

# 重庆紫色土硼的有效性及其影响因素分析<sup>①</sup>

谢 君, 杜 静, 刘 芸

西南大学 资源环境学院, 重庆 400716

**摘要:** 以重庆地区紫色土壤为对象, 研究紫色土硼的有效性及其主要影响因素. 结果表明: 供试土壤有效硼含量在 0.076~1.60 mg/kg 范围内, 平均值为 0.183 mg/kg, 参照《土壤—植物营养学原理和施肥》进行评价发现, 其中有 87.16% 的土壤样品有效硼含量很低, 11.49% 有效硼含量低, 有 99% 的供试样品低于缺硼临界值. 有机质、pH 值、阳离子交换量 (CEC) 和母岩母质对其有效硼含量均有显著的影响. 在  $\text{pH} \geq 6.5$  的范围内, 有效硼随有机质含量增加而增加, 但在  $\text{pH} < 6.5$  的范围内却随有机质含量增加而减少, pH 值的降低和 CEC 含量的增加, 都会使有效硼含量随之增加, 其中对硼有效性影响最大的因素是有机质.

**关键词:** 紫色土; 硼; 有效性; 影响因素

**中图分类号:** S153.6<sup>+1</sup>

**文献标志码:** A

硼是植物生长必须的一种微量元素, 对烟叶等经济农产品的产量和品质产生重要影响<sup>[1]</sup>. 随着农业生产的发展, 需硼作物的大量推广种植, 不少地方作物出现了缺乏硼元素的症状, 限制了当地农业生产的发展. 植物吸收的硼主要是土壤中的有效硼, 因此, 植物缺硼与否完全取决于土壤有效硼含量<sup>[2-4]</sup>.

土壤全硼含量约 2~100 mg/kg<sup>[5]</sup>, 随土壤类型的不同而有很大差异. 硼有效性受全硼含量影响, 更受土壤性质、气候条件等许多因素的影响, 目前国内外已有相当多的研究成果, 其中土壤性质对硼有效性的影响较为复杂, 土壤 pH 值<sup>[6-11]</sup>、有机质<sup>[12-15]</sup>、母质类型<sup>[16]</sup>、无机离子<sup>[17]</sup>、生态条件<sup>[18]</sup> 等对土壤硼的有效性均有影响. 因此, 弄清不同环境条件下土壤硼的有效性, 根据不同生物气候以及土壤条件合理施用硼肥, 对于分类指导农作物生产将有重要意义.

紫色土是重庆市分布最广的土壤类型, 占全市农用地总面积的 33.22%、重庆市土壤有效硼平均含量为  $0.19 \pm 0.13$  mg/kg<sup>[19]</sup>、金昆等对重庆地区黄壤有效硼含量以及影响因素等做过研究<sup>[20]</sup>, 但目前对于紫色土硼的有效性水平及其影响因素研究鲜见报道、生产中虽然使用硼肥, 但作物缺硼现象仍然严重. 因此, 本文选取重庆市紫色土地区土壤, 通过有效硼及土壤基本性质的测定及分析, 掌握重庆市紫色土地区硼的有效性水平及丰缺状况, 研究紫色土有效硼含量的影响因素, 为合理改善土壤性质、合理施肥、提高土壤有效硼含量, 促进农业生产提供科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤样品的采集和制备

148 个供试样品分别采自重庆长寿、丰都、垫江、大足、铜梁、云阳、万州、荣昌、石柱、梁平等 19 个

① 收稿日期: 2010-09-21

作者简介: 谢 君(1987-), 男, 贵州大方人, 硕士研究生, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究.

通信作者: 刘 芸, 副教授, 硕士生导师.

区县。地层包括：中生代三叠系飞仙关组( $T_1f$ )，白垩系夹关组( $K_2j$ )，侏罗系自流井组( $J_{1-2}z$ )、沙溪庙组( $J_2s$ )、遂宁组( $J_3s$ )和蓬莱镇组( $J_3p$ )。采样土层深度为 0~20 cm，样品量为 0.5~1 kg。去除与金属器皿接触过的土壤，在室内自然风干，剔除侵入体(如植物残渣、昆虫、石砾)，磨碎过 1,0.25 mm 尼龙筛，装瓶备用。各供试土样基本情况见表 1。

## 1.2 土壤样品分析

(1) 土壤有效硼<sup>[21]</sup>：沸水提取—姜黄素比色法。

(2) 土壤基本性质的测定<sup>[21]</sup>：土壤 pH 值采用电位计法(土水质量比为 1:1)；有机质采用重铬酸钾容量法(外加热法)；阳离子交换量(CEC)在  $pH < 6.5$  时采用总和法测定，在  $pH \geq 6.5$  时采用  $K_2C_2O_4$ —火焰光度法。

## 1.3 数据处理

描述性统计、相关分析、回归分析、通径分析和独立样品 T 检验采用 SPSS 13.0 For Windows 进行处理。其他数据分析采用 Excel 进行处理。

# 2 结 果

## 2.1 重庆紫色土有效硼含量

供试重庆地区紫色土有效硼含量见表 1，范围为 0.076~1.6 mg/kg，平均值为 0.183 mg/kg，与重庆土壤平均水平相当，但低于重庆市黄壤  $0.39 \pm 0.27$  mg/kg 的平均水平<sup>[20]</sup>，说明在相同地带气候条件下紫色土有效硼含量较低，最高含量与最低含量之间相差近 20 倍，变异系数为 85.8%，变异较大。

表 1 土壤样品有效硼含量和基本性质

土壤母质	样品数	有效硼/( $mg \cdot kg^{-1}$ )		变异系数/%	有机质/( $g \cdot kg^{-1}$ )		CEC		pH
		含量范围	平均值±标准差		含量范围	平均值±标准差	含量范围	平均值±标准差	
侏罗系 蓬莱镇组( $J_3p$ )	9	0.096~0.19	0.142±0.034	23.9	5.29~15.5	12.28±1.06	11.9~31.8	23.42±2.30	5.0~8.3
侏罗系 遂宁组( $J_3s$ )	44	0.098~0.41	0.167±0.057	34.1	5.02~33.1	13.66±0.81	8.94~38.0	21.47±0.86	5.3~8.3
侏罗系 沙溪庙组( $J_2s$ )	78	0.076~1.6	0.189±0.206	109.0	2.86~24.4	12.40±0.41	7.23~42.0	21.12±0.77	3.8~8.3
侏罗系 自流井组( $J_{1-2}z$ )	14	0.15~0.42	0.239±0.089	37.2	5.28~24.4	13.62±1.31	14.4~28.6	21.92±1.07	4.6~8.0
三叠系 飞仙关组( $T_1f$ )	1	0.17	0.173		15.1		30.2		4.5
白垩系 夹关组( $K_2j$ )	2	0.10~0.42	0.126±0.032	25.4	8.74~11.4	10.07±1.33	9.25~15.4	12.33±3.08	4.6~6.5
合计	148	0.076~1.6	0.183±0.157	85.8	2.86~33.1	12.83±0.36	7.23~42.0	21.39±0.52	4.5~8.3

从含量水平看，重庆市紫色土地区的土壤大部分都缺硼。按土壤有效硼丰缺评价标准<sup>[22]</sup>进行划分(见表 2)，土壤有效硼含量属“很低”的占分析样品的 87.16%，“低”的占 11.49%；按土壤有效硼含量  $\leq 0.5$  mg/kg 的临界值划分，重庆市有 99% 的紫色土壤样品低于缺硼临界值，重庆紫色土壤缺硼十分严重。

## 2.2 影响土壤有效硼的因素分析

土壤中有效硼含量的影响因素很多，一般认为其主要受土壤有机质含量、土壤 pH 值、阳离子交换量(CEC)以及土壤质地的影响<sup>[5-17]</sup>。这些因素的影响相互交错，共同控制着土壤有效硼的供给能力。大多数学者认为其中有机质的影响最为关键。

表 2 供试土壤样品有效硼含量评价

有效硼含量 范围/(mg · kg <sup>-1</sup> )	<0.25	0.25~0.5	0.51~1.0	1.01~2.0	>2.0
平均值/(mg · kg <sup>-1</sup> )	0.147	0.316	—	1.365	—
分布频数/%	87.16	11.49	—	1.35	—
级别指标	五级	四级	三级	二级	一级
评价	很低	低	中等	高	很高

表 1 列出了本文在数据分析中得出的与有效硼含量相关的土壤基本性质, 重庆地区紫色土 pH 值范围在 3.8~8.3, 变化范围大, 有机质含量低, 而阳离子交换量较大。

### 2.2.1 土壤有机质与有效硼的关系

将供试样品有机质与有效硼含量进行统计分析发现, 在  $\text{pH} < 6.5$  的情况下, 土壤有机质与有效硼含量呈显著负相关关系, 其直线方程为  $Y = -0.021X + 0.478$  ( $r = -0.266^*$ ,  $\text{Sig.} = 0.048$ ), 在  $\text{pH} \geq 6.5$  的情况下, 土壤有机质与有效硼含量呈极显著正相关关系, 其直线方程为  $Y = 0.004X + 0.118$  ( $r = 0.284^{**}$ ,  $\text{Sig.} = 0.006$ ). 说明在  $\text{pH} \geq 6.5$  的范围内, 重庆紫色土壤中有效硼随有机质含量增加而增加, 但在  $\text{pH} < 6.5$  的范围内却随有机质含量增加而减少。

### 2.2.2 土壤 pH 值与有效硼的关系

将供试土壤样品 pH 值与有效硼含量进行相关分析发现, 土壤 pH 值与有效硼含量呈显著负相关关系, 其直线方程为  $Y = -0.024X + 0.343$  ( $r = -0.200^*$ ,  $\text{Sig.} = 0.015$ ). 说明重庆紫色土壤中有效硼含量随 pH 值提高而减少。

### 2.2.3 土壤 CEC 与有效硼的关系

通过土壤阳离子交换量 (CEC) 与有效硼含量的相关分析发现, 二者间存在极显著的正相关关系, 其直线方程为  $Y = 0.005X + 0.070$  ( $r = 0.213^{**}$ ,  $\text{Sig.} = 0.015$ ), 说明重庆紫色土中有效硼含量受 CEC 含量影响, 且随 CEC 含量增加而增加。

### 2.2.4 土壤母岩母质与有效硼的关系

由表 1 可知, 由侏罗纪遂宁组、沙溪庙组、自流井组和蓬莱镇组母岩母质发育而成的紫色土有效硼平均含量分别为  $0.167 \pm 0.057$ ,  $0.189 \pm 0.206$ ,  $0.239 \pm 0.089$  和  $0.142 \pm 0.034$  mg/kg. 将各组母质发育而成的土壤的有效硼含量进行独立样品 T 检验, 发现自流井组母质发育的紫色土有效硼含量极显著高于蓬莱镇组 ( $\text{Sig.} = 0.006$ ) 和遂宁组母质发育的紫色土 ( $\text{Sig.} = 0.001$ ). 说明重庆紫色土有效硼含量受到母岩母质类型的影响, 但由于重庆地区供试土壤样品母质主要为遂宁组、沙溪庙组、自流井组和蓬莱镇组母质, 所采夹关组、飞仙观组母质土壤较少, 无法判断夹关组、飞仙观组母质土壤的有效硼水平。

### 2.2.5 影响土壤有效硼因素的多元回归及通径分析

通径分析是通过自变量和因变量之间的相关分解来研究自变量的相对重要性. 将试验中测定的影响土壤硼有效性的各效应因子与有效硼进行回归分析, 设 Y 为有效硼, X1、X2、X3 分别为 pH 值、有机质和 CEC, 可得  $\text{pH} < 6.5$  时的线性回归方程:  $Y = -0.092X_1 - 0.028X_2 + 0.11X_3 + 0.775$ , 模型检验达极显著水平 ( $F = 4.749$ ,  $\text{Sig.} = 0.005$ ), 直接通径系数分别为:  $-0.270$ 、 $-0.345$ 、 $0.329$ ;  $\text{pH} \geq 6.5$  时的线性回归方程:  $Y = 0.004X_2 + 0.118$ , 模型检验达极显著水平 ( $F = 7.917$ ,  $\text{Sig.} = 0.006$ ), 直接通径系数为:  $0.284$ . 因此对有效硼的影响程度最大的是有机质。

## 3 讨 论

1) 有机质被很多学者认为是影响土壤有效硼含量最主要的因素, 有机质吸附和解吸土壤中的硼, 从而对硼的有效性产生影响, 但目前的研究结果并不一致. 本文通径分析结果显示, 有机质是影响紫色土有效硼最主要的因素. 在  $\text{pH} \geq 6.5$  的范围内, 重庆紫色土壤有效硼随有机质含量增加而增加, 但在  $\text{pH} < 6.5$  的范围内却随有机质含量增加而减少. 可能是由于  $\text{pH} < 6.5$  时吸附在有机质上的硼的解吸存在滞后现象导

致有机质的增加而降低了硼的有效性<sup>[12-13]</sup>,但在一定的 pH 值范围内土壤有机物分解产生多聚糖化物,多聚糖化物与黏土反应降低了黏土表面对硼的吸附和结合,自身与硼结合的机会也减少,从而造成土壤溶液中有效硼含量的增加<sup>[15]</sup>.

2) pH 值由于影响硼的吸附和解吸的条件,从而对硼有效性产生影响,但国内外学者研究结论不完全相同<sup>[5-10]</sup>.但多数学者认为 pH 值在 3~9 的范围内,随 pH 值的提高有效硼的含量降低.本研究供试紫色土 pH 值在 3.8~8.3 的范围,有效硼含量随 pH 值提高而减少.这可能与羟基以及铁、铝离子对硼的吸附有关<sup>[16]</sup>.

3) 研究中发现紫色土有效硼含量与 CEC 含量呈极显著正相关,与金昆等在黄壤硼研究中得出的结论一致<sup>[20]</sup>.CEC 可能通过交换性阳离子与有机质作用对硼有效性产生影响,但具体影响机制还需深入研究.

4) 成土母质的类型影响着土壤中有效硼的含量.本研究中侏罗系自流井组母质土壤有效硼含量最高,显著高于蓬莱镇组,极显著高于遂宁组母质土壤,但由于飞仙观和夹关组土壤样品量较少,不能说明母质对其的影响.不同地层紫色母岩,其颗粒组成、质地、化学性质和养分状况等都有所不同<sup>[23]</sup>,必然影响其发育土壤全量硼、pH 值、CEC 等各方面性质,从而影响土壤有效硼含量.但成土母质具体通过哪些方面性质对土壤有效硼产生影响还需要进一步研究.

#### 参考文献:

- [1] SONG Zhen-xia, GAO Ming. Effects of Boron Fertilizer Application Rates on the Yield and Quality of Flue-Cured Tobacco [J]. 西南大学学报:自然科学版, 2008, 30(6): 64-72.
- [2] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1983. 67. 221.
- [3] GOLDBERG S, FORSTER H S, HEICK E L. Temperature Effects on Boron Adsorption by Reference Mineral and Soil [J]. Soil Sci, 1993(156): 316-321.
- [4] BLEVIM D G, LUKASZEWSKI K M. Boron in Plant Structure and Function [J]. Ann Rev Plant Physiol, 1998, 49: 481-500.
- [5] 宋时奎, 李文华. 土壤性质与硼有效性的关系 [J]. 东北农业大学学报, 2004, 35(1): 113-118.
- [6] BERGER K C, TRUOG E. Boron Availability in Relation to Soil Reaction and Organic Matter Content [J]. Soil Sci Soc Am Proc, 1945(10): 113-116.
- [7] ELRASHIDI M A, O'CONNOR G A. Boron Sorption and Desorption in Soil [J]. Soil Sci Soc Am, 1982(46): 27-31.
- [8] MIGUEZ S R, DIGGS C, RAS C, et al. Effect of Some Soil Properties on Extractable Boron Content in Argentine Pampas Soils [J]. Communications in Soil Science and plant Analysis, 1999(30): 2083-2100.
- [9] KEREN R, BINGHAM F T, RHOADES J D. Plant Uptake of Boron as Affected by Boron Distribution Between Liquid and Solid Phases in Soil [J]. Soil Sci Soc Am, 1985(49): 297-302.
- [10] BINGHAM F T, PAGE A L, COLEMAN N T, et al. Boron Adsorption Characteristics of Selected Soils from Mexico and Hawaii [J]. Soil Sci Soc Am, 1971(35): 546-550.
- [11] BARROW N J. Testing a Mechanistic Model. X. The Effect of pH and Electrolyte Concentration on Boron Sorption by a Soil [J]. Soil Sci, 1989(40): 427-435.
- [12] YERMIYAHU U, KEREN R, CHEN Y. Effect of Composted Organic Matter on Boron Uptake by Plants [J]. Soil Sci Soc Am, 2001(65): 11436-1441.
- [13] DATTA S P, BHADORIA P B S. Boron Adsorption and Desorption in Some Acid Soils West Bengal, India [J]. Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde, 1999, 162(2): 183-191.
- [14] 刘 铮, 朱其清, 唐哥华. 我国缺硼土壤的类型和分布 [J]. 土壤学报, 1980, 17(3): 228-239.
- [15] GU B, LOWE L E. Observations on the Effect of a Soil Polysaccharide Fraction on Boron Adsorption by Clay Minerals [J]. Can Soil Sci, 1992(72): 623-626.
- [16] HATCHER J T, BO WER C A, CLARK M. Adsorption of Boron by Soils as Influenced by Hydroxy Aluminum and Surface Area [J]. Soil, 1967(104): 422-426.
- [17] RHOADES J D, INGVALSON R D. Adsorption of Boron by Ferromagnesian Minerals and Magnesium Hydroxide [J]. Soil Sci Soc Amer Proc, 1970(34): 938-941.
- [18] 姜超英, 周忠仁, 黄全康, 等. 不同生态条件下的烤烟硼营养研究 [J]. 中国烟草科学, 2004; 25(3): 20-24.

- [19] 马俊英, 青长乐, 张学良, 等. 重庆土壤有效态微量元素的含量与分布 [J]. 西南农业大学学报, 1989(11): 221—228.
- [20] 金 昆, 王子芳, 高 明, 等. 重庆市黄壤硼的有效性及其影响因素分析 [J]. 中国农学通报, 2007, 27(9): 490—493.
- [21] 杨剑虹, 王成林, 代亨林. 土壤农化分析与环境监测 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2008.
- [22] 鲁如坤. 土壤—植物营养学原理和施肥 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [23] 何毓蓉. 中国紫色土(下篇) [M]. 北京: 科学出版社, 2003.

## The Availability of Boron in Purple Soil and Its Influencing Factors in Chongqing

XIE Jun, DU Jing, LIU Yun

*College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716*

**Abstract:** Available boron of purple soil and other soil properties were measured to determine their distribution and to identify factors affecting their variability in different regions of Chongqing. The results showed that: the available boron content of soil samples is in the  $0.076\sim 1.60\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  range, and average is  $0.183\text{ mg/kg}$ , of which 87.16% of the available boron content of soil samples is very low, 11.49% is low. There are 99% of the soil samples below the critical value of B deficiency. Organic matter, pH, CEC and the parent rock of its boron content had significant effects. In the condition of  $\text{pH}\geq 6.5$ , the available B content increased with the increase of organic matter in purple soil. However, and the available B content decreased with increasing of organic matter content while  $\text{pH}<6.5$ . With the decreased pH value and the increased CEC, available boron content was increased. Organic matter is the factor influencing available boron mostly. The theoretical basis of reasonable application of boron fertilizer in Chongqing purple soil region was provided.

**Key words:** purple soil; boron; availability; influencing factors

责任编辑 陈绍兰