

# 鄂南丘陵区棕红壤硼分级及时空分布<sup>①</sup>

144-148, 154  
曹奏贵

(华中农业大学农学系 武汉 430070)

慕崇发 张光远 王运华  
(华中农业大学土化系)

S153.61  
S158.3

**摘要** 通过对鄂南丘陵一典型集水面棕红壤的取样分析,结果表明,鄂南丘陵区棕红壤硼绝大部分以矿物态存在,热水溶性硼和交换性硼含量偏低。在高榜旱地和顶部坡地,含热水溶性硼较高,但有机硼、全硼和其它形态硼含量较低,硼的植物有效性不高,热水溶性硼存在明显的表层富集现象,硼的垂直迁移系数比较小。在中部旱地硼的垂直迁移较大,表层富集作用小,土壤含热水溶性硼低。底部水田,土壤有机质含量较高,虽然热水溶性硼次于高榜旱地,但其植物有效性最高,该类型的有机硼、全硼等各形态硼都较高。鄂南丘陵区棕红壤各形态硼均按规律周期性变化,大多数变化周期是半年。

**关键词** 鄂南棕红壤;集水面;硼分级;时空分布

红壤, 土壤成土,

硼是植物正常生长发育所必需的微量元素。我国南方棕红壤在高温多雨的气候条件下,硼素易被淋溶和流失,加上南方作物种类多样,复种指数高,种植制度复杂,是我国缺硼较为严重的地区。土壤硼的有效性与土壤硼的存在形态及含量有关,而土壤硼的存在形态及含量分布直接受当地地理环境、地形、生态条件、耕作制度等因素影响<sup>[1]</sup>。为此本研究对鄂南丘陵区一典型集水面的棕红壤和作物的含硼量进行了取样分析,以确定该地区典型地貌的农业土壤中硼的存在形态及时空分布规律,为硼肥的合理施用提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象

本研究以湖北省咸宁地区贺胜桥镇一典型集水面为研究对象。该集水面梯田分布依次为顶部坡地、高榜旱地、中部旱地、中下部水旱轮作田和底部水田(图 1),冬季主要种植油菜。集水面的土壤为第四纪红色粘土发育的棕红壤。

### 1.2 取样方法

1. 集水面不同部位耕作层土壤取样:1996年4月21日在贺胜桥镇一典型集水面按梯田和农田茬口特点按蛇形取样法取土样10个,采样点分布如图1。

1 油菜 休闲 2	顶部坡地(坡度>15°)
3 油菜 休闲 4	高榜旱地(5°<坡度<15°)
5 油菜 休闲 6	中部旱地(坡度<5°)
7 油菜 休闲 8	中下部水旱轮作田
9 油菜 休闲 10	底部水田

图 1 集水面取样布点图

<sup>①</sup> 国家“九五”攻关课题“鄂南棕红壤丘陵区综合治理和持续发展试验区”(963340307)资助。

2. 土壤剖面取样: 在集水面顶部坡地、中部旱地、底部水田(图1), 分别取土壤剖面土样, 分析硼的剖面分布特征。

3. 油菜取样: 在集水面顶部坡地、中部旱地、底部水田(如图1)的油菜地, 于油菜成熟期分别取油菜样, 分析油菜根、茎、叶、角果壳、种子五部分的含硼量。

4. 大田时间系列取样: 从1996年4月21日开始至1997年4月为止, 以旬(15~20天)为时间间隔, 分别在集水面顶部坡地、中部旱地、底部水田(图1)定点取土样。

### 1.3 测定方法

植物全硼: 1mol/L HCl 提取振荡两小时<sup>[2]</sup>, 姜黄素比色法<sup>[3]</sup>; 热水溶性硼: 2:1 的水土比, 热水煮沸 5分钟提取, 过滤, 姜黄素比色法; 交换态硼: CaCl<sub>2</sub> 溶液振荡 24 小时提取<sup>[4]</sup>, 草酸姜黄素比色法<sup>[3]</sup>; 吸附态硼: KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 溶液振荡 24 小时提取<sup>[4]</sup>, 草酸姜黄素比色法<sup>[3]</sup>; 闭蓄态硼: 盐酸羟胺溶液振荡 24 小时提取<sup>[4]</sup>, 冰醋酸姜黄素比色法<sup>[3]</sup>; 有机态硼: HNO<sub>3</sub> + 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液振荡 24 小时提取<sup>[4]</sup>, 冰醋酸姜黄素比色法<sup>[3]</sup>; 土壤全硼: 王水(HCl:HNO<sub>3</sub> = 3:1)分解土样<sup>[5]</sup>, 冰醋酸姜黄素比色法<sup>[3]</sup>。

## 2 结果分析

### 2.1 集水面不同地段耕作层土壤硼的构成与分析

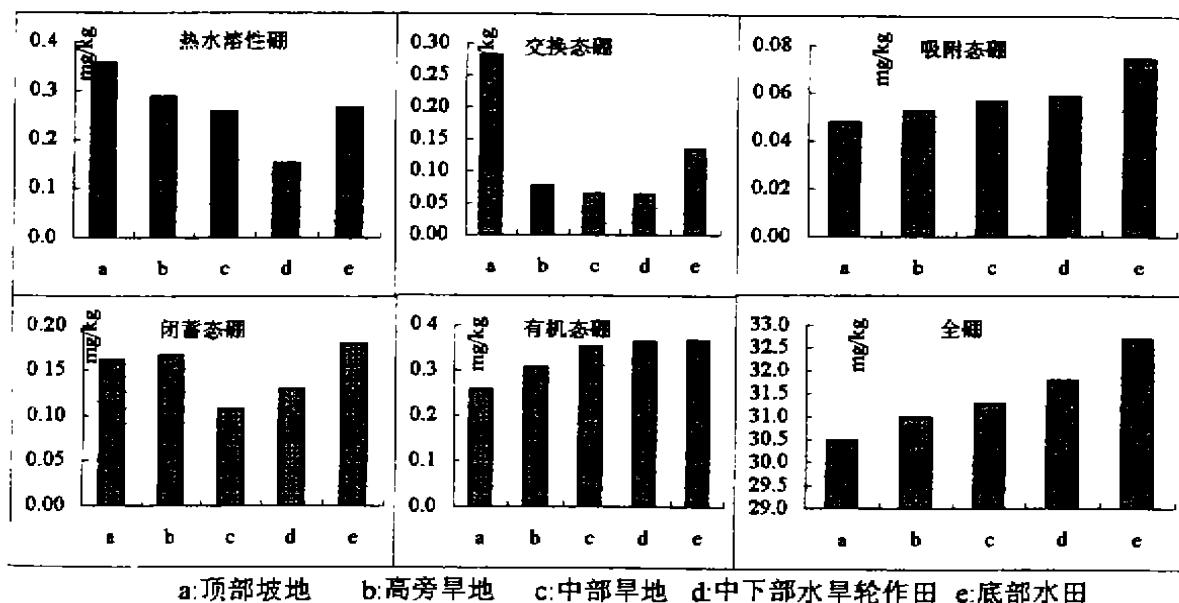


图2 集水面不同地段各形态硼的分析

在同一集水面阶梯系列的梯田(图1)上, 由于农业利用方式、作物种植制度和地段环境特点不同, 使耕作层土壤中硼的组成和分布在不同地段上有较大的差异。从表1可以看出土壤硼绝大部分以矿物态存在(96.38~97.60%), 热水溶性硼、交换态硼、吸附态硼、闭蓄态硼、有机态硼分别只占全硼的0.48~1.17%、0.20~0.92%、0.16~0.23%、0.14~0.55%、0.84%

~1.14%。

从表 1 和图 2 可以看出, 在同一集水面梯田系列的耕层土壤中, 热水溶性硼的含量偏低 (0.152~1.356mg/kg), 都低于大多数作物的缺硼临界水平 (0.5mg/Kg)。热水溶性硼也没有表现在坡底积累的现象, 与此相反, 顶部旱地土壤的热水溶性硼浓度高于底部水田, 中下部水旱轮作田浓度最低, 其分布表现为自上而下的递减趋势, 而在坡底水田热水溶性硼含量又有所回升, 这可能与降雨、水分分布及水分动态变化有关。另外, 还与吸收利用方式有关, 因为当地高傍旱地复种指数在 200% 以下, 底部水田和中下部水旱轮作田的复种指数近 300%。交换态硼的变化趋势与热水溶性硼相似。吸附态硼以水田土壤浓度明显高于其它地段耕层土壤, 表现为从坡顶到坡底的迁移积累现象。闭蓄态硼、有机态硼、土壤全硼都有从坡顶到坡底的上升趋势, 可能与硼的迁移积累有关, 有机态硼主要与土壤有机质含量有关, 下部水田有机质分解缓慢, 含量较高。

表 1 集水面不同地段耕作层硼的分布及形态构成

地 段	热水溶性硼		交换态硼		吸附态硼		闭蓄态硼		有机态硼		土壤全硼	
	mg/kg	% *	mg/kg	% *								
顶部坡地	0.356	1.17	0.281	0.92	0.048	0.16	0.161	0.53	0.257	0.84	30.469	100
高傍旱地	0.288	0.93	0.075	0.24	0.052	0.17	0.167	0.54	0.306	0.99	30.983	100
中部旱地	0.258	0.82	0.064	0.20	0.056	0.18	0.107	0.34	0.351	1.12	31.282	100
水旱田	0.152	0.48	0.063	0.20	0.059	0.18	0.129	0.41	0.362	1.14	31.786	100
底部水田	0.266	0.81	0.133	0.41	0.074	0.23	0.180	0.55	0.366	1.12	32.688	100

\* 占土壤全硼的百分数。

根据中国科学院应用生态研究所的研究, 我国黑龙江五营暗棕色森林土从山地顶部向下至下部缓坡的不同地形部位中硼的迁移积累率逐渐增加, 因为地表径流顺坡而下, 随着下渗水在表土下层的移动, 使硼发生迁移, 在坡底产生积累。而集水面梯田农业土壤中硼的迁移积累规律与此不同, 除了吸附态硼, 闭蓄态硼, 有机态硼。全硼有向下迁移积累的趋势外, 热水溶性硼和交换态硼与此相反, 表现为向坡底的递减趋势。因为集水面梯田农业土壤经常翻耕, 地表径流沿沟渠带走硼素进入水体, 同时农作物的收获带走大量的硼素。

## 2.2 集水面不同部位热水溶性硼的剖面分布及垂直迁移

表 2 集水面不同农田土壤剖面及热水溶性硼含量

部 位	A		B1		B2		富集系数	迁移量 (%)
	深度	热水溶性硼	深度	热水溶性硼	深度	热水溶性硼		
顶部坡地	0~15	0.362	15~40	0.196	>40	0.074	2.25	45.9
中部旱地	0~17	0.238	17~33	0.140	>33	0.095	1.59	63.3
底部水田	0~20	0.381	20~40	0.169	>40	0.092	2.05	49.4

\* 富集系数 = (A/B1 + B1/B2)/2; 迁移量 = (1 - ((A - B1)/A + (B1 - B2)/B1)/2) \* 100%

从表 2 和图 3 可以看出, 热水溶性硼在集水面土壤中的分布有明显的表层富集现象, 富集强度是顶部坡地 > 下部水田 > 中部水旱轮作田, 三种农田的富集系数分别是 2.25, 2.05, 1.59。中部水旱轮作田表层硼的富集相对较低, 可能与硼的淋溶移动有关, 中部水旱轮作田硼的迁移量为 63.3%, 因为水旱轮作加剧土壤有机质的分解, 从而加剧硼的淋溶和移动。顶部旱地淋溶最少, 其迁移量为 45.9%, 可能与该地区冬季干旱少雨, 土壤含水量较低有关。底部

水田硼的表层富集与其耕层有机质积累有关,其迁移量为49.4%。

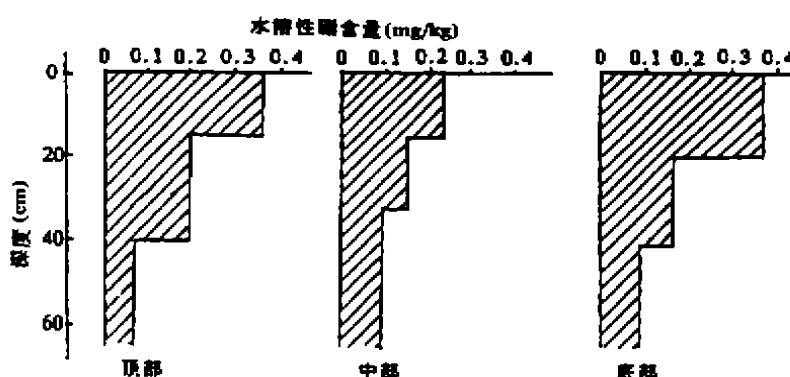


图3 集水面不同部位土壤剖面及热水溶性硼的分布图

### 2.3 硼的植物分布

比较表3中集水面不同地段油菜器官含硼量,可以看出整个集水面油菜对硼的吸收量从高塝旱地到底部水田依次递增。集水面中上部油菜吸收硼较低。虽然顶部土壤中热水溶性硼含量高于底部水田(表1),但是硼素吸收利用的效率并不高。这可能与土壤性质、土壤水分、水分布、溶质迁移及植物蒸

表3 成熟期不同地段油菜器官硼的含量(mg/kg)

取样地点	根	茎	叶	果壳	种子
顶部坡地	3.74	3.35	10.15	7.53	5.22
中部旱地	3.99	3.39	16.05	7.91	6.24
底部水田	3.99	5.89	23.57	10.80	5.82

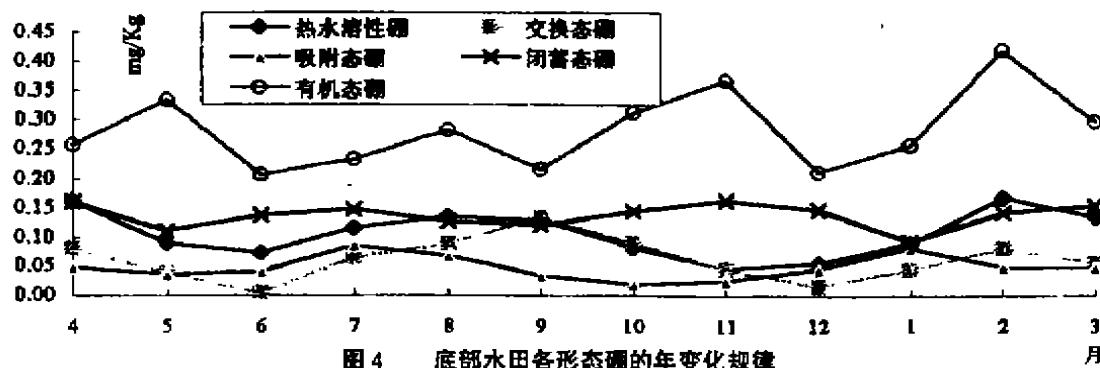


图4 底部水田各形态硼的年变化规律

腾作用有关。底部水田土壤含水量较高,油菜的蒸腾作用要比上部旱地及水旱轮作强,而植物对硼的吸收主要是被动吸收,所以底部水田油菜通过溶质流对硼的吸收量较大。由此可见,植物对硼的吸收不仅取决于土壤中热水溶性硼含量的高低,还受其它土壤因子影响。

### 2.2 硼的时间分布

根据大田时间系列土样分析,得到较有规律的结果(图4)。用谐波变化曲线拟合不同地段耕地土壤不同形态硼的年变化,用(1)式来拟合都达极显著水平( $r_{0.01}=0.684$ )。

$$B(t) = a + b * \sin(2\pi(t - d)/\omega) \quad (1)$$

式(1)和表4中 $B(t)$ 为各形态硼含量(mg/kg), $t$ 为时间(月), $a$ 为实测各形态硼的平均

值( $\text{mg}/\text{kg}$ )， $b$  为变幅( $\text{mg}/\text{kg}$ )， $\omega$  为完成一个周期的时间(月)， $d$  为初相(月)。

表 4 集水面不同部位土壤各形态硼的年变化

地 段	热水溶性硼	交换态硼	吸附态硼	闭蓄态硼	有机态硼	土壤全硼
顶部 坡地	a= 0.2280	0.1035	0.0949	0.1241	0.2647	31.7134
	b= 0.0896	0.0723	0.0547	0.0566	0.0989	1.0767
	w= 3	6	6	4	4	6
	d= 1	4	1	3	2	3
	r= 0.728	0.824	0.777	0.717	0.82	0.941
中部 旱地	a= 0.1674	0.0911	0.0651	0.1298	0.3145	31.4237
	b= 0.0514	0.0828	0.0316	0.0729	0.2185	1.7898
	w= 3	6	6	4	4	6
	d= 1	4	3	3	1	4
	r= 0.869	0.923	0.795	0.93	0.842	0.872
底部 水田	a= 0.1064	0.0612	0.0475	0.1373	0.2827	31.0555
	b= 0.0619	0.0647	0.0337	0.0349	0.1063	0.5908
	w= 6	6	6	4	3	6
	d= 4	4	3	3	1	3
	r= 0.806	0.765	0.7998	0.824	0.757	0.809

从表 4 和图 4 中可以看出, 大多数形态硼的变化周期是 6 个月, 如有效硼、交换性硼、非专性吸附性硼、全硼和矿物硼。但专性吸附硼和有机硼的变化周期为 4 个月, 这可能与有机质和土壤氧化物的年变化有关。而且, 不同地段上的周期变化规律也有差距, 其中全硼和矿物硼的变化不大, 基本上是 6 个月周期, 4 个月的初相。有效硼在水田的变化周期是 6 个月, 而在旱地和坡地的周期是 3 个月, 表明水田土壤有效硼含量比较稳定, 而旱地、坡地变化较大。

### 3 小结

1. 鄂南丘陵区棕红壤绝大部分以矿物态存在(96.38~97.60%), 热水溶性硼、交换态硼、吸附态硼、闭蓄态硼、有机态硼分别只占全硼的 0.48~1.17%、0.20~0.92%、0.16~0.23%、0.14~0.55%、0.84~1.14%。热水溶性硼含量 0.152~0.356mg/kg, 属中低水平, 仍属缺硼土壤, 应适当补充硼肥。

2. 鄂南丘陵区棕红壤农田生态系统的硼素分布规律明显不同于自然生态系统。依据集水面不同部位硼素分布特征的不同可将其分成 3 种类型: 第一类为高塝旱地和顶部坡地, 含热水溶性硼较高, 但有机硼、全硼和其它形态的硼含量较低, 硼的植物有效性不高, 该类型的热水溶性硼存在最明显的表层富集现象, 硼的垂直迁移系数比较小。在高塝旱地和顶部坡地应补充有机肥, 并改善水利及土壤条件, 结合根外施硼肥, 提高硼的有效性。第二类为中部旱地和中下部水旱轮作田, 通常是有水则水, 无水则旱, 水旱变化频繁, 使该类型硼的垂直迁移较大, 表层富集作用小, 土壤含热水溶性硼是 3 种类型中最小的一类。在中下部水旱轮作田应补充无机硼肥。第三类为底部水田, 该类型淹水时间较长, 土壤有机质含量较高, 虽然热水溶性硼次于顶部坡地, 但其植物有效性最高, 该类型的有机硼、全硼等各形态硼都较高。

3. 鄂南丘陵区棕红壤各形态硼均按规律周期性变化。各地段全硼、有机硼的变化周期都是半年, 除了中部旱地的初相是四个月外, 全硼、有机硼的初相都是 3 个月。热水溶性硼的变

(下转第 154 页)

致。世界土壤资源参比基础(WRB)在一级分类单元上区分也较为清晰,例如:海拔从低到高,大土类(the major soil groups)依次出现:低活性强酸土(Acrisols)–高活性强酸土(Alisols)–雏形土(Cambisols)–暗色土(Umbrisols),而且与发生学的分类单元对应较好;世界土壤资源参比基础将原世界土壤图图例单元中的“腐殖质始成土(Humic Cambisols)”和“暗色松岩性土(Umblic Regosols)”组成新的大土类——“暗色土(Umbrisols)”,来容纳那些由不饱和有机质在表层积累而对土壤习性和利用有显著影响的、土层较深的、自由排水的幼年土壤<sup>[7]</sup>,笔者认为是可取的。

卷之三 文獻

- 朱鹤健等.武夷山土壤垂直分布和特征.见:武夷科学(2).福州:福建科技出版社,1982,150~163
  - 朱鹤健等.福建东南部山地丘陵土壤的基本特征.土壤学报,1983,20(3):225~237
  - 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组等.中国土壤系统分类(修订方案).北京:中国农业科技出版社,1995
  - 陈健飞.福建省土壤水分和温度状况的计算机评定.见:徐明岗.现代土壤科学.北京:中国农业科技出版社,1994,160~162
  - 陈健飞.土壤水分和温度状况的估算.土壤,1989,21(3):160~162
  - Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy (Eighth Edition). Washington, D.C.: USDA NRCS, 1998
  - O.C. Spaargaren (Editor). World Reference Base for soil Resources (Draft). Wageningen/Rome: ISSS, ISRIC and FAO, 1994
  - 陈健飞.梅花山土壤诊断特性及系统分类研究.土壤,1997,29(5):235~239
  - 陈健飞.梅花山土壤在不同分类系统中的归类对比研究.见:中国土壤学会青年工作委员会等.迈向21世纪的土壤与植物营养科学.北京:中国农业出版社,1997,17~19
  - 朱鹤健等.福建山地土壤分类的研究.土壤通报,1991,22(1):1~4

(上接第 148 页)

化周期除了底部水田是6个月外,其它均为3个月,表明高塝旱地、坡地、水旱轮作田热水溶性硼的变化比底部水田热水溶性硼的变化频繁一些,且硼变化曲线的低谷常出现在油菜需硼较多的1~3月份。这可为种植制度安排提供依据。

### 参 考 文 献

- 1 刘铮等.华中丘陵区红壤中微量元素的供给情况以及与作物生长的关系.土壤,1975,(2):76~85
  - 2 马六通、赵碧萃、汤礼顺.四氟硼酸根电极法测定植物中硼.华中农学院学报,1996,4(3):84~88
  - 3 朱端卫.土壤硼化学库及其植物有效性研究.华中农业大学博士论文,1994,12~15
  - 4 杨永清.用硼电极测定土壤中全硼.土壤学报,1982,19(4):42~43
  - 5 Hou, J., Evans, L. J. and Spiers, G. A., Boron fractionation in soils. Commun. soil sci. plant anal., 1994, 25(9&10):1841~1853