

# 青海省黄土丘陵区土壤微量元素空间 变异特征及有效性

赵串串<sup>1</sup>, 宋柄泽<sup>1</sup>, 孟汉龙<sup>1</sup>, 赵巧玉<sup>1</sup>, 安若兰<sup>1</sup>, 董旭<sup>2</sup>

(1. 陕西科技大学 资源环境学院, 陕西 西安 710021; 2. 青海省林业调查规划院, 青海 西宁 810008)

**摘要:** 对青海省黄土丘陵区土壤中主要微量元素的空间变异特征及动态变化进行了研究。结果表明, 研究区域中的有效态微量元素铁、铜、锌、硼均属较高变异, 有效锰属于中度或高度变异。从土系来看, 黑褐土、黑钙土的各有效态微量元素含量均达到丰富级(高), 灌淤土的有效态微量元素均远低于临界值。从土壤分层来看, 其变异系数变化不大。灌木林地土壤微量元素相对缺乏, 仅有效硼达丰富级, 混交林地的有效态微量元素含量均达到中高水平。

**关键词:** 黄土丘陵区; 微量元素; 有效性评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)06-0109-04

中图分类号: S718.5

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.027

## Spatial Variability and Its Effectiveness of Trace Elements in Soil of Loess Hilly Region of Qinghai Province

ZHAO Chuan-chuan<sup>1</sup>, SONG Rui-ze<sup>1</sup>, MENG Han-long<sup>1</sup>, ZHAO Qiao-yu<sup>1</sup>, AN Ruo-lan<sup>1</sup>, DONG Xu<sup>2</sup>

(1. College of Resource and Environment, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an,

Shaanxi 710021, China; 2. Qinghai Provincial Forest Inventory and Planning Institute, Xining, Qinghai 810008, China)

**Abstract:** The spatial distribution and dynamic change of main trace elements in soil were studied in the loess hilly region of Qinghai Province. The result showed that the effective trace elements Fe, Cu, Zn, B had higher variability, Mn had higher or moderate variability. In view of soil series, the effective state of trace elements in the Dark Cinnamon and the Chernozem reached the rich level (high level), while that in the irrigated soil was far below the threshold. From the view of the soil stratification, the coefficient of variation changed little. In the shrubbery forest lands, soil trace elements were lacking relatively expect available B which just reached to the rich level. However all the trace elements reached the high levels in the mix forest lands.

**Keywords:** loess hilly region; trace element; effectiveness evaluation

土壤微量元素的空间分布特征受成土母质和外界输入长期作用的结果<sup>[1]</sup>, 是土壤空间异质性具体表现<sup>[2]</sup>。土壤中微量元素是土壤的重要组成成分, 是表征土壤质量的重要因子之一, 任何一种微量元素缺乏或过量都会影响作物的生长, 并且间接影响到人与动物的健康等<sup>[3]</sup>。自 20 世纪 90 年代以来, 许多学者对土壤微量元素的空间变异规律做了较多研究。冉勇等<sup>[4]</sup>应用选择性化学浸提法对黄土区土壤中锌的化学形态空间分布进行了分析研究; 徐尚平等<sup>[5]</sup>利用克里金法对内蒙古土壤微量元素含量的空间结构特征进行了分析; 于君宝等<sup>[6]</sup>系统地研究了三江平原河床

泥炭地微量元素和有益元素的垂直分布特征。

诸如此类的研究中较多的研究地区选择平原地区, 并且较少的考虑土壤类型、林型、土壤养分、理化性质等综合因素对土壤微量元素空间分布的影响, 而黄土高原地区水土流失严重, 生态环境脆弱, 关系到西部生态环境建设的成效<sup>[7-9]</sup>。近年研究认为微量元素在土壤中有着至关重要的作用, 当土壤中缺乏某种微量元素时, 会导致植被出现缺素症状, 通常表现为叶色变异, 组织坏死及生长点萎缩或死亡。因此, 研究该地区的土壤微量元素空间变异特征及其影响因素, 能够更好地满足区域植被的生长, 对于揭示该地

收稿日期: 2013-05-12

修回日期: 2014-01-06

资助项目: 青海公益林监测横向项目

作者简介: 赵串串(1976—), 女(汉族), 陕西省西安市人, 硕士, 副教授, 主要从事流域水环境模拟与生态环境保护方面的研究。E-mail: sxkjdxzcc@126.com。

区乃至整个黄土高原地区的土壤质量状况以及区域生态环境保护都具有重要的理论和现实意义。本研究选取黄土丘陵沟壑区研究区,利用地统计学的方法来研究土壤微量元素的空问变异特征,通过土壤类型、土壤养分、pH 值、有机质及林型对该地区土壤微量元素空问分布的影响,从而为该地区植被恢复与重建提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

青海省黄土丘陵区位于青海省东部黄土高原和青藏高原的过渡地带,属典型的干旱半干旱大陆性气候,高寒、干旱,日照时间长,太阳辐射强,雨热同季,日温差大,年温差大,气候地理分布差异大,垂直变化明显是其主要气候特征。于 2012 年 9—12 月在监测区域内位于青海省黄土丘陵沟壑区进行采点取样,林地面积  $1.81 \times 10^6 \text{ hm}^2$  (林地面积参考 2009 年森林资源更新调查数据)占土地总面积的 50.70%,其中灌木林地面积  $1.01 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,占 55.54%。北部以大通河为界,南部以西倾山为界,西到日月山,东为省界,土地总面积  $3.45 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。包括 3 州 1 市 1 地(区),共计 14 个县市,年均气温  $2.8 \sim 7.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ,降水量  $360 \sim 540 \text{ mm}$ (大部分集中在 6—9 月),蒸发量  $1100 \sim 1800 \text{ mm}$ ,无霜期  $68 \sim 184 \text{ d}$ ,风速  $1.2 \sim 2.8 \text{ m/s}$ 。监测区土壤随地形、海拔、气候、成土母质的综合影响

而有比较明显的差异,呈明显的垂直地带性分布,由低到高依次为灰钙土、栗钙土、黑钙土、灰褐土、山地草甸土、高山草甸土、高山寒漠土 7 个地带性土壤类型。非地带土壤有沼泽土、灌淤土、风沙土、潮土和新积土 5 个土类。林型包括灌木林、乔木针叶林、乔木阔叶林以及针阔混交林。

### 1.2 样地布设与样品采集

根据不同土壤类型设置 72 个样地,共采集 272 个土壤样品,土壤样品类别分别为:A 层 0—10 cm, B 层 10—30 cm, C 层 30—100 cm 及混合层 0—100 cm,样点位置根据土壤类型采用 GPS 定位分布。野外采集的土壤样品在室内风干后,再按分析要求研磨成不同粒度。

### 1.3 分析方法

有效态硼元素含量是用热水按 1:5 的土液比提取,再用姜黄素比色法测定提取液中硼元素含量。土壤中有效态铜、铁、锰、锌是用 0.005 M DTPA 浸提—原子吸收法光谱测定法测定其含量<sup>[10]</sup>。用 SPSS 19.0 软件进行相关性分析。

## 2 各层土壤微量元素有效态含量分布

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%之间的为中等变异,>36%的为高度变异<sup>[11]</sup>。对试验结果进行统计分析,结果详见表 1。

表 1 土壤微量元素有效态含量剖面分布特征

土层/cm	统计特征	铜/(mg·kg <sup>-1</sup> )	铁/(mg·kg <sup>-1</sup> )	锰/(mg·kg <sup>-1</sup> )	锌/(mg·kg <sup>-1</sup> )	硼/(mg·kg <sup>-1</sup> )
A 层 0—10	标准差	0.27	13.57	1.48	0.71	1.05
	均值	0.67	21.70	4.13	1.24	1.55
	变异系数/%	40.30	62.53	35.84	57.26	67.74
B 层 10—30	标准差	0.26	13.58	1.34	0.25	0.51
	均值	0.62	19.98	3.80	0.54	1.18
	变异系数/%	41.94	67.97	35.22	46.30	43.22
C 层 30—100	标准差	0.31	12.57	1.22	0.23	0.78
	均值	0.67	18.68	3.87	0.47	1.27
	变异系数/%	46.27	67.29	31.52	48.94	61.42
混合层 0—100	标准差	0.28	12.30	0.92	0.38	0.72
	均值	0.68	19.35	3.66	0.71	1.20
	变异系数/%	41.18	63.57	25.14	53.52	60.00

从表 1 可以看出,有效态铜在 0—100 cm 土层之间的变异系数为 40.39%~46.27%属于高度变异土壤性质,有效态铁在 0—100 cm 土层之间的变异系数为 62.53%~67.97%属于高度变异土壤性质,有效态锰在 0—100 cm 土层之间的变异系数为 25.14%~

31.52%和 35.22%~35.84%分别为中等变异和高度变异,有效态锌在 0—100 cm 土层之间的变异系数为 46.30%~57.26%属于高度变异,有效态硼在 0—100 cm 土层之间的变异系数为 43.22%~67.74%也属于高度变异。从数据来看,今后在该区域的工作中

只需要研究表层土壤即可;5种微量元素有效态的变异系数均较大。其主因可能与调查样地的复杂地貌有关,由于研究区有山地、丘陵、峡谷、盆地等类型,土壤的成土母质和微气候均存在较大差异,因而其变异系数较大。

元素在土壤剖面中的分布受到多种因素影响而表现出不同分布类型,一般有表层富集型、某一层位富集型、底层富集型、均匀富集型及不规则分布型<sup>[12]</sup>。所测区域除了B层有效硼含量较低外,其他各层各微量元素有效态含量基本属平均分布,因此研究区域属于均匀富集型。

### 2.1 不同土壤类型下混层土有效态微素含量分布

在所测土系中,各微量元素有效态含量总体趋势结果详见表2。草甸土铁多锌少,黑褐土铜锰铁锌均多,沙壤土铁多硼多,棕钙土含量均少,灌淤土的各种微量元素含量均达最低水平,表明灌淤土其本身土质状况较差,灰棕漠土铜锰少,高山漠土铜锰均缺。此五种微量元素的变异系数较在35.8%—67.7%,均属于高度变异,表明土壤理化性状及不同农业利用方式对有效态含量的影响明显来源于母质的影响;土壤微量元素有效态又易受到外在因子影响,因而其变异系数较大。

### 2.2 不同林型下混层土有效态微素量分布

在不同林型下,各微量元素有效态平均含量总体趋势详见表3。由表3可知,所测林型中有效铁、有效

硼含量均高其均值分别为23.948和1.468 mg/kg,各林型中有效铜含量适中,其均值为0.560 mg/kg,灌木林中有效锰含量较低为3.625 mg/kg,乔木阔叶林的有效锰和有效锌含量均缺乏分别为4.507和0.486 mg/kg,可以发现针阔混交林的各微量元素含量都达到中高水平,从而使有效态锌和锰的含量提高;另外从变异系数情况来看除有效铁属于高度变异达41.1%外,其余4种有效态微量元素均处于中等变异从23.4%~23.2%,说明这几种微量元素有效态含量受耕作、施肥和种植等人为活动的影响较为显著。

表2 不同土壤类型下混合层土壤

土系	有效态微量元素含量分布 mg/kg				
	有效铜	有效铁	有效锰	有效锌	有效硼
草甸土	0.402	36.055	3.180	0.235	0.775
高山草甸土	0.755	23.665	4.183	2.010	1.298
高山草原土	0.569	25.339	3.176	0.858	1.231
高山漠土	0.410	25.860	2.335	1.380	1.924
灌淤土	0.970	8.105	4.355	0.448	0.601
黑钙土	0.900	40.024	5.686	2.246	1.406
黑褐土	1.187	40.453	7.002	1.707	1.625
灰褐土	0.724	30.004	5.658	0.951	1.050
灰棕漠土	0.618	9.285	3.468	0.743	4.403
栗钙土	0.702	13.100	5.158	0.794	1.418
沙壤土	0.280	2.741	2.689	2.376	2.382
棕钙土	0.445	5.715	2.613	1.090	0.467

表3 有效态微量元素在不同林型下的含量水平

林型	有效铜/(mg·kg <sup>-1</sup> )	有效铁/(mg·kg <sup>-1</sup> )	有效锰/(mg·kg <sup>-1</sup> )	有效锌/(mg·kg <sup>-1</sup> )	有效硼/(mg·kg <sup>-1</sup> )
灌木林	0.374	16.692	3.625	0.882	1.360
乔木针叶林	0.530	28.525	6.189	0.713	0.962
乔木阔叶林	0.725	14.948	4.507	0.486	1.059
针阔混交林	0.611	35.626	7.231	0.698	1.256
标准差	0.148	9.848	1.625	0.162	0.181
均值	0.560	23.948	5.388	0.695	1.159
变异系数/%	26.4	41.1	30.2	23.4	15.6

## 3 微量元素有效态含量与土壤理化性质的关系

土壤酸碱度是土壤重要的性质之一,是土壤形成过程和熟化培肥过程的一个指标。土壤有机质对土壤形成、土壤肥力、环境保护及农林业可持续发展等方面都有着极其重要的作用和意义,基于其他研究资料的关系,在这里仅对pH值、有机质这两种理化性质与土壤微量元素做相关分析。

### 3.1 与土壤pH值的关系

从表4可见,本研究中土壤有效态铁、锰、锌与土

壤pH值之间存在负相关关系,其中土壤有效铁呈极显著负相关性( $r=-0.810^{**}$ ),土壤有效锌呈极显著负相关性( $r=-0.259^{**}$ ),土壤有效锰呈显著负相关性( $r=-0.145^*$ ),土壤有效硼呈显著正相关性( $r=0.143^*$ ),由此可见,pH值越高的地区,土壤中有效铁、有效锰、有效锌的含量越低,相反有效硼含量会随pH值上升而升高。

表4 土壤pH与微量元素有效含量的相关性 mg/kg

元素	有效铜	有效铁	有效锰	有效锌	有效硼
pH值	0.009	-0.810 <sup>**</sup>	-0.145 <sup>*</sup>	-0.259 <sup>**</sup>	0.143 <sup>*</sup>

注:\*表示显著水平 $\alpha=0.05$ ,\*\*表示极显著水平 $\alpha=0.01$ 。下同。

### 3.2 土壤微量元素有效态含量与土壤有机质的关系

从表 5 可以看出,土壤有效铁与有机质之间存在着极显著正相关关系( $r=0.730^{**}$ ),土壤有效锌与有机质之间存在着极显著正相关关系( $r=0.392^{**}$ )说明有机质对提高有效铁、有效锌的含量有显著促进作用。这主要是由于土壤有机质的酸性基团可以活化土壤铁、锌,从而形成可溶性铁、锌的络合物,增加其有效性。土壤有效铜与土壤有机质之间存在负相关性( $r=-0.044$ )但未达到显著水平,土壤有效锰、硼与土壤有机质之间存在正相关性( $r$  值分别为 0.077,0.008),未达到显著水平。

表 5 土壤有机质与微量元素有效含量的相关性 mg/kg

元素种类	有效铜	有效铁	有效锰	有效锌	有效硼
有机质	-0.044	0.730**	0.077	0.392**	0.008

表 6 土壤微量元素有效态分级<sup>[14,15]</sup>与各级出现频率

元素种类	样品数	临界值/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	养分分级含量/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )				各级含量出现频率%			
			极低	低	中	高	极低	低	中	高
Cu	272	0.2	<0.1	0.1~0.2	0.21~1.0	>1.0	1.47	1.83	74.26	22.44
Fe	272	4.5	<2.5	2.5~4.5	4.6~10.0	>10.0	8.45	8.46	19.12	63.97
Mn	272	7.0	<3.0	3.0~7.0	7.1~15.0	>15.0	37.13	50.37	10.66	1.84
Zn	272	0.5	<0.3	0.3~0.5	0.51~1.0	>1.0	22.79	29.78	25.74	21.69
B	272	0.5	<0.25	0.26~0.5	0.51~1.0	>1.0	0.74	2.94	14.34	81.98

## 5 结论

(1) 监测区林地土壤有效态微量元素铁、铜和硼的养分状况达到中等和丰富水平的比例在 90% 以上;锰元素和锌元素养分状况分布在低和极低水平,依次是 87.50%和 47.43%。通过对土壤剖面样品的对比分析,监测区土壤剖面微量元素养分状况呈现均匀富集型。不同土系,黑褐土、黑钙土的五种有效态微量元素含量均处于丰富级(高),灌淤土的各种微量元素含量均处于极低水平,其主要原因是灌淤土的成土母质为沙壤土,沙壤土中有机质分解快、积累下来的比较少,由此导致土壤保肥性差,各种养分都比较贫乏。因此可以人为提高灌淤土的常量养分状况,以提升土壤的微量元素状况。

(2) 土壤有机质是土壤养分贫瘠的显著性指标之一,分析结果表明有机质与有效铁、有效锌呈极显著正相关,因此在今后的造林工作中可以通过调整土壤有机质含量,提升土地肥力,一定程度上提升土壤有效态微量元素的水平。

(3) 监测区灌木林相比其他林型,有效铜、有效铁、有效锰含量均较低;混交林相比其他纯林型各微量元素含量均较高,而监测区灌木林地面积占到总林

## 4 土壤微量元素的等级评价

土壤中微量元素缺乏与否,通常看有效态含量的高低<sup>[13]</sup>。根据土壤微量养分供应能力,参考西北水保所、南京土壤所土壤微量元素分级标准,甘肃省土壤养分丰缺分级标准,结合青海省土壤养分含量,将所测区域土壤微量元素的有效态含量分为极缺(极低)、缺(低)、中等(中)、丰富(高)等 4 个等级(表 2)。从表 6 可以看出,铁、铜、硼 90% 以上分布在中等和丰富级;锰、锌两元素分布在丰富级的出现频率分别为 1.84%,21.69%,且两元素中级的出现频率分别达到 10.66%,25.74%;这表明所测区域土壤硼和铁元素含量极其丰富,铜元素含量也比较丰富;锰有 87.50% 样品分布在低或极低的水平;而锌元素均等。

地面积的 1/2,建议在以后的造林工作中,应适量种植混交乔木林,以优化区域灌木林群落结构,改善土壤的物理性质,以更好地满足区域植被的生长,从而更好地保护区域生态环境。

### [参 考 文 献]

- [1] 张泽浦,王学军. 土壤微量元素含量空间分布的条件模拟[J]. 土壤学报,1998,35(3):423-429.
- [2] Huggett R J. Soil chronosequences, soil development, and soil evolution: A critical review [J]. Catena, 1998, 32(3):155-172.
- [3] 张晓霞,李占斌,李鹏. 黄土高原草地土壤微量元素分布特征研究[J]. 水土保持学报,2010(5):45-48.
- [4] 冉勇,彭琳. 黄土区土壤中锌的化学形态分布及有效性研究[J]. 土壤通报,1993,24(4):172-174.
- [5] 徐尚平,陶澍,徐福留,等. 内蒙土壤微量元素含量的空间结构特征[J]. 地理学报,2000,55(3):337-345.
- [6] 于君宝,王金达,刘景双. 三江平原泥炭地微量元素垂直分布特征[J]. 生态环境,2003,12(4):398-400.
- [7] 黄奕龙,傅伯杰. 黄土高原水土保持建设的环境效应[J]. 水土保持学报,2003,17(1):29-32.
- [8] 李凤民,徐进章,孙国钧. 半干旱黄土高原退化生态系统的修复与生态农业发展[J]. 生态学报,2003,23(9):1901-1909.

(下转第 117 页)

- [5] Bin-Shafique S, Rahman K, Yaykiran M, et al. The long-term performance of two fly ash stabilized fine-grained soil subbases[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2010, 54(10): 666-672.
- [6] Ahmed A, Ugai K. Environmental effects on durability of soil stabilized with recycled gypsum[J]. Cold Regions Science and Technology, 2011, 66(2): 84-92.
- [7] Sobhan K, Das B M. Durability of soil-cements against fatigue fracture[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2007, 19(1): 26-32.
- [8] 贺行洋,陈益民,张文生. 土的组成、结构与固化技术[J]. 岩土工程技术, 2003(3): 129-133.
- [9] 韩苏建,郭敏霞,李宁. 黄土地区渠道防渗固化剂初探[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 60-62.
- [10] 李圣君,哈图,苏跃宏,等. 固化风沙土抗冻性能试验研究[J]. 低温建筑技术, 2012(8): 4-6.
- [11] 郑军,阎长虹,夏文俊,等. 干湿循环对新型固化土承载强度影响的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S1): 3051-3056.
- [12] 周永祥,阎培渝. 不同类型盐渍土固化体的干缩与湿胀特性[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(11): 1653-1658.
- [13] 张丽萍,张兴昌,孙强. SSA 土壤固化剂对黄土击实、抗剪及渗透特性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 1002-6819.
- [14] 张丽萍,张兴昌,孙强. EN-1 固化剂加固黄土的工程特性及其影响因素[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(4): 60-65.
- [15] 周炜,娄宗科,谭明. 纤维固化土抗渗性试验研究[J]. 水资源与水工程学报, 2008, 19(6): 96-98.
- [16] Kenai S, Bahar R, Benazzoug M. Experimental analysis of the effect of some compaction methods on mechanical properties and durability of cement stabilized soil[J]. Journal of Materials Science, 2006, 41(21): 6956-6964.
- [17] 张巨松,金亮,刘志鑫,等. 硫铝酸盐基土壤固化剂性能试验[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版, 2012, 28(1): 116-122.
- [18] 中华人民共和国水利部. GB/T50123—1999 土工试验方法标准[S]. 北京:中国计划出版社, 1999.
- [19] 交通部公路科学研究院. JTG/E51—2009 公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S]. 北京:人民交通出版社, 2009.

(上接第 112 页)

- [9] 宋丰骥,常庆瑞,钟德燕,等. 黄土丘陵沟壑区土壤微量元素空间变异特征及其影响因素[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(1): 36-42.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1978.
- [11] Cao Zhihong, Zhang Hongcheng. Phosphorus losses to water from lowland rice fields under rice-wheat double cropping system in the Tai Lake region [J]. Environmental Geochemistry and Health, 2004, 26(2): 229-236.
- [12] 杜俊平,廖超英,田联合会,等. 长白山自然保护区土壤重金属含量及其分布特征研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 22(3): 84-87.
- [13] 马扶林,宋理明,王建民. 土壤微量元素的研究概述[J]. 青海科技, 2009, 16(3): 32-36.
- [14] 林蔚新. 土壤微肥肥效及有效态微量元素分级[J]. 甘肃科技, 2003, 19(10): 145-145.
- [15] 王建中,陈立,徐建明. 黄土丘陵区不同地貌类型地球化学分布特征[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(1): 125-130.