
4 [#]	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i> L., 隐子草 <i>Crypsis aculeate</i> Ait., 白蒿 <i>Artemisia capillaris</i> Thunb., 冰草 <i>A. cristatam</i> L. Gaertn.	31.2	108	黄绵土 Cultivated loessial soils	1079~1135
5 [#]	长芒草 <i>Stipa bungeana</i> Trin., 隐子草 <i>Crypsis aculeate</i> Ait., 悬钩子 <i>R. parvifolius</i> L., 野葡萄 <i>Vitis amurensis</i> Rupr., 白蒿 <i>Artemisia capillaris</i> Thunb., 胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	22.2	54	黄绵土 Cultivated loessial soils	1082~1102

* 下同 the same below

1.3 测定项目及方法

土壤样品分别测定有机碳 (重铬酸钾外加热法)、全氮 (半微量开氏定氮法)、硝态氮、铵态氮 (1 mol L^{-1} KCl 浸提, AutoAnalyzer3 流动元素分析仪测定)、全磷 (酸溶-钼锑抗比色法)、颗粒组成 (Masterixer2000 激光颗粒分析仪)。

1.4 数据处理

本研究中数据处理均用 SAS 软件包中相应程序进行。

2 结果分析

2.1 坡面土壤养分状况

在所研究的区域,坡地主要土壤养分含量均随土壤层次的加深而降低 (表 2),其中以有机碳和全氮降低最多,分别从 0~20cm 的 8.6g kg^{-1} 和 0.9g kg^{-1} 降低到 40~60cm 的 4.3g kg^{-1} 和 0.5g kg^{-1} ,而硝、铵态氮和

全磷降低较少。坡地不同土层土壤有机碳和全氮表现出较大的变异性,其变异系数多在 30% 左右,表层土壤硝态氮含量变化很大,变异系数达 51.6%,这主要是因为表层土壤受多种环境因素的影响,而且土壤硝态氮很不稳定,经常处于变化之中所造成的。各土层土壤铵态氮和全磷的变异较小,变异系数仅为 6.8% ~ 13.7% 和 4.78% ~ 9.23%。

表 2 坡地土壤养分含量及颗粒组成

Table 2 Soil nutrients contents and particle fraction in sloping land

土层厚度 Soil depth (cm)		全氮 Total N (g kg ⁻¹)	硝态氮 NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	铵态氮 NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	有机碳 Organic (g kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)	颗粒组成 Particle fraction (%)		
							<0.005 mm	0.005 ~ 0.05mm	0.05 ~ 1mm
0 ~ 20	均值 (标准差) Mean (Std. Dev.)	0.9 (2.6)	2.1 (1.1)	7.4 (1.0)	8.6 (2.6)	0.54 (0.05)	11.3 (5.7)	70.7 (4.8)	17.7 (2.7)
	范围 Range	0.4 ~ 1.5	1.0 ~ 6.6	4.3 ~ 9.0	4.0 ~ 14.6	0.50 ~ 0.60	7.3 ~ 28.4	56.1 ~ 75.4	13.0 ~ 22.9
	变异系数 CV (%)	28.6	51.6	13.7	29.8	9.23	50.5	6.8	15.0
20 ~ 40	均值 (标准差) Mean (Std. Dev.)	0.7 (0.2)	2.2 (0.7)	7.3 (0.5)	6.1 (1.8)	0.54 (0.03)	12.7 (8.1)	71.5 (6.0)	15.9 (2.9)
	范围 Range	0.4 ~ 1.2	1.6 ~ 3.6	6.6 ~ 8.3	4.0 ~ 11.3	0.49 ~ 0.60	7.8 ~ 30.4	59.5 ~ 76.9	9.6 ~ 19.9
	变异系数 CV (%)	29.1	33.1	6.8	30.2	5.73	63.5	8.4	18.5
40 ~ 60	均值 (标准差) Mean (Std. Dev.)	0.5 (0.1)	1.8 (0.4)	7.1 (0.6)	4.3 (1.3)	0.52 (0.03)	9.1 (1.1)	75.9 (1.6)	15.1 (2.4)
	范围 Range	0.3 ~ 0.8	1.4 ~ 2.8	6.1 ~ 8.1	3.0 ~ 7.3	0.47 ~ 0.57	6.6 ~ 10.3	73.8 ~ 78.9	11.6 ~ 19.3
	变异系数 CV (%)	30.5	23.7	9.1	30.4	4.78	11.6	2.1	15.5

土壤颗粒组成是土壤结构性的一个重要方面,是形成各种团聚体,特别是团粒结构的基础。在所研究的 5 个坡面上, <0.005 mm 土壤颗粒含量在 0 ~ 40 cm 土层变化很大,变异系数为 50.5% 和 63.5%; 在 40 ~ 60 cm 土层变异较小。而 0.005 ~ 0.05 mm 和 0.05 ~ 1 mm 的土壤颗粒在所有土层变化都很小,其变异系数仅为 2.1% ~ 8.4% 和 15.0% ~ 18.5%。此外 0.005 ~ 0.05 mm 颗粒含量随土层加深而增加, 0.05 ~ 1 mm 颗粒含量呈现出与之相反的趋势,随土层加深而降低。

坡地土壤养分和颗粒组成所表现出来的变异性主要是由坡面微地形、植被、土壤侵蚀、土壤发育等因素所造成的^[16,17]。尽管所研究的坡地土壤均为黄绵土,但 5 个坡面所处的地理位置不同,土壤的发育程度也存在差异,在不同的尺度和地形部位还存在着空间变异性^[18,19],从而使土壤养分含量和机械组成也表现出较大的变异性。

植被类型也对土壤养分有着重要的影响,各坡面上的植物群落不相同,不同植物群落根系活动深度不同,对土壤养分的吸收强度和深度也不同,从而在对土壤养分的影响强度和深度上存在显著的差异。此外,植物根系与土壤之间的相互作用也影响到土壤颗粒的团聚状况^[20-22],从而使土壤的机械组成也发生很大的变化。

坡度、坡面的微地形和土壤侵蚀相互作用,共同影响着坡面土壤养分含量和机械组成。土壤侵蚀发生时,径流液和侵蚀泥沙中常含有相当数量的养分,而且侵蚀泥沙中养分含量几乎总是高于土壤中养分的含量。这种情况的出现一方面是因为流失泥沙主要来源于表土,而表土中养分含量相对较高;另一方面是因为细小的土壤颗粒最容易流失,而土壤养分往往在细颗粒中含量较高^[23-25]。坡度和坡面的微地形往往在局部影响着土壤侵蚀发生的强度和途径,从而影响径流泥沙在坡面的搬运—沉积过程,改变坡面养分和土壤颗粒的再分配模式。

2.2 坡面土壤养分分布

土壤有机碳、全氮、全磷含量在各坡面的分布见图 2。由于有机碳和全氮含量变异较大,其在坡面的分布具有较大的波动性,但总体上还是体现出了在坡中下部富集的趋势,这种趋势随着坡长的增加体现得较为明

显。土壤全磷在坡面的分布规律较为明显 随距离坡顶距离的增加呈增加的趋势。从图 2 还可看出 坡面主要土壤养分含量的最大值几乎都出现在坡的中部 这可能与坡面侵蚀过程中径流泥沙在此部位的沉积有关。侵蚀泥沙在此部位沉积使径流泥沙中养分在此部位富集 这也说明坡中部对坡面土壤养分分布来说是一个比较特殊的位置。

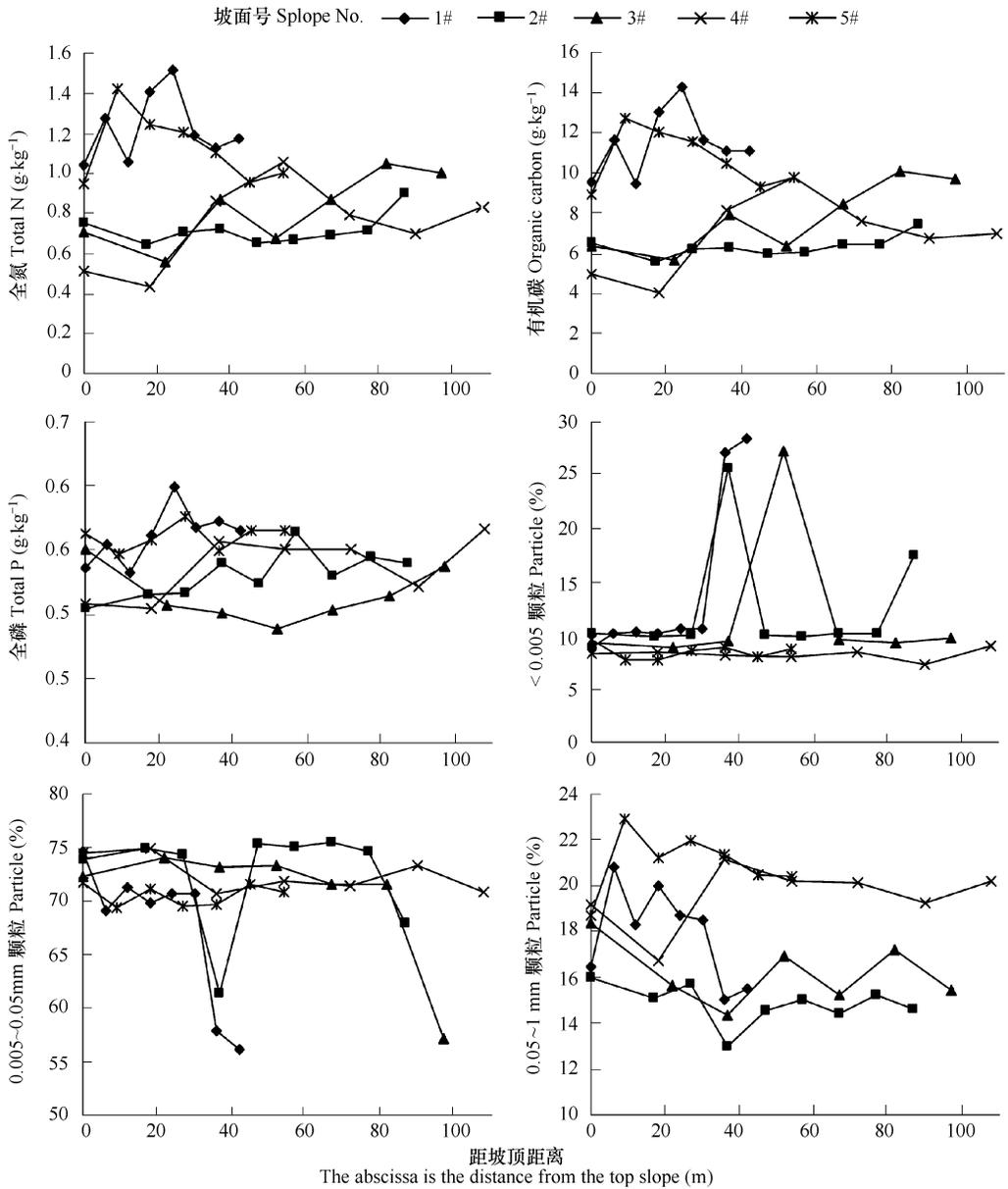


图 2 坡面土壤养分和颗粒分布

Fig. 2 Distribution of soil nutrients and particle fraction in sloping land

土壤养分在坡面的分布与坡度有关 其变异性随坡度的增加而增大 (表 3)。2#坡坡度最小 土壤有机碳、全氮、硝、铵态氮在 2#坡面的变异亦最小 4#坡坡度最大 土壤有机碳、全氮、硝、铵态氮和全磷的变异系数也最大。此外 2#坡面土壤养分也表现出较小的极差和标准差 而 4#坡面则表现出较大的极差和标准差。这主要是随坡度的增加 坡面土壤侵蚀加剧 使坡面微地形更为复杂 而且养分流失和富集强度增加 养分分布便表现出较大的变异性。

图 3 是坡面土壤全氮和有机碳变异系数与坡度之间关系图。可以看出 坡面全氮和有机碳的变异系数随坡度增加而增加 其与坡度之间的关系均可用线性函数和指数函数来表示 而且指数函数优于线性函数。这

是因为线性函数只适用于一定的坡度范围内,当坡度较大时线性关系便会变差,而指数函数可适用于较大的坡度范围。

土壤养分在坡面的分布规律还与坡长有关,一般来说坡面愈长,坡面微地形变异愈大,坡面水分特性、坡面产流、产沙特点愈复杂,土壤侵蚀过程中坡面土壤养分搬运—沉积及随之的再分配过程便愈复杂。1#和5#坡面较短,其土壤养分变异亦小,3#和4#坡面较长,其土壤养分变异较大。在本研究中,对于较长的坡面,采样点之间间距较大,这可能也是造成土壤养分变异性大的一个原因。

表3 坡面土壤养分变异状况

Table 3 Variability of soil nutrients in sloping land

坡面号 Slope No.	项目 Item	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	硝态氮 NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	铵态氮 NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	有机碳 Organic C (g kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)	颗粒组成 Particle fraction (%)		
							<0.005 mm	0.005 ~ 0.05mm	0.05 ~ 1mm
1#	均值 (标准差)	1.22	1.67	7.81	11.48	0.56	14.54	67.52	17.91
	Mean (Std. Dev.)	(0.17)	(0.36)	(0.53)	(1.63)	(0.02)	(8.17)	(6.71)	(2.07)
	变异系数 CV (%)	13.57	21.80	6.75	14.21	3.78	56.15	9.93	11.57
2#	均值 (标准差)	0.72	2.01	7.17	6.34	0.53	12.61	72.54	14.85
	Mean (Std. Dev.)	(0.08)	(0.33)	(0.37)	(0.50)	(0.02)	(5.47)	(4.79)	(0.88)
	变异系数 CV (%)	10.94	16.66	5.10	7.96	3.41	43.39	6.60	5.89
3#	均值 (标准差)	0.82	1.56	7.25	7.80	0.51	11.94	70.44	16.17
	Mean (Std. Dev.)	(0.18)	(0.35)	(0.46)	(1.74)	(0.02)	(6.76)	(5.91)	(1.38)
	变异系数 CV (%)	21.83	22.81	6.39	22.35	4.25	56.62	8.39	8.54
4#	均值 (标准差)	0.74	3.55	7.82	6.90	0.54	8.23	72.45	19.54
	Mean (Std. Dev.)	(0.21)	(1.74)	(0.68)	(1.94)	(0.03)	(0.52)	(1.71)	(1.40)
	变异系数 CV (%)	28.61	49.09	8.66	28.05	4.67	6.34	2.36	7.16
5#	均值 (标准差)	1.12	1.63	6.79	10.69	0.56	8.46	70.51	21.01
	Mean (Std. Dev.)	(0.18)	(0.51)	(2.03)	(1.46)	(0.01)	(0.70)	(1.01)	(1.35)
	变异系数 CV (%)	15.61	31.07	29.96	13.66	1.92	8.22	1.43	6.41

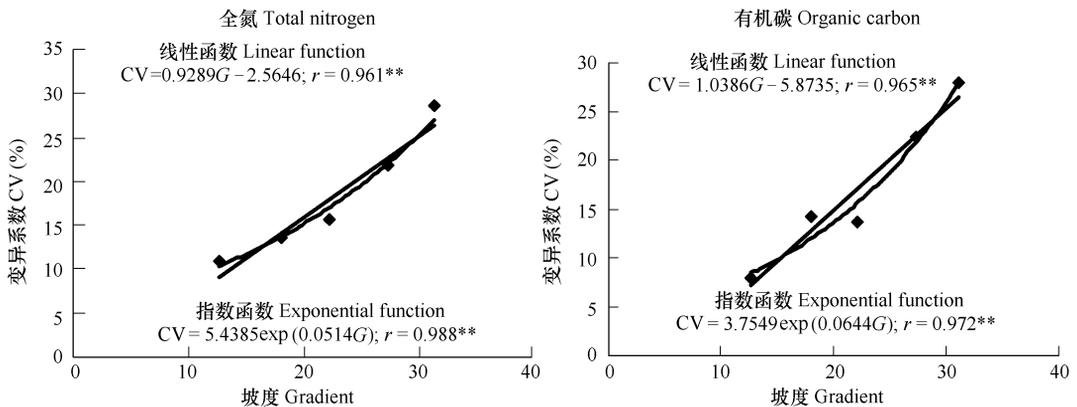


图3 坡面有机碳和全氮变异系数与坡度关系

Fig. 3 Relationship between coefficients of variability of organic carbon and total nitrogen and slope gradient

土壤颗粒在坡面分布见图2。0.05~1 mm 土壤颗粒含量从坡顶向下呈降低趋势,而<0.005 mm 颗粒呈现出在坡的中、下部富集的趋势。0.005~0.05 mm 土壤颗粒含量略有降低但波动幅度较大。坡面土壤颗粒分布与坡面水蚀过程有关。坡面侵蚀发生时,坡上部土壤细颗粒逐渐向坡中下部迁移,上部土壤表现出较明显

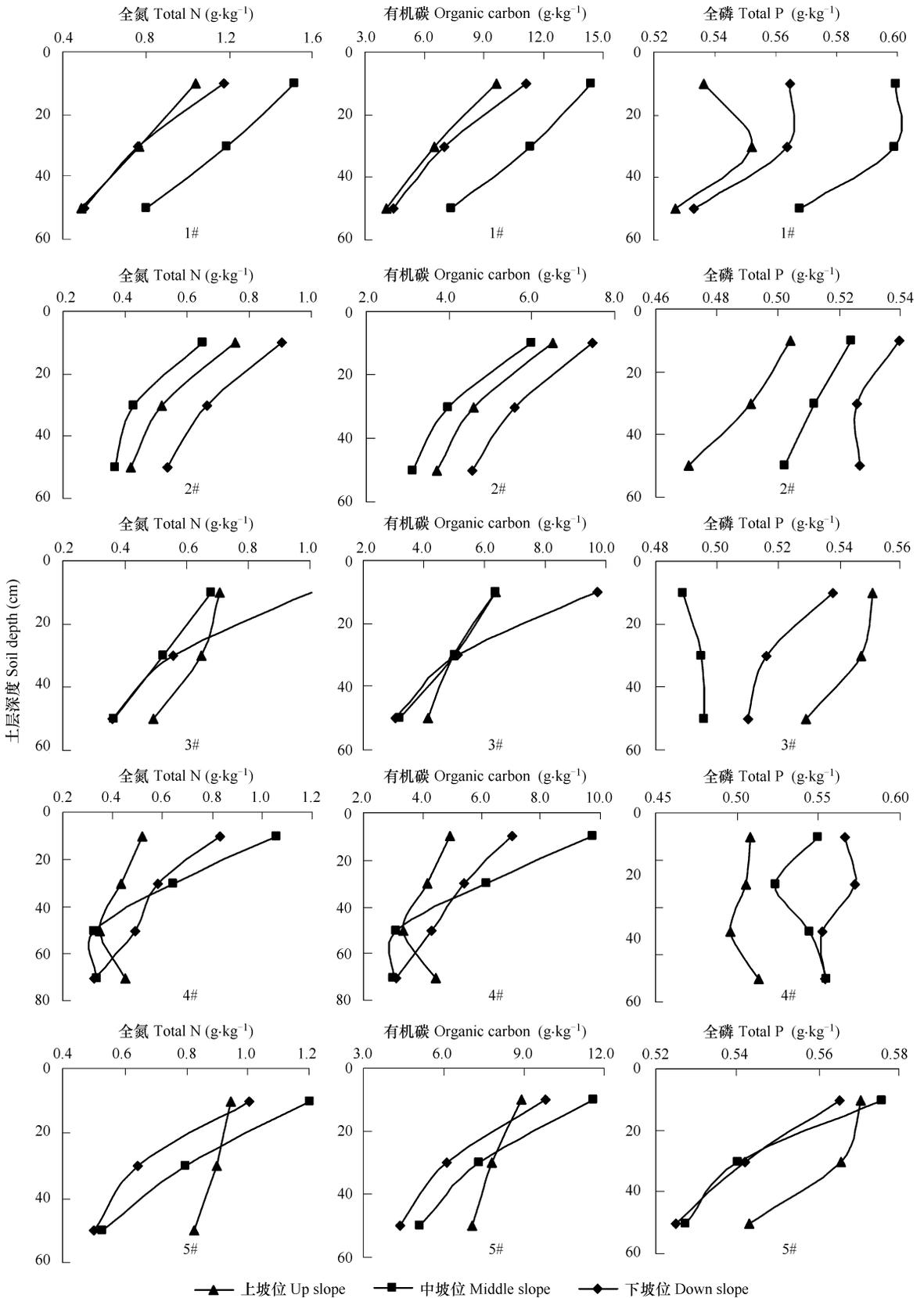


图4 不同坡位土壤养分的剖面分布

Fig. 4 Profile distribution of soil nutrients in different slope positions Soil depth (cm)

的砂化现象。由于细颗粒特别是粘粒本身含有较多的养分,而且还吸附有大量的水溶态养分,因此坡面上部土壤中细颗粒的流失及在坡面的分布是影响坡面土壤养分分布的主要原因。本研究中坡面养分与土壤颗粒分布特征与 Pierson 和 Mulla^[26]及 Gregorich 和 Anderson^[27]的研究结果一致。

坡面长度和坡度共同影响着坡面的水蚀过程^[28-30],从而影响着坡面土壤颗粒的分布。坡面较长时,坡面径流泥沙流出坡面需较长的时间,因而易于在坡面中、下部沉积,由于坡面径流主要携带土壤中的细颗粒,所以2#、3#坡面中下部土壤中 $<0.005\text{ mm}$ 颗粒含量高于坡上部。同时由于2#坡面坡度较小,径流速度较小,坡面径流泥沙更易于沉积,该坡面 $<0.005\text{ mm}$ 颗粒最高值出现的部位比3#坡面更接近于坡顶部。虽然4#坡面最长,但该坡面坡度最大,坡面径流速度快,径流泥沙容易迁移出坡面,所以其坡面 $<0.005\text{ mm}$ 颗粒含量变化不大。尽管1#坡面最短,但该坡面坡度较小,径流泥沙只在坡底部沉积而很难输出坡面,从而使该坡面底部 $<0.005\text{ mm}$ 颗粒含量显著高于坡中、上部。

2.3 不同坡位土壤养分的剖面分布

坡位对土壤养分的剖面分布也有着重要影响。土壤有机碳、全氮和全磷均表现出在坡底部富集的趋势,但这种趋势又因坡面因素和养分种类的不同而异(图4)。由于土壤全氮含量与有机碳含量密切相关,各坡面不同坡位土壤全氮和有机碳含量剖面分布趋势相似。

坡面不同坡位土壤养分剖面分布的差异主要是由坡面土壤性质和坡面养分在降雨侵蚀过程中的再分配所造成的。本区的土壤侵蚀主要发生在坡面,长期的侵蚀冲刷作用使表土中的养分随着径流水由坡顶部向中、下部坡位迁移,因此中、下坡位是上坡位养分流失的一个汇。坡面养分富集的位置和深度因坡的长度和坡度不同而不同。1#、2#坡面坡度小,养分流失较少,而且很难发生在深层(40~60 cm),该坡面3个坡位各土层土壤有机碳、全氮和全磷的变化量相似。所以可以认为1#、2#坡面不同坡位土壤养分剖面分布的差异主要是由坡面土壤性质变异引起的。但1#坡面下坡位0~20cm土层养分含量的增量显著高于20~60 cm土层的增量,故降雨侵蚀对1#坡面表层土壤养分分布也有影响。5#坡面坡度较大,其坡下部上层土壤有机碳和全氮含量均高于坡上部,而底层含量均低于坡上部相应土层,表明此时土壤侵蚀造成的养分流失已成为剖面养分分布的主要因素。4#坡面坡度最大,坡的中、下部有机碳、全氮和全磷所体现出来的富集深度最深,而坡上部的养分流失深度也最深。可见,随着坡度的增加,土壤侵蚀便逐渐成为坡面养分分布的主导因子。坡上部碳、氮养分流失深度也随坡度的增加而加深。由于土壤中磷素不易迁移,不同坡位全磷的剖面分布与坡度的关系较差。

3 结论

(1) 黄土高原沟壑区坡地土壤养分含量随土层加深而降低,坡地土壤有机碳和全氮变异较大,铵态氮和全磷变异较小。 $0.005\sim 0.05\text{ mm}$ 颗粒含量随土层加深而增加, $0.05\sim 1\text{ mm}$ 颗粒含量随土层加深而降低;同一土层中 $<0.005\text{ mm}$ 颗粒含量变化较大, $0.005\sim 0.05\text{ mm}$ 和 $0.05\sim 1\text{ mm}$ 颗粒变化较小。

(2) 坡度和坡长是影响坡面土壤养分和 $<0.005\text{ mm}$ 颗粒分布的主要因素。土壤养分在坡面上的变异性随坡度和坡长的增加而增大。坡面较长时, $<0.005\text{ mm}$ 颗粒易于在坡中、下部累积,坡度较大时则易于迁移出坡面。

(3) 不同坡位土壤养分剖面分布因坡长和坡度不同而异。坡上部碳、氮养分流失的深度也随坡度的增加而加深,而不同坡位全磷的剖面分布与坡度的关系较差。

References :

- [1] Shi Y X, Tang K L. Changes of biological characteristics of soil quality under man-made accelerated erosion. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1998, 4 : 28 - 33, 40.
- [2] Zheng D, Shen Y C. Studies on process, restoration and management of the degrading slope lands — a case study of purple soil slope lands in the three gorges areas. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53 : 116 - 122.
- [3] Zha X C, Tang K L. Change about soil erosion and soil properties in reclaimed forestland of Loess Hilly region. *Acta Geographica Sinica*, 2003,

58 :464—469.

- [4] Tian J L. A primary report for a study on deposition of erosion sediments on slope. *Research of Soil and Water Conservation*, 1997, 4 :57—63.
- [5] Brubaker S C, Jones A J, Lewis D T, *et al.* Soil properties associated with landscape position. *Soil Science Society of America Journal*, 1993, 57 :235—239.
- [6] Ovalles F A, Collins M E. Soil landscape relationships and soil variability in north central Florida. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, 50 :401—408.
- [7] Miller P M, Singer M J, Nielsen D R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. *Soil Science Society of America Journal*, 1988, 52 :1133—1141.
- [8] Bai H Y, Tang K L, Chen W L, *et al.* Studies on the process of soil erosion and nutrient loss in sloping land. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1991, 11 :14—18.
- [9] Flanagan D C, Foster G R. Storm patten effect on nitrogen and phosphorus losses in surface runoff. *Transactions of the ASAE*, 1989, 32 :535—544.
- [10] Lu X X, Shi D M. The law of soil nutrient variation in the erosive inferior land of the quaternary period red clay with the movement of runoff and sediment. *Chinese Soil and Water Conservation*, 1994, 5 :12—15.
- [11] Sharpley A N, Smith S J, Jones O R, *et al.* The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. *Journal Environment Quality*, 1992, 21 :30—35.
- [12] Yuan D H, Wang Z Q, Guo X B, *et al.* Properties of soil and water loss and organic carbon loss from small watershed under different land use patterns in red soil area. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16 :24—28.
- [13] Chen X, Wang Z Q, Yang W D, *et al.* Effects of sloping land use pattern on phosphorus loss in micro-watershed of red soil area, Southern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20 :374—377.
- [14] Yuan D H, Wang Z Q, Chen X, *et al.* Characteristics of nitrogen loss from sloping field red soil area under different cultivation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13 :863—866.
- [15] Zhang X C, Shao M A. Soil nitrogen and organic matter losses under water erosion. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11 :231—234.
- [16] Honeycutt C W, Heil R D, Cole C V. Climatic and topographic relations on three Great Plains soils II Carbon, nitrogen and phosphorus. *Soil Science Society of America Journal*, 1990, 54 :476—483.
- [17] Norton J B, Sandor J A, White C S. Hill slope soils and organic matter dynamics within a Native American agroecosystem on the Colorado Plateau. *Soil Science Society of America Journal*, 2003, 67 :225—234.
- [18] Wang J, Fu B J, Qiu Y, *et al.* Spatio-temporal variability of soil moisture in small catchment on Loess Plateau-semivariograms. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55 :428—438.
- [19] Li Y Y, Shao M A, Zhang X C. Spatial distribution of soil moisture and available phosphorus content on eroded sloping land. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15 :41—44.
- [20] Harris R F, Chesters G, Allen O N. Dynamics of soil aggregation. *Advance in Agronomy*, 1996, 18 :107—169.
- [21] Stone J A, Buttery B R. Nine forages and the aggregation of a clay loam soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 1989, 69 :165—169.
- [22] Monroe C D, Kladviko E J. Aggregate stability of a silt loam soil as affected by roots of corn, soybeans and wheat. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 1987, 18 :1077—1087.
- [23] Huang L, Zhang G Y, Ding S W, *et al.* Study on soil particle losses of eroded purple field. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, 5 :35—39, 85.
- [24] Walling D E. Nutrient and sediment removal by vegetated strips. *Transactions of the ASAE*, 1987, 32 :663—667.
- [25] Xu Y C, Shen Q R. Influence of long-term application of manure on the contents and distribution of organic C, total N and P in soil particle-sizes. *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, 33 :1—7.
- [26] Pierson F B, Mulla D J. Aggregate stability in the Palouse region of Washington : effect of landscape position. *Soil Science Society of America Journal*, 1990, 54 :1407—1412.
- [27] Gregorich E G, Anderson D W. Effects of cultivation and erosion on soils of four toposequences in Canadian prairies. *Geoderma*, 1985, 36 :343—354.
- [28] Wang X Y, Tian J L, Liu P L, *et al.* Study on relationships between slope gradient and soil loess using Cs tracer. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 2004, 18 :390—393.
- [29] Wei T X, Zhu J Z. Effects of slope length and grade on soil erosion in the gully regions in Loess Plateau. *Journal of Beijing Forestry University*, 2002, 24 :59—62.
- [30] Wang X Y, Cao W H, Chen D. Study on relationship between soil erosion and land slope. *Journal of Sediment Research*, 1998 :36—41.

参考文献：

- [1] 史衍玺,唐克丽. 人为加速侵蚀下土壤质量的生物学特性变化. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4:28-33,40.
- [2] 郑度,申元村. 坡地过程及退化坡地恢复整治研究. 地理学报,1998,53:116-122.
- [3] 查小春,唐克丽,黄土丘陵林地土壤侵蚀与土壤性质变化. 地理学报,2003,58:464-469.
- [4] 田均良. 侵蚀泥沙坡面沉积研究初报. 水土保持研究,1997,4:57-63.
- [8] 白红英,唐克丽,陈文亮,等. 坡地土壤侵蚀与养分过程的研究. 水土保持通报,1991,11:14-18.
- [10] 吕喜玺,史德明. 第四纪红黏土侵蚀劣地土壤养分随径流和泥砂的迁移规律. 中国水土保持,1994,5:12-15.
- [12] 袁东海,王兆骞,郭新波,等. 红壤小流域不同利用方式水土流失和有机碳流失特征的研究. 水土保持学报,2002,16:24-28.
- [13] 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,2000,20:374-377.
- [14] 袁东海,王兆骞,陈新,等. 不同农作方式红壤坡耕地土壤氮素流失特征. 应用生态学报,2002,13:863-866.
- [15] 张兴昌,邵明安. 水蚀条件下土壤氮素和有机质流失规律. 应用生态学报,2000,11:231-234.
- [18] 王军,傅伯杰,邱扬,等. 黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征——半变异函数. 地理学报,2000,55:428-438.
- [19] 李裕元,邵明安,张兴昌. 侵蚀条件下坡地土壤水分与有效磷的空间分布特征. 水土保持学报,2001,15:41-44.
- [23] 黄丽,张光远,丁树文,等. 侵蚀紫色土颗粒流失的研究. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5:35-39,85.
- [25] 徐阳春,沈其荣. 长期施用不同有机肥对土壤各粒级复合体中 C、N、P 含量与分配的影响. 中国农业科学,2000,33:1-7.
- [28] 王晓燕,田均良,刘普灵,等. ^{137}Cs 示踪法研究坡度与土壤流失的关系. 核农学报,2004,18:390-393.
- [29] 魏天兴,朱金兆. 黄土残塬沟壑区坡度和坡长对土壤侵蚀的影响分析. 北京林业大学学报,2002,24:59-62.
- [30] 王秀英,曹文洪,陈东. 土壤侵蚀与地表坡度关系研究. 泥沙研究,1998:36-41.