

湖北省黄棕壤若干微量元素 环境地球化学特征*

洪松¹ 郑泽厚² 陈俊生¹

(1 北京大学城市与环境学系, 北京 100871) (2 湖北大学地理学系, 武汉 430062)

摘要 在湖北省黄棕壤上采集 32 个土样, 研究了微量元素 B、Mn、Fe、Cu、Zn 和 Mo 的总含量、有效态含量、它们在土壤剖面中的迁移分布等环境地球化学特征及其影响因素。所得结果如下: (1) 湖北黄棕壤 B、Mn、Fe、Cu 的总含量较丰富, Zn 的总含量中等, Mo 的总含量缺乏; B、Cu、Zn、Mo 的有效态含量较缺乏; (2) 各微量元素总含量在黄棕壤剖面中的分布均以心土层中最高, 而有效态含量均以表土层中最高; (3) Zn、Mo 的有效态含量与总含量呈显著或极显著正相关; B、Mo 的有效态含量与黄棕壤 pH 值呈极显著正相关, Fe、Zn 有效态含量则与 pH 值呈显著负相关; 除 Fe 外其他微量元素的有效态含量均与土壤有机质含量呈显著或极显著正相关。

关键词 湖北省, 黄棕壤, 微量元素

中图分类号 S153.6⁺1, X820.1

湖北省是我国重要的农业大省, 在农业生产发展过程中由于 N、P 肥施用量增加, 导致土壤—植物系统中营养元素不平衡, 从而引起缺 B、Mn、Fe、Cu、Zn 和 Mo 的现象较为严重。除了 B 对动物的作用尚无定论外, 上述元素都被认为是动植物正常生长所必需的养分^[1]。黄棕壤是湖北省主要地带性土类, 面积约 600.1 万 hm^2 , 占湖北省土地总面积的 1/3, 主要分布在鄂西北山地、鄂北岗地、鄂中丘陵和鄂东大别山低山丘陵区, 其中耕地约有 58.3 万 hm^2 , 余为落叶—常绿阔叶林—针叶林覆盖。成土母质主要为第四纪上更新统黄褐色亚粘土(Q₃)、其次是砂页岩、花岗岩、花岗片麻岩和安山岩等风化产物。研究黄棕壤中各微量元素的环境地球化学特征, 对于湖北耕地合理施用微量元素肥料、保护土壤环境、防治动植物缺素症和地方病具有重大意义。

1 材料和方法

1.1 样品采集

以黄棕壤各亚类及土属(成土母质类型)为采样基本单元, 在湖北省黄棕壤地带确定 32 个采样点的

* 中国科技部立项、澳大利亚国际农业研究中心和湖北省教委资助的国际合作项目部分成果

收稿日期: 1999-10-08; 收到修改稿日期: 2000-02-15

位置。每一剖面分三层采集,即表土层(0~20cm)、心土层(20~60cm)和底土层(60~100cm)。取土样时注意只采集未与铁质取土器壁接触的土体。土样经风干研磨后过 20 目(测有效态含量)和 100 目尼龙筛(测总含量)制成分析样品,贮于塑料瓶中备用。

1.2 样品的化学分析方法

黄棕壤理化性质分析测试均根据文献 [2] 进行。土样中 B 的总含量和有效态含量姜黄素比色法测定,其它微量元素 (Mn、Fe、Cu、Zn、Mo) 的总含量和有效态含量均用原子吸收法测定^[1,3]。测总含量时用王水—高氯酸法消解样品,消化物用热的 1mol/L HCl 溶液浸提。有效态 B 用热水溶液浸提,有效态 Mn、Fe、Cu、Zn 均用 DTPA—CaCl₂—TEA 溶液 (pH7.3) 浸提,有效态 Mo 用草酸—草酸铵溶液 (pH3.3) 浸提。

2 湖北省黄棕壤微量元素含量

2.1 黄棕壤表层微量元素总含量

湖北省黄棕壤表层微量元素总含量列入表 1 (本次分析结果与此前数次有关监测的平均值,下同)。表中同时列出了全国土壤微量元素含量平均值^[4,5]和世界土壤微量元素含量平均值^[6]。由于分析数据多服从正态分布,表 1 及下文中的平均值均指算术平均值。

表1 湖北省黄棕壤表层微量元素总含量

Table 1 Total contents of some microelements in the epipedon of Hubei yellow brown soil (mg/kg)

土壤 Soil	项目 Item	B	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo
黄棕壤 (土类)	平均值	91.9	791.3	4.1×10^4	36.9	92.3	0.9
	范围值	25.2~350.7	399.0~1290.0	$1.8 \sim 9.3 \times 10^4$	9.6~144.1	22.7~170.9	0.2~2.1
	标准差	106.7	315.8	2.3×10^4	43.9	40.5	0.4
	变异系数	116%	39.9%	56.1%	119%	43.9%	44.4%
全国土壤	平均值	64.0	710.0	3.0×10^4	22.0	100.0	1.7
世界土壤	平均值	60.0	850.0	3.8×10^4	20.0	50.0	2.0

从表 1 可以看出,湖北省黄棕壤中微量元素的总含量除 Zn 和 Mo 之外均高于全国土壤平均值,除 Mn 和 Mo 之外均高于世界土壤平均值。黄棕壤中六种元素的丰度从大到小的顺序与全国土壤中其平均丰度的顺序基本一致。

黄棕壤中各元素丰度的变异系数均较大(40%以上),其中 B、Cu 丰度的变异系数超过 100%,说明不同母质发育的黄棕壤微量元素含量有很大差别。花岗片麻岩上发育的黄棕壤中硼的总含量一般 <30mg/kg (如新洲区该类岩石上发育的黄棕壤中硼的总含量仅约 11mg/kg),即主要是因为岩浆岩类母质含硼量低。可以认为,成土母质中微量元素的含量是决定黄棕壤中微量元素总含量最重要的因素。

2.2 黄棕壤表层微量元素有效态含量

黄棕壤土类及其三个亚类土壤(黄棕壤、暗黄棕壤和黄棕壤性土)表层微量元素的有效态含量及土壤缺素的临界值含量^[4,5]列入表 2。

从表 2 可见,黄棕壤及其亚类土壤中微量元素的有效态含量除 Mn、Fe 较高外,B、Cu、Zn、Mo 含量均低于临界值,显示出黄棕壤对植物的供素水平较低。其中有效

表2 湖北省黄棕壤表层微量元素的有效态含量

Table 2 Contents of some available microelements in the epipedon of Hubei yellow brown soil (mg/kg)

土壤 Soil	项目 Item	B	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo
黄棕壤	平均值	0.32	33.27	16.81	0.65	0.85	0.04
(土类)	范围值	0.01~0.95	9.46~49.34	6.41~29.32	0.33~0.81	0.46~1.28	0.02~0.10
	标准差	0.02	7.80	5.03	0.10	0.17	0.02
	变异系数	6.3%	23.4%	29.9%	15.4%	19.8%	50.0%
黄棕壤	平均值	0.31	35.36	18.73	0.87	0.96	0.05
暗黄棕壤	平均值	0.35	30.27	18.66	0.61	0.88	0.04
黄棕壤性土	平均值	0.35		12.68	0.50	0.65	
全国土壤	临界值	0.50	7.0	4.5	2.0	1.5	0.15

Cu<1.0mg/kg, 有效 Zn < 1.0mg/ kg, 有效 Mo < 0.1mg/ kg, 均属严重缺乏(田间试验已证明在湖北黄棕壤上施上述微肥对许多作物有增产效果)。除 B 外, 其它有效态元素在各亚类土壤中的含量一般为黄棕壤 > 暗黄棕壤 > 黄棕壤性土。相关分析表明, 湖北黄棕壤表层中 Zn 和 Mo 的总含量与有效态含量之间呈极显著相关($r_{Zn} = 0.76^{**}$, $r_{Mo} = 0.57^{**}$), 表明湖北省黄棕壤中 Zn 和 Mo 总含量丰缺对其有效态含量有重要影响。而 B、Mn、Fe、Cu 四种元素的总含量与有效态含量之间没有显著的相关性。另外, 从表 2 所列变异系数看, 除 Mo 外均显著小于总含量的变异系数值, 可见不同母质发育的黄棕壤中有效态元素含量差异不及总含量差异大。

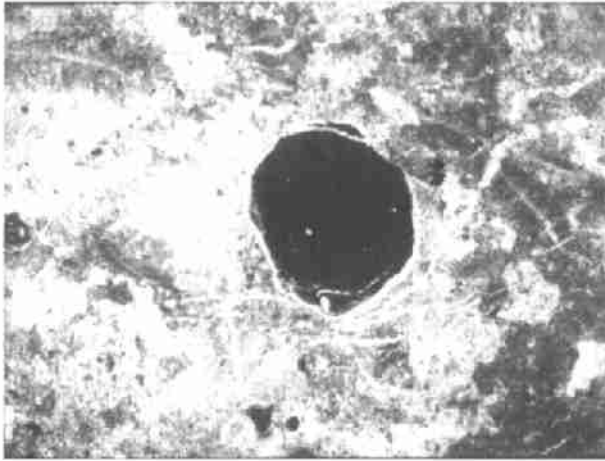
2.3 黄棕壤微量元素的活化率

土壤微量元素有效态含量占总含量的百分比, 我们称之为微量元素活化率。它可以反映出土壤当前的和潜在的供素水平。从湖北省黄棕壤中六种微量元素的活化率来看, 除 Mn(4.20%) 和 Mo(4.44%) 较高外, 其它微量元素的活化率都较低(Cu 1.79%, Zn 0.93%, B 0.35%, Fe 0.04%)。

3 湖北省黄棕壤微量元素含量的剖面分布

3.1 微量元素总含量的剖面分布

微量元素总含量在黄棕壤剖面不同土层中的分布见表 3, 可以看出各种元素的总含量一般以心土层最高。我们认为这可能与该地区黄棕壤成土过程的特点有关。在北亚热带湿润季风气候下(年均温 15~18℃, 年降水量 900~1300mm), 一方面, 黄棕壤表层有机质分解强烈, 腐殖质积累及其对微量元素的吸附固定作用较弱。另一方面, 土壤中矿物风化和淋溶作用较强。不仅原生矿物较迅速地风化释放出元素, 而且雨季的丰沛降水(4~8 月降水占全年的 60%) 易使其从表土层向下淋失到心土层淀积。在我们采集的湖北黄棕壤心土层土样中铁锰凝絮体和凝团普遍存在(照片 1)。气候的干湿交替亦使粘粒的形成和淋淀十分活跃, 在黄棕壤中常形成明显的粘化层(Bt), 其粘粒含量显著高于上下土层。对鄂西北、鄂北黄棕壤的微形态观察表明, 其心土层孔隙壁上淀积着光性定向粘粒胶膜,



正交偏光×40 取样地点:神农架林区

照片1 湖北黄棕壤心土层中铁锰凝团(照片中部圆形黑色部分)

Photo.1 Fe-Mn nodule in the subsoil (Black part in the photo, crossed polarized light×40)

表3 湖北省黄棕壤微量元素总含量的剖面分布

Table 3 Contents of some microelements in different horizons of Hubei yellow brown soil (mg/kg)

土层 Horizon	B	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo
表土层	91.9	791.3	4.13×10^4	36.9	92.3	0.9
心土层	93.5	870.2	4.73×10^4	37.2	97.4	1.0
底土层	86.7	699.7	3.77×10^4	35.4	96.5	0.8

其周边尚有扩散状胶膜和老化变形的粘粒胶膜。根据 X-射线衍射和电子显微镜鉴定,粘土矿物组成中以 2:1 型和 2:1:1 型矿物占优势。由于铁锰凝团形成和粘粒淀积对微量元素有较强的吸附作用,因而在心土层中微量元素总含量较高。

3.2 微量元素有效态含量的剖面分布

黄棕壤微量元素有效态含量在剖面中的分布见表 4。从表 4 中可看出,各种元素的有效态含量均以表土层为最高,并随着土层深度的增加而降低。黄棕壤地区植被茂密,每年有大量凋落物返回地面,在地表形成不连续的凋落物层(有机质含量常达 6% 以上)。其下

表4 湖北省黄棕壤微量元素有效态含量的剖面分布

Table 4 Distribution of available microelements in Hubei yellow brown soil profiles (mg/kg)

土层 Horizon	B	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo
表土层	0.32	33.27	16.81	0.65	0.85	0.04
心土层	0.26	27.45	15.53	0.37	0.55	0.03
底土层	0.21	23.32	10.69	0.24	0.51	0.02

的表土层有机质虽累积不多,但仍显著高于心土层和底土层。大量研究表明土壤有机质含量越高,微量元素有效态含量也越高^[7-16]。表土层腐殖酸的络合作用导致矿物中微量元

素释放,有机质分解时造成的局部还原条件又能使 Fe、Mn 还原为低价态。心土层较高含量的粘土矿物和铁锰氧化物对微量元素的吸附作用,又常使微量元素固定在其表面或进入粘土矿物晶层中成为半固定的无效态。心土层中的粘化层将表土层与底土层“隔离”开来,使有效态元素难以下移,加之底土层中微量元素总量不高,有机质含量亦低,因此其元素有效态含量很低。

湖北黄棕壤表土层有机质含量一般 < 2%,平均含量为 1.55%。腐殖质中胡敏酸与富里酸的比值(HA/FA)一般 < 1。表土层 pH 值平均为 6.1。Berger、Page 和 Paden 等人认为有机质含量与水溶态 B 之间呈正相关,且在酸性土壤中影响最大^[7,8]。Sillanpää 发现在土壤中加入有机质后,土壤代换态 Mn 和植物 Mn 含量都有提高^[9],Lawton 指出只有当有机质含量超过 15% 时 Mn 活性才会下降^[10]。Follett 和 Lindsay 等证明 DTPA 提取的有效 Zn 与土壤有机质含量有高度的正相关性^[11],Hodgson 等认为土壤中 60% 的可溶态 Zn 是与富里酸等络合的^[12,13]。有机质对 Cu 活性的影响有不同的报导^[14],但多数学者认为胡敏酸能与 Cu 形成不溶的络合物而降低 Cu 的活性。Mulder 发现在有机质含量较高的土壤中有效 Mo 缺乏^[15],而国内曾有报道当土壤有机质含量不高时有效 Mo 与之呈正相关^[16]。我们计算了湖北黄棕壤表土层微量元素有效态含量与有机质含量的相关系数。结果表明,微量元素有效态含量一般与有机质含量呈显著或极显著的正相关,只有有效 Fe 与有机质含量相关性略低于显著性水平。这一计算结果与前述报道基本一致,反映了在有机质含量不高且富里酸多于胡敏酸的微酸性土壤中有机质对元素活性影响的特征。

土壤理化性质对元素有效态含量剖面分布特征的影响亦不可忽视。湖北省黄棕壤普遍呈微酸性反应(pH5.0~6.8),无游离 CaCO₃和石灰反应。湖北黄棕壤三个亚类土壤的酸度均有随剖面深度增加而升高的趋势。在 pH5.0~7.0 范围内,一般认为 Fe、Mn、Zn 的活性随土壤酸度升高而增大^[17,18,20],B、Mo 的活性随土壤酸度升高而减小^[7,19,20],酸度对 Cu 的活性影响不大^[16]。相关分析表明,湖北黄棕壤 Fe、Zn 有效态含量与 pH 值呈显著负相关,Mn、Cu 有效态含量与 pH 值相关性不显著,只有 B、Mo 有效态含量与 pH 值呈极显著正相关。氧化还原电位的影响主要在于,氧化环境中矿物和有机质易于分解,向土壤中释放可溶性微量元素;较高 Eh 值下 S²⁻减少因而 Cu、Zn 的活性有所增加,但 Fe、Mn 则以高价态存在而活性有所降低。少数样品的测定表明湖北黄棕壤氧化还原电位从表土层至底土层略有升高。表土层 Fe、Mn 有效态含量较高与有机质分解造成的还原环境密切相关。

生物活动与微量元素有效态含量也有一定关系。一般而言,生物活动分泌的有机酸,能活化、富集矿物中的元素。调查中发现某些片麻岩上发育的黄棕壤表土层有效 Zn 含量比心土层和底土层高 1.5~2 倍,其表土层生物活动较旺盛是一个重要原因。

综上所述,微量元素有效态含量在剖面中的分布特征是多种因素综合作用的结合,这些因素对不同元素的影响不同,因而剖面分布廓线仍各有不同特点。针对湖北黄棕壤中微量元素总含量较丰富、有效态含量较缺乏及其总含量、有效态含量的剖面分布特点,作者建议对黄棕壤旱地在进行深耕的同时,需多施有机肥,以利于提高微量元素的活性。

4 结 论

1. 湖北省黄棕壤 B、Mn、Fe、Cu 等微量元素的总含量较丰富, Zn 的总含量略低, Mo 的总含量缺乏。

2. 湖北省黄棕壤 B、Cu、Zn、Mo 等微量元素的有效态含量缺乏, 其中有效 Cu、Zn、Mo 严重缺乏。

3. B、Cu 等元素有效态含量缺乏主要是因为其活化率较低, Mo 的有效态含量低主要是由于土壤中其总含量太低, Zn 的有效态含量低则因为不仅其总含量不高, 活化率也较低。

4. 在湖北省黄棕壤剖面中, B、Mn、Fe、Cu、Zn、Mo 等微量元素的总含量分布均以心土层最高, 而有效态含量分布则均以表土层最高, 这与黄棕壤成土过程特点及理化性质有关。

5. 湖北省黄棕壤 Zn、Mo 的总含量与有效态含量间呈显著或极显著正相关; 除 Fe 外其它微量元素的有效态含量均与土壤有机质含量呈显著或极显著的正相关; 在湖北省黄棕壤表土层的酸度范围内, B、Mo 的有效态含量与土壤 pH 值呈极显著正相关, 而 Fe、Zn 则呈显著负相关。

致 谢 衷心感谢振翅研究员、王少平博士、吴胜军硕士的帮助。

参 考 文 献

1. 中国科学院南京土壤研究所微量元素组. 土壤和植物中微量元素分析方法. 北京: 科学出版社, 1978. 2, 8, 122~136, 141, 390~406
2. 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 62~182, 469~507
3. 中国环境监测总站. 土壤元素的近代分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1992. 70~71, 100~101, 108~109, 171~172
4. 刘铮, 朱其清, 唐丽华等. 我国缺乏微量元素的土壤及其区域分布. 土壤学报, 1982, 19(3): 209~223
5. 熊毅, 李庆远主编. 中国土壤(第二版). 北京: 科学出版社, 1987. 517~536
6. Davies B N. Applied Soil Trace Elements. New York: John Wiley & Sons, 1980
7. Berger K C. Boron in soils and crops. Adv. in Agron., 1949, 1:321~351
8. Page N R, Paden W R. Boron-supply power of several South Carolina soils. Soil Sci., 1954, 77:427~434
9. Sillanpää M. Trace elements in soils and agriculture. Soil Bulletin. F. A. O., 1972, 17:67
10. Lawton K. Chemical composition of soils. In Bear F E. ed. Chemistry of the Soils. New York: Reinhold Publishing Co., 1955. 53
11. Follett R H, Lindsay W L. Profile distribution of zinc, iron, manganese and copper in Colorado soils. Colorado Agric. Exp. Sta. Tech. Bull., 1971. 110
12. Hodgson J F, Geering H R, Norvell W A. Micronutrients cation complexes in soil solution: Partition between complexed and uncomplexed forms by solvent extraction. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1965, 29: 665~669
13. Hodgson J F, Lindsay W L, Trierweiler J F. Micronutrients cation complexing in soil solution. II. Complexing of zinc and copper in displaced solution from calcareous soils. S. S. S. A. Proc., 1996, 30: 723~726

14. Katyal J C. Agarwala S C. Micronutrient research in Indian. *Fertilizer News*, 1982, 27: 66
15. Mulder E G. Molybdenum in relation to growth of higher plants and microorganism. *Plant & Soil*, 1954, 5: 368~415
16. 王云, 魏复盛等. 土壤环境元素化学. 北京: 中国环境科学出版社, 1995. 111~112, 265~266, 299~300
17. Olsen R V. Iron solubility in soils as affected by pH and free iron oxide content. *S. S. S. A. Proc.* 1947, 12:153
18. Page E R. Studies in soil and plant manganese II. The relationship of soil pH to manganese availability. *Plant & Soil*, 1962, 16:247~257
19. Reisenauer H M, *et al.* Molybdenum reactions with soils and the hydrous oxides of iron, aluminum and titanium. *S. S. S. A. Proc.*, 1962, 26: 23~27
20. 袁可能. 植物营养元素的土壤化学. 北京: 科学出版社, 1983. 416, 500

ENVIRONMENTAL GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOME MICROELEMENTS IN THE YELLOW BROWN SOIL OF HUBEI PROVINCE

Hong Song¹ Zheng Ze-hou² Chen Jun-sheng¹

(1 *Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871*)

(2 *Department of Geography, Hubei University, Wuhan 430062*)

Summary

Some microelements, such as B, Mn, Fe, Cu, Zn, Mo, etc., are regarded as essential elements to both animals and plants. But applying fertilizer blindly to soils can cause both waste and environmental pollution. In this paper, 32 soil samples were collected and the environmental geochemical characteristics of the aforementioned 6 kinds of microelements were studied in the yellow brown soil, which has the largest distribution area in zonal soils of Hubei Province. The main results are as follow: (1) B, Mn, Fe and Cu are relatively high in total contents, but Mo is lower. The available B, Cu, Zn and Mo are all insufficient. (2) All the microelements are the highest in total content in the subsoil and the highest in available form in the epipedon. (3) The positive correlation between the contents of total and available Zn & Mo arrives to significance or extreme significance level. The positive correlation between the contents of available B & Mo and pH of the yellow brown soil is proved to be of extreme significance. But for Fe & Zn, the negative correlation is also the same level. The contents of all available microelements except for Fe have significant or extreme significant positive correlation with the organic matter content in the soil. The authors think it necessary to plough deeply and apply organic fertilizer to improve the contents of available microelements in the yellow brown soil.

Key words Hubei Province, Yellow brown soil, Microelement