

文章编号: 1000- 0690(2000) 04- 0319- 06

长江中下游黄棕壤中若干元素的环境地球化学特征

洪 松¹, 陈静生¹, 周智强², 王少平³, 龙 泉⁴, 郑泽厚⁵

(1. 北京大学城市与环境学系, 北京 100871; 2. 武汉市江汉区环境保护局, 湖北 汉口 430022; 3. 华东师范大学地理学系, 上海 200062; 4. 湖北大学附属中学, 湖北 武昌 430062; 5. 湖北大学地理学系, 湖北 武昌 430062)

摘要: 在长江中下游黄棕壤上采集 129 个土样, 测定了其中 14 种元素(13 种微量元素和 Fe) 的全量含量, 比较了不同岩石上发育的黄棕壤元素含量的差异, 分析了其剖面分布特征。讨论了目前农业生产中广泛关注的 5 种微量元素和 Fe 的有效态含量在黄棕壤剖面中的迁移分布及其影响因素。

关 键 词: 长江中下游; 黄棕壤; 元素

中图分类号: S153. 6⁺ 1: X820. 1 文献标识码: A

长江中下游是我国两个经济最发达的地区之一, 也是最重要的农业区。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而常引起某些微量元素缺乏。黄棕壤是长江中下游主要的地带性土壤, 面积约 1 008. 5 万 hm^2 , 主要分布于沿江两岸的低山丘陵地区, 包括湖北、湖南、江西、安徽、江苏及陕南、豫西南等地, 以湖北省的分布面积最广(600. 1 万 hm^2)。大都为落叶—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、砂页岩、花岗岩、花岗片麻岩、玄武岩等风化产物。研究黄棕壤中各种微量元素的环境地球化学特征, 对于当地耕地合理施用微肥、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, 先后在长江中下游黄棕壤地带采集了

129 个土壤样品。每一剖面分三层采集, 即表土层 A(0~ 20 cm)、心土层 B(20~ 60 cm) 和底土层 C(60~ 100 cm)。土样经风干研磨后过 20 目和 100 目尼龙筛制成分析样品, 贮于磨口瓶中备用。

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中国科学院南京土壤研究所的方法进行^[1]。土样中元素全量含量按“中国土壤环境背景值”课题技术组统一规定的方法进行^[2]。B 的有效态含量用姜黄素比色法测定, Mn、Fe、Cu、Zn、Mo 有效态含量用原子吸收法测定^[3]。

2 长江中下游黄棕壤元素含量

2. 1 黄棕壤表层元素全量含量

长江中下游黄棕壤表土层 13 种微量元素和 Fe 的全量含量列于表 1(算术平均值, 下同)。表中同时列出了全国土壤各元素全量含量平均值^[2]以说明各元素的丰缺, 还列出了世界土壤各元素含量平均值^[4]作为参考。

表 1 长江中下游黄棕壤表土层元素的全量含量(mg/ kg)

Table 1 Total contents of trace elements and Fe in the epipedon of the yellow brown soil(mg/ kg)

土 壤	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Hg	As
黄棕壤	20	27	68	28	64	0. 078	11
全国土壤	23	26	74	27	61	0. 065	11
世界土壤	30	12	90	50	70	0. 060	6
土 壤	Co	V	Mn	Cd	Se	F	Fe
黄棕壤	14	88	619	0. 081	0. 28	530	$3. 2 \times 10^4$
全国土壤	13	82	583	0. 097	0. 29	478	$2. 9 \times 10^4$
世界土壤	10~ 15	90	1 000	0. 35		200	$4. 0 \times 10^4$

收稿日期: 1999- 09- 09; 修订日期: 2000- 03- 10
基金项目: 澳大利亚国际农业研究中心和国家科技攻关环保项目资助。
作者简介: 洪松(1973-), 男, 博士, 武汉人, 主要从事环境生态学方面的科研。E- mail: sonyhong@ 263. net

从表 1 可以看出, 长江中下游黄棕壤中大多数元素的全量含量与全国土壤平均值比较接近。在所测 14 种元素中, 有 9 种(Pb、Ni、Cr、Hg、Co、V、Mn、F、Fe) 的全量含量高于全国平均值, 说明黄棕壤中这些元素的全量含量比较丰富。其余 5 种元素的全量含量略低于或等于全国平均值, 属中等水平。长江中下游黄棕壤微量元素全量含量从大到小的顺序

与全国土壤平均值的顺序基本一致, 除 Cd 偏低、Pb 偏高外与世界土壤平均值的顺序也基本一致。

2. 2 不同岩石上发育的黄棕壤元素全量含量比较

长江中下游花岗岩、玄武岩及石灰岩上发育的黄棕壤表土层中元素的全量含量列于表 2。从地球化学的角度看, 花岗岩、玄武岩和石灰岩化学组成与性质差异显著, 是三类有代表性的岩石。

表 2 花岗岩、玄武岩及石灰岩上发育的黄棕壤表土层元素的全量含量(mg/kg)

Table 2 Trace elements and Fe contents in the yellow soil derived from Granite, Basalt and Limestone (mg/kg)

母岩类型	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Hg	As
花 岗 岩	10. 16	36. 49	76. 77	12. 32	41. 40		
玄 武 岩	53. 54	44. 16	86. 17	101. 08	203. 08	0. 107	10. 5
石 灰 岩	54. 00	56. 00	78. 90	60. 00	105. 00	0. 172	34. 0
母岩类型	Co	V	Mn	Cd	Se	F	Fe
花 岗 岩	4. 80	39. 87	444. 81	0. 107			23 730
玄 武 岩	28. 91	150. 25	1 231. 50	0. 052		314. 50	78 960
石 灰 岩	22. 50	145. 00	898. 00	0. 730	0. 223	720. 00	41 930

从表中看出, 在数据较全的 10 种元素中, 有 7 种元素(Zn、Ni、Cr、Co、V、Mn、Fe) 全量含量的最高值出现在玄武岩上发育的黄棕壤中; 除 Cd 外, 其它元素的最低值均出现在花岗岩上发育的黄棕壤中, 石灰岩上发育的黄棕壤中元素全量含量居于上述二者之间。将不同岩石上发育的黄棕壤表土层元素全量含量与其母岩中元素含量对比, 发现花岗岩和玄武岩上发育的黄棕壤与母岩的元素含量接近, 充分体现了土壤元素对母岩的继承性, 而石灰岩上发育的黄棕壤元素含量远高于母岩。朱其清等人在研究石灰岩土壤微量元素含量时, 已指出除 Mg、Ca 外, 多数元素在土壤中的含量远高于其在母岩中的含

量^[5], 与本文的结论一致。他们认为, 由于组成石灰岩的碳酸盐矿物容易在 CO₂ 与水的作用下发生溶解淋失, 土壤中相对积累的氧化铁对微量元素有富积作用, 使石灰岩上土壤中微量元素含量大大提高。

2. 3 黄棕壤表土层元素有效态含量

表 3 列举了湖北、湖南、安徽、江苏四省黄棕壤表层 5 种微量元素和 Fe 的有效态含量(部分数据引自资料), 这几种元素是目前农业生产中受到广泛关注的元素。为比较不同黄棕壤亚类微量元素有效态含量的差别, 测定了湖北省黄棕壤三个土壤亚类(黄棕壤、暗黄棕壤和黄棕壤性土) 上述元素的有效态含量, 表中同时列出了土壤缺素的临界值含量^[6,7]。

表 3 长江中下游黄棕壤表土层元素的有效态含量(mg/kg)

Table 3 Available contents of some trace elements and Fe in the epipedon of the yellow brown soil(mg/kg)

省 份	土 壤	项 目	B	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo
湖 北		平均值	0. 32	33. 27	16. 81	0. 65	0. 85	0. 04
湖 南		平均值	0. 24	16. 10	30. 60	0. 58	0. 51	0. 12
安 徽	黄 棕 壤	平均值	0. 41	40. 10	36. 50	0. 73	0. 60	0. 09
江 苏		平均值	0. 63	20. 30		1. 68	0. 63	0. 08
	黄 棕 壤	平均值	0. 31	35. 36	18. 73	0. 87	0. 96	0. 05
湖 北	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

从表 3 可见, 四省黄棕壤表土层元素有效态含量除 Mn、Fe 较高外, B、Cu、Zn、Mo 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 Zn< 1. 0 mg/kg, 湖北、湖南、安徽三省黄棕壤有效 Cu< 1. 0 mg/kg, 湖北、安徽、江苏三省黄棕壤有效

Mo< 0. 1mg/kg, 属于严重缺乏(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)。相关分析表明, 湖北黄棕壤表层中 Zn 和 Mo 的全量含量与有效态含量之间呈极显著相关($r_{Zn}=0.76^{**}$, $r_{Mo}=0.57^{**}$, $n=32$), 表明 Zn 和 Mo 全量含量丰缺

对其有效态含量有重要影响,而 B、Mn、Fe、Cu 四种元素的全量含量与有效态含量之间没有显著的相关性。除 B 外,其它元素在各亚类黄棕壤中的有效态含量一般为黄棕壤 > 暗黄棕壤 > 黄棕壤性土。

3 长江中下游黄棕壤中元素含量的剖面分布

3.1 元素全量含量的剖面分布

长江中下游黄棕壤剖面中微量元素和 Fe 的全量含量一般以心土层中最高。图 1 是元素全量含量、有机质及粘土矿物含量在花岗岩上发育的黄棕壤剖面中的分布。我们认为这种分布规律可能与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 11~16℃,年降水量 800~1500 mm),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 月降水量占全年的 60%)易使其从表土层向下淋失到心土层淀积。在我们采集的黄棕壤心土层土样中,铁锰凝絮体和凝团多有出现(图 2)。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,Bt/A 值为 1.0~2.0, Bt/C 值为 1.0~1.2。对湖北和江苏等省土壤薄片的微形态观察表明,黄棕壤心土层孔隙壁上淀积着光性定向粘粒胶膜,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 型或 2:1:1 型矿物占优势,因而具有较大的表面积。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全量含量较高。

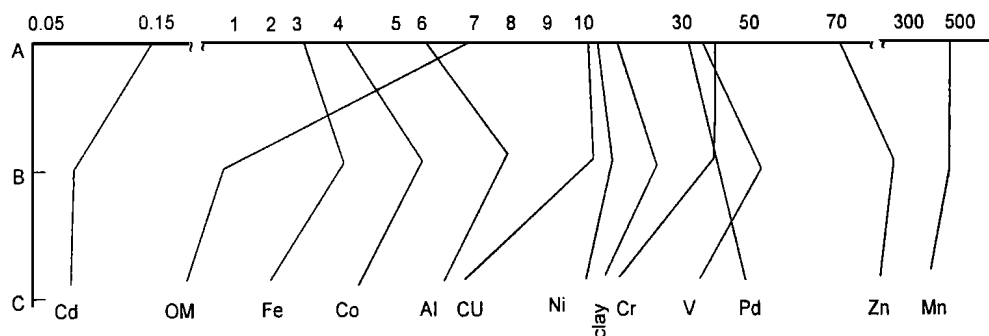


图 1 长江中下游花岗岩上黄棕壤元素全量含量(mg/kg)、有机质和粘粒含量(%)的剖面分布
Fig. 1 Contents of some trace elements(mg/kg), OM and clay (%) in different horizons of the yellow brown soil derived from Granite

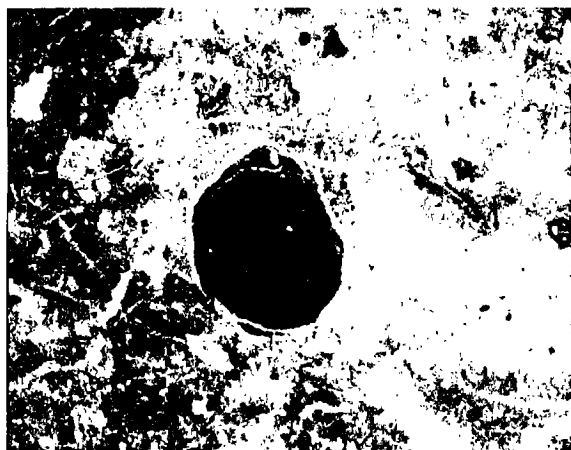


图 2 长江中下游黄棕壤心土层中铁锰凝团
(照片中部圆形黑色部分)

正交偏光 $\times 40$ 取样地点: 湖北神农架林区
Fig. 2 Fe-Mn nodule in the subsoil (Black part in the photo, crossed polarized light $\times 40$)

3.2 元素有效态含量的剖面分布—以湖北省黄棕壤为例

作者测定了湖北省黄棕壤中 5 种微量元素及 Fe 的有效态含量在剖面中的分布(图 3)。从图中可看出,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^[8~17]。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

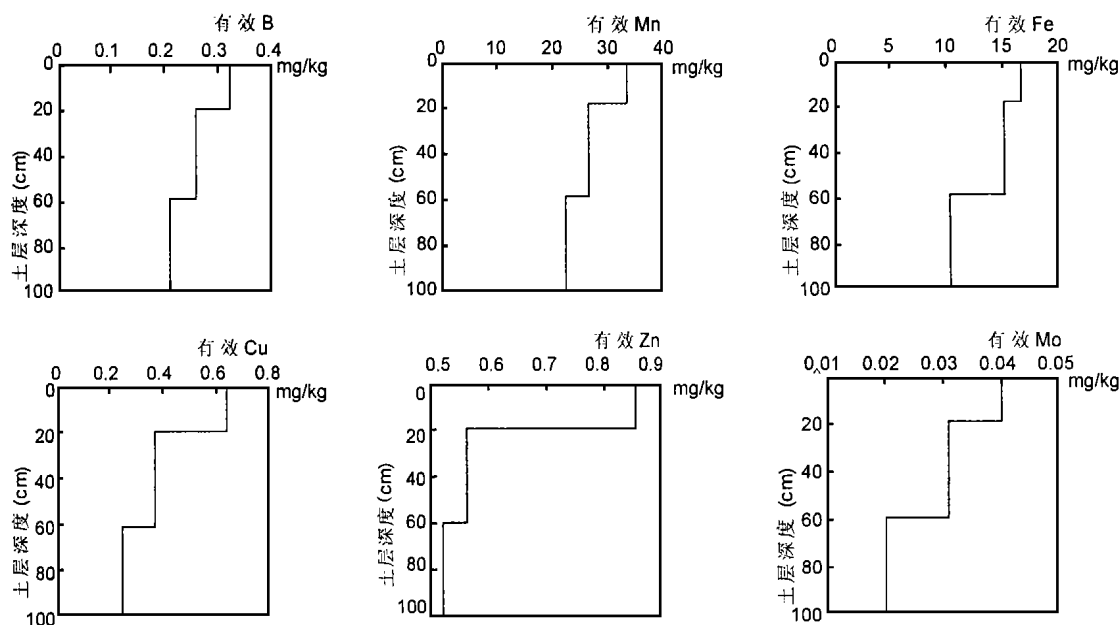


图3 湖北省黄棕壤元素有效态含量的剖面分布

Fig. 3 Distribution of available trace elements and Fe in Hubei yellow brown soil profiles

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(1949)、Page 和 Paden 等人(1954)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^[8,9]。Sillanpää(1972)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^[10]。Lawton(1955)指出只有当有机质含量超过 15% 时, Mn 活性才会下降^[11]。Follett 和 Lindsay 等(1971)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^[12]。Hodgson 等(1965, 1966)认为土壤中 60% 的可溶态 Zn 是与富里酸等络合的^[13,14]。有机质对 Cu 活性的影响有不同的报导^[15],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(1954)发现在有机质含量较高的土壤中有有效 Mo 缺乏^[16],而国内曾有报导当土壤有机质含量不高时有效 Mo 与之呈正相关^[17]。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。这一结果与前述报导基本一致,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(pH $5.0\sim 6.8$),无游离 CaCO_3 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 pH $5.0\sim 7.0$ 范围内,一般认为 Fe、Mn、Zn 的活性随土壤酸度升高而增大^[18~20], B、Mo 的活性随土壤酸度升高而减小^[8,20,21],酸度对 Cu 的活性影响不大^[17]。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 S^{2-} 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 Eh 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,表土层生物活动较旺盛是一个重要原因。

综上所述,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用,这些因素对不同元素的影响不同,因而形成了图 3 中不同形状的剖面分布廓线。由于长江中下游各省黄棕壤 pH、Eh、有机质含量、粘土矿物和铁锰氧化物含量等的剖面分布特点与湖北黄棕壤基本相似(个别亚类土壤中关于 pH 剖面分布有相反的报导),我们认为湖北黄棕壤微量元素有效态含量的剖面分布特点在长江中下游各省黄棕壤中具有广泛的代表性。

针对黄棕壤中微量元素全量含量较丰富、有效态含量较缺乏及其全量含量、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长江中下游黄棕壤中 Pb、Ni、Cr、Hg、Co、V、Mn、F 和 Fe 的全量含量较丰富,As、Se、Cu、Zn 和 Cd 的全量含量中等或略低;元素全量含量在土壤剖面中的分布一般以心土层中最高。

②元素全量含量一般以玄武岩上发育的黄棕壤中最高,石灰岩上黄棕壤中次之,花岗岩上黄棕壤中最低;花岗岩和玄武岩上黄棕壤与母岩的元素含量接近,石灰岩上黄棕壤元素含量远高于母岩。

③长江中下游黄棕壤中 B、Cu、Zn、Mo 等与农业生产紧密相关的微量元素有效态含量缺乏;元素有效态含量在土壤剖面中的分布一般以表土层中最高。

④湖北省黄棕壤 Zn、Mo 的全量含量与有效态含量间呈显著或极显著正相关;微量元素 B、Mn、Cu、Zn、Mo 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。

参考文献:

[1] 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,1978.62~ 182,469~ 507.
[2] 中国环境监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境

科学出版社,1990.
[3] 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[M].北京:科学出版社,1978.122~ 136,141,390 ~ 406.
[4] H J M 鲍恩(崔仙舟译).元素的环境化学[M].北京:科学出版社,1986.45~ 46.
[5] 朱其清,尹楚良.石灰岩土中微量元素的含量与分布[J].土壤学报,1984,21(1):58~ 69.
[6] 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[J],1982,19(3):209~ 223.
[7] 熊毅,李庆远.中国土壤(第二版)[M].北京:科学出版社,1987.517~ 536.
[8] Berger K C Boron in soils and crops[J]. Adv. in Agron. 1949, (1): 321~ 351.
[9] Page N R & Paden W R Boron- supply power of several South Carolina soils[J]. Soil Sci. 1954, (77): 427~ 434.
[10] Sillanpää M Trace elements in soils and agriculture[J]. Soil Bulletin, F. A. O., 1972, (17): 67.
[11] Lawton K Chemical composition of soils [A]. In: Bear F. E. Chemistry of the soils [C]. Reinhold Publishing Co. New York, 1955. 53.
[12] Follett R H & Lindsay W L Profile distribution of zinc, iron, manganese and copper in Colorado soils [J]. Colorado Agric. Exp. Sta. Tech. Bull., 1971. 110.
[13] Hodgson J F, Geering H R & Norvell W. A. Micronutrients cation complexes in soil solution: Partition between complexed and uncomplexed forms by solvent extraction [J]. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1965, (29): 665~ 669.
[14] 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 [J]. S. S. S. A. Proc. 1966, (30): 723~ 726.
[15] Katyal J C & Agarwala S C Micronutrient research in Indian [J]. Fertilizer News, 1982, (27): 66.
[16] Mulder E G Molybdenum in relation to growth of higher plants and microorganism [J]. Plant & Soil. 1954, (5): 368~ 415.
[17] 王云,魏复盛,等.土壤环境元素化学[M].北京:中国环境科学出版社,1995.111~ 112, 265~ 266, 299~ 300.
[18] Olsen R V, Iron solubility in soils as affected by pH and free iron oxide content [J]. S. S. S. A. Proc. 1947, (12): 153.
[19] Page E R, Studies in soil and plant manganese. II. The relationship of soil pH to manganese availability [J]. Plant & Soil. 1962, (16): 247~ 257.
[20] 袁可能.植物营养元素的土壤化学[M].北京:科学出版社,1983.416,500.
[21] Reisenauer H M, et al. Molybdenum reactions with soils and the hydrous oxides of iron, aluminum and titanium [J]. S. S. S. A. Proc. 1962, (26): 23~ 27

Environmental Geochemical Characteristics of Some Elements in the Yellow Brown Soil of Middle and Lower Reaches of Yangtze River

HONG Song¹, CHEN Jing-sheng¹, ZHOU Zhi-qiang², WANG Shao-ping³,
LONG Quan⁴, ZHENG Ze-hou⁵

(1. *Department of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871*; 2. *Bureau of Environment Protection, Jiangnan District, Wuhan City, Hankou, Hubei 430022*; 3. *Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062*; 4. *Attached Middle School of Hubei University, Wuchang, Hubei 430062*; 5. *Department of Geography, Hubei University, Wuchang, Hubei 430062*)

Abstract: A total of 129 samples were collected and the environmental geochemical characteristics of 13 kinds of trace elements and Fe in the yellow brown soil were studied, which has the largest distribution area in zonal soils of middle and lower reaches of the Yangtze River. The main results are as follows: (1) Pb, Ni, Cr, Hg, Co, V, Mn, F and Fe are relatively high in total contents, As, Se, Cu, Zn and Cd are moderate or little lower. The available B, Cu, Zn and Mo are all insufficient. (2) Most of trace elements have their highest total contents in the subsoil and their highest available contents in the epipedon. (3) The sequences of total contents of trace elements in the yellow brown soil are basalt soil > limestone soil > granite soil. (4) The positive correlation between the contents of total and available Zn & Mo arrives to significance or extreme significance level in the yellow brown soil of Hubei province. The positive correlation between available contents of B & Mo and pH of the yellow brown soil is proved to be extreme significance. But for Fe & Zn, the negative correlation is also the same level. The contents of available B, Mn, Cu, Zn and Mo 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 trace elements in the yellow brown soil.

Key words: Middle and lower reaches of the Yangtze River basin; Yellow brown soil; Element