

陕北黄土高原小流域土壤有效铜分布特征

李社新, 李占斌, 张晓霞

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

摘要: 采用分层取样的方法, 对陕北王茂沟小流域土壤有效铜的分布特征进行了研究。在研究区流域内, 土壤有效铜的均值高于黄土区土壤有效铜的临界值; 沟坡部分有效铜含量最高, 崩坡部分有效铜含量最低; 不同坡向有效铜含量大小为: 半阳坡 > 阳坡 > 半阴坡 > 阴坡; 土壤有效铜与有机质在 20—30 cm 土层处相关性最强。

关键词: 土壤有效铜; 地貌部位; 坡向; 有机质; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0114-03

中图分类号: S157.2

Distribution Characteristics of Soil Available Copper in a Small Watershed of North Shaanxi Loess Plateau

LI She-xin, LI Zhan-bin, ZHANG Xiao-xia

(Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

Abstract: The distribution characteristics of available copper in Wangmao gully watershed of Northern Shaanxi Province were investigated using a stratified sampling method. In the studied watershed, the mean value of available copper was higher than the critical value in the loess area. Effective soil copper was found high in slope areas of gullies and low in slope areas of mounds. In terms of slope aspects, the sequence of effective soil copper was semi-sunny slope > sunny slope > semi-shaded slope > shaded slope. The strongest correlation between effective soil copper and soil organic matter was identified in the soil layer of 20—30 cm. The research provides solid evidences for studies regarding the distribution of soil trace elements in Loess Plateau region.

Keywords: soil available copper; landform; slope aspect; organic matter; Loess Plateau

土壤是作物生长发育的基础, 土壤中的养分是决定作物增产的关键因素。土壤铜是植物生长发育必不可少的元素之一。但铜作为植物营养元素对植物的增产效应, 直到 1911 年才被 Lutman 发现, 1931 年 Lipman 证实铜是植物必需的营养元素。随着作为新生长点的微量元素研究向深度和广度发展, 土壤铜在作物增产中所起的重要作用日益为人们所重视^[1]。根据余存祖等^[2]研究, 黄土高原地区有 11% 的土壤缺铁, 48% 的土壤缺锰, 56% 的土壤缺锌, 21% 的土壤缺铜, 土壤微量元素供应不足已经影响到了该区的植物生长。但是该区土壤微量元素含量并不低^[2-3], 因此其有效性不高是微量元素供应不足的主要原因。探讨土壤中有效铜的变化特征对作物增产具有重要

作用。本文以地处陕北黄土高原黄土丘陵沟壑区绥德韭园沟中游左岸王茂沟小流域的支沟关帝沟为研究对象, 采用分层取样的方法, 对流域内土壤有效铜进行研究, 以期研究黄土高原地区土壤微量元素分布特征提供有效依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

王茂沟是黄河水利委员会绥德水土保持科学试验站的试验性治理小流域之一^[4-6]。王茂沟流域是陕北绥德县韭园沟中游左岸的一条支沟, 是无定河的一条二级支沟, 位于东经 110°20'26"—110°22'46", 北纬 37°34'13"—37°36'03"。海拔高度 940~1 188 m, 沟

收稿日期: 2010-06-08

修回日期: 2010-08-11

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于小流域淤积信息的侵蚀产沙与侵蚀环境变化响应研究”(40971161); 陕西省自然科学基金重点项目“陕北能源基地开发建设对水土资源环境演变作用机制研究”(SJ08-ZD02); 国家自然科学基金项目“坡沟系统侵蚀产沙过程与调控机理试验研究”(40771124)

作者简介: 李社新(1972—), 男(汉族), 陕西省周至县人, 在读博士, 工程师, 研究方向为土壤侵蚀与水土保持。E-mail: lishixin@nwpu.edu.cn。

通信作者: 李占斌(1962—), 男(汉族), 河南省镇平县人, 教授, 博导, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: zbli@xaut.edu.cn。

道平均比降为 2.7%,地面坡度一般在 20°以上。流域地貌形态主要为梁、峁以及分隔梁、峁的沟谷组成。地形破碎,沟壑纵横,坡陡沟深。其支沟关帝沟小流域面积为 1.18 km²,有支沟 2 条。流域属大陆性气候,年平均气温 10.2℃,最高气温 39.1℃,最低气温零下 27.1℃,无霜期 160 d 左右。夏季多东南风,春秋多西北风,最大风力达 9 级。流域多年平均降水量 513.1 mm,降水的年际变率大,降水年内分配不均,年内降水主要集中在汛期 7—9 月,且多以暴雨形式出现,汛期降水量占年降水量的 73.1%。治理前,流域年平均侵蚀模数为 18 000 t/(km²·a),侵蚀方式以水力侵蚀和重力侵蚀为主,泥沙流失量的 95%集中在汛期。

1.2 样品采集与分析

2007 年 7 月,在充分查阅已有资料的情况下,结合韭园沟的地形图,在实地踏勘的基础上,对小流域内的土壤样品进行分层采集。共采集样点 75 个,采样过程中,挖掘采样土壤剖面,按由下向上顺序分 4

个层次采集土样,每个采样点分别采集 0—10,10—20,20—30,30—40 cm 土层土壤样品,采 3 次重复组成混合土样。分装后将土样带回实验室进行自然风干,通过 1.0 mm 筛孔处理以供分析测定。土壤有效铜含量用 DTPA 浸提^[7],消化液和浸出液中微量元素含量用北京普析生产的原子吸收分光光度计进行测定。

2 结果与分析

2.1 流域内土壤有效铜分布状况

对流域内取样点土壤有效铜进行分析,结果见表 1。从表 1 可以看出,取样区土壤有效铜均值为 0.555 mg/kg,高于黄土区土壤有效态铜的临界值 0.5 mg/kg^[8],与余存祖等对陕西省土壤微量元素含量的研究结果一致,属于铜元素缺乏的边缘值^[9]。研究区内,土壤有效铜含量在 0—30 cm 土层内随着土层深度的增加而降低,从 0.625 mg/kg 降低到 0.506 mg/kg;在 30—40 cm 土层处上升到 0.529 mg/kg。

表 1 流域内土壤有效铜剖面分布特征

土层深度/cm	均值/(mg·kg ⁻¹)	标准差/(mg·kg ⁻¹)	最大值/(mg·kg ⁻¹)	最小值/(mg·kg ⁻¹)	C _v /%
0—10	0.625	0.213	1.098	0.230	34.08
10—20	0.558	0.192	1.128	0.290	34.41
20—30	0.506	0.154	1.116	0.310	30.44
30—40	0.529	0.185	1.250	0.240	34.97
流域内均值	0.555	0.191	1.250	0.230	34.41

地表植被枯落物的存在,增加了土壤有机质的含量。由于有机质对微量元素的固定吸附性能^[10],且表层土壤微生物的活动分解了有机质,释放出 Cu²⁺,并且合成微生物组织,固定了土壤铜,是 0—10 cm 土层中土壤有效铜含量最高的主要原因。随着土壤种植作物的生长,对土壤中有效铜的吸收利用,加之植物根系的分布特征^[11-12],根系数量越多,对土壤中有效铜的吸收越多,故 0—30 cm 土层中有效铜含量随着土层深度的增加逐渐降低;在 30—40 cm 土层,植物根系数量锐减,对土壤有效铜的消耗减小,并且由于上层土壤有效铜淋溶迁移,在该层有效铜累积。

在土壤科学研究中,可根据土壤性质的变异系数对其变异程度进行分类:变异系数在 0~15%之间的为小变异,16%~35%为中等变异,>36%的为高度变异^[13]。该区土壤有效铜表现出较大的变异性,其变异系数多在 30%~35%之间,属于中等变异土壤性质。这主要是由于土壤受多种环境因素的影响所造成的。

2.2 不同地貌部位土壤有效铜特征

不同地貌部位土壤有效铜含量分布特征见图 1。

从图 1 可以看出,0—10,10—20 和 30—40 cm 土层,有效铜含量均为沟坡>峁顶>峁坡;在 20—30 cm 土层处为沟坡>峁坡>峁顶。其原因可能是取样区位于陕北黄土高原,降雨多以暴雨形式出现,大强度的降雨对地面的打击较强,造成地面土粒分散,降雨侵蚀发生时,坡面物质随径流迁移,土壤有效铜随之流失。流失的有效铜一部分直接输出坡面,于沟道沉积;但是由于坡面长度、产流量大小等因素影响,径流中携带的大量有效铜会在坡面不同部位沉积。即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的砂化现象。峁坡的坡度大,坡陡,大量的黏粒和粉砂粒随水流失,由于土壤质地,特别是黏粒和粉砂粒含量与铜的有效性呈正相关^[1],故峁坡部分土壤有效铜含量最低,沟坡部分有效铜含量最高。峁顶部地势平缓,受阳光直射,土壤温度变差大,土壤湿度很低,通气良好,土壤微生物活动比较旺盛,有机质分解作用强烈,土壤保肥性能比较差。但降雨冲刷较小,土层中黏粒和细粉粒流失较小。峁顶部没有外援的土壤有效铜,故其含量介于两者之间。峁坡

20—30 cm 土层有效铜含量高于岭顶有效铜含量,其原因可能与成土过程中微量元素的淋溶迁移强度有关。

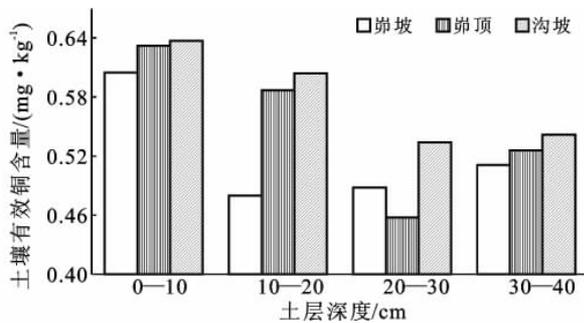


图 1 不同地貌部位土壤有效铜分布

2.3 不同坡向土壤有效铜分布特征

研究中按照不同的坡向取样,统计结果见表 2。从表 2 可以看出,阳坡与半阴坡土壤有效铜在 0—40 cm 土层内随着土层深度的增加逐渐减小,说明土壤有效铜在阳坡和半阴坡发生了向上的生物富集;阴坡有效铜在 0—30 cm 土层范围内随着土层深度的增加而减小,在 30—40 cm 土层处增加,说明在阴坡土壤有效铜发生向上的生物富集和向下的淋溶迁移。半阳坡随着土层深度的增加呈现先减小后增大的趋势,表明有效铜在半阳坡发生向下的淋溶迁移和表层生物富集。

表 2 不同坡向土壤有效铜剖面分布 mg/kg

土层深度	阳坡	阴坡	半阴坡	半阳坡
0—10 cm	0.684	0.572	0.579	0.753
10—20 cm	0.587	0.518	0.544	0.577
20—30 cm	0.489	0.445	0.494	0.597
30—40 cm	0.462	0.499	0.497	0.647
流域平均	0.556	0.509	0.529	0.644

不同坡向有效铜含量的大小顺序为:半阳坡>阳坡>半阴坡>阴坡。由于水热分布的不均匀,阳坡受日光直射,土温升高,土壤中有机质分解速度加快,有机质对土壤有效铜的固定能力减弱,有效铜含量较小。土壤含水量的大小顺序为阳坡<半阳坡<半阴坡<阴坡。由于水分状况影响铜的可给性,研究区土壤偏碱性,渍水后引起 pH 值的可逆变化,土壤的 pH 值趋于下降,这对土壤中可给性铜的平衡浓度产生重大影响。一方面 pH 值和氧化还原电位发生改变,铁锰氧化物被还原,其所吸附和包被的铜被释放,并且由于土壤溶液中的 Fe^{2+} , Mn^{2+} 浓度升高,可部分代换吸附的铜,使铜的有效性提高;另一方面,渍水条件下,有机质分解缓慢,不利于有机态铜的释放。上述 2 个方面互相消长控制了土壤铜的可给性^[1]。但是半阳坡光照小于阳坡,土壤有机质分解较慢,由于有

机质对土壤有效铜的络合能力,使得半阳坡的土壤有效铜含量高于阳坡的含量。

2.4 土壤有效铜与有机质关系研究

土壤有效铜与有机质之间关系密切,对采样区土壤有效铜与有机质关系进行分析,得到结果见表 3。从表 3 可以看出,有机质与土壤有效铜之间的判定系数(R^2)在 0—10 cm 土层和 20—30 cm 土层较大,30—40 cm 土层处最低,且在 20—30 cm 土层处,判定系数(R^2)最大;0—10 cm 与 10—20 cm 土层,判定系数相近,差异不大;30—40 cm 土层判定系数最小。由于采样区没有外来肥料的施用,故土壤中有有机质主要来自动植物残体的腐解以及植物根系、土壤动物和微生物的分泌物。由于植物根系的分布特点^[12-13],在 0—30 cm 土层分布着绝大部分的植物根系,且<1 mm 的须根的分布情况也是随着土层深度的增加,根系数量逐渐减小。在 30—40 cm 土层,植物根系较少,根系分泌物也较少,土壤中有机质含量较低,对土壤有效铜的络合作用减弱,故判定系数最小,说明该层土壤有效铜与有机质的相关关系不显著,这也与植物根系分布特征一致。

表 3 土壤有效铜与有机质统计分析

土层深度/cm	R^2	Sig.	回归方程
0—10	0.778	0.020	$y = e^{1.147 - 38.655/x}$
10—20	0.763	0.023	$y = -2.064 + 0.115x$
20—30	0.934	0.002	$y = 0.063(1.094)^x$
30—40	0.226	0.681	$y = -9.652 + 0.058x^2 - 0.002x^3$

3 结论

(1) 研究区流域内土壤有效铜均值为 0.555 mg/kg,高于黄土区土壤有效态铜的临界值 0.5 mg/kg;不同土层土壤有效铜表现出较大的变异性,其变异系数多在 30%~35%之间,属于中等变异土壤性质。这主要是因为土壤受多种环境因素的影响所造成的。

(2) 不同地貌土壤有效铜之间的差异主要是由于径流冲刷和沉积引起的;不同坡向土壤有效铜之间的差异主要是由于水热分布情况引起的。

(3) 土壤有效铜与有机质在 20—30 cm 土层判定系数最大,这主要与植物根系分布有密切关系。

[参 考 文 献]

- [1] 王云,魏复盛.土壤环境元素化学[M].北京:中国环境科学出版社,1995:1-41.
- [2] 余存祖,彭琳,刘耀宏,等.黄土区土壤微量元素含量分布与微肥效应[J].土壤学报,1991,28(3):317-326.

(下转第 210 页)

段,得出 2011 年,2016 年,2021 年 3 个阶段的总人口与耕地变化的预测值。同时,为了检验该模型的精度,根据后验比 C 和小误差概率 P 对模型进行诊断($C < 0.35, P > 0.95$, 为很好; $C < 0.5, P > 0.8$ 为良好)可知,得出的预测值具有可信度(表 4)。通过预测得出未来 15 a 乌拉特前旗人口呈增长趋势;而相应的耕地面积呈下降趋势。

表 4 乌拉特前旗总人口、耕地面积变化预测值

因素	预测值			评价模型
	2011 年	2016 年	2021 年	
总人口/ 10^4 人	34.562	35.187	35.762	$C=0.287\ 2$ $P=0.948\ 3$
耕地面积/ $10^4\ \text{hm}^2$	14.036	13.851	13.715	$C=0.436\ 5$ $P=0.824\ 4$

4 结论

(1) 自 1957 年以来,乌拉特前旗人均耕地面积总体处于波动中下降趋势,人地矛盾特别突出。

(2) 主成分分析结果表明,影响乌拉特前旗耕地变化的 8 个因子在社会因素方面最后归纳为农业现代化水平、总人口和受教育程度。从单个因子分析来看,农林牧区用电量、农业化肥施用量、农牧民人均纯收入、总人口、耕地面积、农业机械总动力是影响耕地变化的重要驱动因子。

(3) 根据预测,未来 15 a,乌拉特前旗耕地面积呈缓慢下降趋势,人均耕地显著减少。因此,严格控制人口数量,提高人口质量,加快农业现代化设施在农耕生产中的应用,严格限制草场、荒地等非耕地面积的开垦,保护可耕地面积,提高地力等方式是解决该区耕地资源短缺和退化的主要方式。

[参 考 文 献]

- [1] 张均岩,贾绍风,高婷. 石家庄城市化进程中的耕地变化[J]. 地理学报,2003,58(4):620-628.
- [2] 宋开山,刘殿伟,王宗明. 三江平原过去 50 年耕地动态变化及其驱动力分析[J]. 水土保持学报,2008,22(4):75-81.
- [3] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆被变化国际研究动向[J]. 地理学报,1996,51(6):553-557.
- [4] 孙国军,刘普幸,潘竟源,等. 甘肃省通渭县现代农业影响因子分析及对策研究[J]. 水土保持通报,2009,29(1):179-186.
- [5] 刘普幸,程英. 近 60 年来敦煌绿洲耕地动态变化与预测研究[J]. 土壤,2008,40(6):890-893.
- [6] 乌拉特前旗统计局. 乌拉特前旗统计年鉴(1956—2006)[Z]. 内蒙古:乌拉特前旗统计局,1956-2006.
- [7] 赵明. 内蒙古人均粮食变化研究[J]. 经济地理,2001,21(4):492-495.
- [8] 史娟,张凤荣,赵婷婷. 1998—2006 年中国耕地资源的时空变化特征[J]. 资源科学,2008,30(8):1191-1198.
- [9] 余存祖,刘耀宏,戴鸣钧,等. 陕西省土壤微量元素含量与微肥效应[J]. 土壤通报,1984,15(06):268-271.
- [10] Mathieu P, Aline D, Melanie D, et al. Insights into colloid-mediated trace element release at the soil/water interface[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2008,325:197-197.
- [11] 李勇,张晴雯,李璐,等. 黄土区植物根系对营养元素在土壤剖面中迁移强度的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(4):427-434.
- [12] 李鹏,李占斌,郝明德,等. 黄土高原天然草地根系主要参数的分布特征[J]. 水土保持研究,2003,10(1):144-145,149.
- [13] Nielson D R, Bouma J. Soil Spatial Variability [M]. Wageningen: Purdoc., 1984:166-193.
- [3] 魏复盛,陈静生,吴燕玉,等. 中国土壤环境背景值研究[J]. 环境科学,1991,12(4):12-19.
- [4] 龚时暘,蒋德麒. 黄河中游丘陵沟壑区沟道小流域的水土流失及治理[J]. 中国科学,1978,11(6):978-982.
- [5] 常茂德. 陇东黄土高原沟道小流域的土壤侵蚀[J]. 水土保持通报,1986,6(3):56-60.
- [6] 侯建才,李勉,李占斌,等. 基于淤地坝淤积信息的小流域泥沙来源及产沙强度研究[J]. 西安理工大学学报,2007,23(2):119.
- [7] Lindsay W L, Norvell W A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper [J]. Soil Science Society of America Journal, 1978,42:421-428.
- [8] 余存祖,彭琳,刘耀宏,等. 黄土区土壤微量元素含量分布与微肥效应[J]. 土壤学报,1981,28(3):317-326.

(上接第 116 页)