

# 湖北利川耕地土壤有效硼含量及分布特征

向文明<sup>1\*</sup>, 冉拥君<sup>2</sup>, 宋大伦<sup>3</sup>, 周富忠<sup>4#</sup>

<sup>1</sup>利川市农业综合执法大队, 湖北 利川

<sup>2</sup>利川市团堡镇农业服务中心, 湖北 利川

<sup>3</sup>利川市沙溪乡农业服务中心, 湖北 利川

<sup>4</sup>利川市土壤肥料工作站, 湖北 利川

收稿日期: 2024年5月10日; 录用日期: 2024年6月13日; 发布日期: 2024年7月8日

## 摘要

采集、检测、统计并分析了湖北省利川市耕地土样的有效硼含量。结果表明, 有效硼点位均值 $0.345 \pm 0.218$  mg/kg, 含量较低, 变幅 $0.057 \sim 2.208$  mg/kg, 变异系数63.32%, 中等变异; 80%以上低于临界值, 应全面加强硼肥的推广应用。空间分布差异较明显, 中部相对较高, 城区正南的毛坝、正北部的柏杨坝及齐跃山脉以西的建南、谋道较低, 建南、毛坝的所有点位, 南坪、柏杨坝、谋道90%的点位低于临界值。水旱不同利用类型和海拔差异对耕地有效硼影响较小, 水田略高于旱地, 高山 > 低山 > 二高山。不同母岩母质发育的土类有一定差异, 河流冲积物 > 第四纪黏土 > 碳酸盐岩 > 泥质砂页岩 > 紫色页岩 > 石英砂岩; 潮土 > 黄棕壤 > 黄壤 > 棕壤 > 石灰土 > 紫色土。土壤酸碱性及有机质含量是影响耕地有效硼的主要因素, 相关性分析表明, 利川耕地有效硼与土壤有机质及pH呈极显著正相关。

## 关键词

湖北利川, 耕地, 有效硼, 空间分布, 相关性

# Effective Boron Content and Distribution Characteristics of Cultivated Soil in Lichuan, Hubei Province

Wenming Xiang<sup>1\*</sup>, Yongjun Ran<sup>2</sup>, Dalun Song<sup>3</sup>, Fuzhong Zhou<sup>4#</sup>

<sup>1</sup>Lichuan Agricultural Comprehensive Law Enforcement Brigade, Lichuan Hubei

<sup>2</sup>Lichuan Tuanbao Town Agricultural Service Center, Lichuan Hubei

<sup>3</sup>Lichuan Shaxi Township Agricultural Service Center, Lichuan Hubei

<sup>4</sup>Lichuan Soil and Fertilizer Workstation, Lichuan Hubei

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 向文明, 冉拥君, 宋大伦, 周富忠. 湖北利川耕地土壤有效硼含量及分布特征[J]. 土壤科学, 2024, 12(3): 114-124. DOI: 10.12677/hjss.2024.123014

Received: May 10<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jun. 13<sup>th</sup>, 2024; published: Jul. 8<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

The effective boron content of cultivated land soil samples in Lichuan City, Hubei Province was collected, detected, statistically analyzed, and analyzed. The results showed that the average effective boron concentration was  $0.345 \pm 0.218$  mg/kg, with a low content and a range of 0.057~2.208 mg/kg. The coefficient of variation was 63.32%, indicating moderate variation; More than 80% are below the critical value, and the promotion and application of boron fertilizer should be comprehensively strengthened. There are significant differences in spatial distribution, with the central part being relatively high. Maoba in the south of the urban area, Baiyangba in the north, and Jiannan and Moudao to the west of the Qiyue Mountains are relatively low. Among all the points in Jiannan and Maoba, 90% of the points in Nanping, Baiyangba, and Moudao are below the critical value. The different utilization types and altitude differences of water and drought have a relatively small impact on the effective boron of cultivated land, with paddy fields slightly higher than dry lands, with high mountains > low mountains > two high mountains. There are certain differences in the soil types developed by different parent rocks, with river alluvial deposits > Quaternary clay > carbonate rocks > muddy sand shale > purple shale > quartz sandstone; Chao soil > yellow brown soil > yellow soil > brown soil > lime soil > purple soil. Soil acidity, alkalinity, and organic matter content are the main factors affecting available boron in cultivated land. Correlation analysis shows that available boron in Lichuan cultivated land is highly significantly positively correlated with soil organic matter and pH.

## Keywords

Lichuan, Hubei, Cultivated Land, Effective Boron, Spatial Distribution, Relativity

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

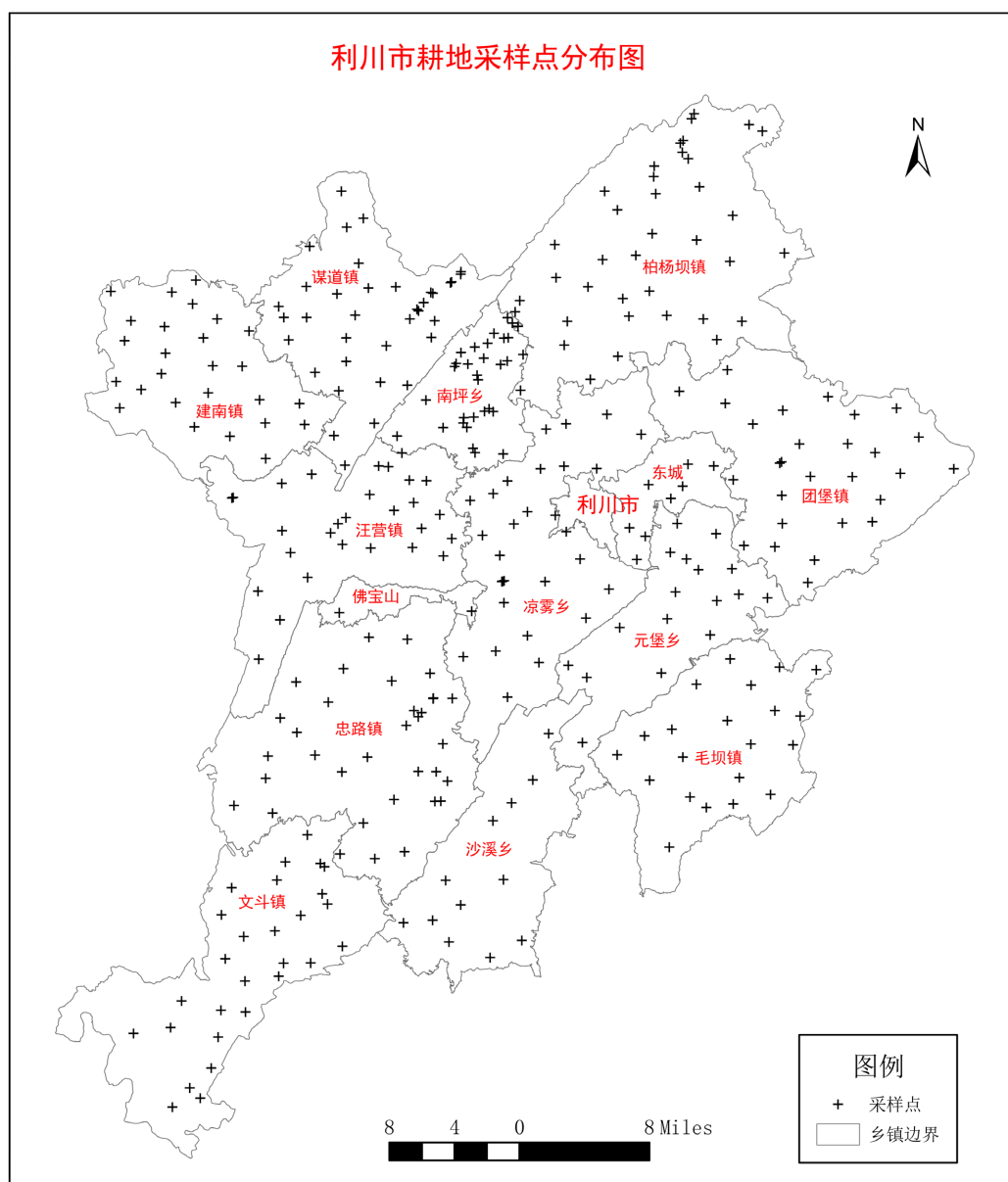
作物吸收的硼主要来自土壤，土壤中的硼可分为全量硼和有效硼，全量硼是各形态硼的总和；有效硼(约占全量硼的 5%)是指作物可吸收利用的部分。因此，土壤缺硼与否取决于有效硼含量。赵书军等[1]、毕庆文等[2]、袁家富等[3]、黎根等[4]对利川烟区土壤，田瑞等[5]对利川梨园土壤的有效硼含量有过研究，但样品数量少，难以反映利川耕地有效硼含量及分布的全面情况。利川作为油菜、果树、蔬菜等高需硼经济作物的主产地，缺硼已成为制约产量及品质提升的主要限制因子。因此，全面摸清利川市耕地有效硼的含量及分布，对农产品质量提升、农业可持续发展、打造农业特色产业以及乡村振兴都具有重要的现实意义。

利川市土壤肥料工作站结合 2022 年度县域耕地质量等级评价工作，检测了耕评土样的有效硼含量，并根据行政区域、海拔高度、土地利用类型、土壤类型及成土母岩母质等进行了分类统计分析，充分掌握了湖北利川耕地土壤有效硼的含量水平及分布特征，为指导广大种植业者科学施用硼肥，促进作物高产优质高效提供了科学依据和技术支撑。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究区域概况

利川地处湖北西南边陲, 属云贵高原东延部分, 巫山余脉和武陵山北上余脉交汇部, 清江、郁江发源地。东南接恩施、咸丰, 西北与重庆市的奉节、云阳、万州、石柱、黔江、彭水相邻。南北跨北纬 $29^{\circ}42'$ ~ $30^{\circ}39'$ , 长 105 km, 属亚热带; 东西贯东经 $108^{\circ}21'$ ~ $109^{\circ}18'$ , 宽 92 km, 国土面积 4605.53 km<sup>2</sup>。辖 14 个乡镇(办事处), 2021 年户籍总人口 91.75 万, 常住人口 71.44 万。是恩施州面积最大、人口最多的县级市。境内山地、峡谷、丘陵、山间盆地及河谷平川相互交错, 120 余万亩耕地镶嵌其间, 占国土面积的 17.39%。城区位于中部盆地偏东部位, 海拔 1079.5 米, 高于周边各县市。



**Figure 1.** Distribution of effective boron sampling points on cultivated land in Lichuan city

**图 1.** 利川市耕地有效硼采样点分布图

## 2.2. 土壤样品来源

2022 年度利川市耕地质量等级评价项目所采土壤样品 338 个, 其中水田 95 个、旱地 243 个, 覆盖全市 13 个乡镇(见图 1), 都亭办事处属城区, 耕地面积较小未采样; 佛宝山开发区归入汪营镇。采样时间为当年 11~12 月, 作物收获后。以自然田块为采样单元, 按 NY/T1121.1-2006 要求采集耕层土样。

## 2.3. 土样检测方法

土样委托湖北省地矿局恩施实验室检测, 检测了耕地土样的有效硼、pH、有机质等项目。检测方法 & 标准见表 1。称取 10.00 g 过 2 mm 孔径筛的风干土样于 250 mL 石英锥形玻璃瓶中, 加 20.00 mL 1 g/L 七水硫酸镁溶液煮沸 5 min 稍冷过滤, 取滤液 4 mL 于 10 mL 比色管中, 加入 0.5 mL 0.2 mol/L 酸性高锰酸钾溶液, 摇匀放置 2~3 min, 加入 0.5 mL 0.1 g/mL 抗坏血酸溶液摇匀, 待紫红色消退且褐色的二氧化锰沉淀完全溶解后, 加入 5.00 mL 混合显色剂显色, 放置 1 小时后于分光光度计波长 415 nm 处用 2 cm 光径比色皿比色, 测定计算土壤有效硼含量。称取 10.00 g 过 2 mm 孔径筛的风干土样于 50 mL 高型烧杯中, 加去 CO<sub>2</sub> 水 25 mL (土液比为 1:2.5) 用搅拌器搅拌 1 min, 使土粒充分分散, 放置 30 min 后用酸度计测定土壤 pH。准确称取 0.0500~0.5000 g 过 0.25 孔径筛的风干土样, 放入硬质试管中, 准确加入 10.00 mL 0.4 mol/L 重铬酸钾 - 硫酸溶液, 摇匀并在试管口插入一玻璃漏斗, 用铁笼盛装放入 170°C~180°C 油浴中加热, 沸腾 5 ± 0.5 min 后冷却片刻, 将试管中消煮液及土壤残渣无损转入 250 mL 三角瓶中, 加 3 滴邻菲罗啉指示剂, 用硫酸亚铁标准溶液滴定测定土壤有机质含量。

**Table 1.** Soil sample testing standards and methods

**表 1.** 土样检测标准与方法

序号	检测项目	检测标准	检测方法
1	有效硼	NY/T1121.8-2006	沸水提取, 甲亚胺-H 比色法
2	pH	NY/T1121.2-2006	酸度计法
3	有机质	NY/T1121.6-2006	重铬酸钾 - 硫酸处理, 容量法

## 2.4. 评价依据及数据统计分析

**Table 2.** Different grading standards for effective boron in soil

**表 2.** 土壤有效硼不同分级标准

分级	1 级(高)	2 级(较高)	3 级(中)	4 级(较低)	5 级(低)
A	>2.00	(1.00~2.00]	(0.50~1.00]	[0.20~0.50]	<0.20
B	>1.50	(1.00~1.50]	(0.50~1.00]	[0.20~0.50]	<0.20
C	/	>1.00	(0.50~1.00]	[0.25~0.50]	<0.25
D	>1.00	(0.60~1.00]	(0.30~0.60]	[0.15~0.30]	<0.15

全国对土壤有效硼含量的分级标准较多, 一般都根据含量分为高、较高、中、较低、低 5 级, 较有代表性的有(表 2): A 全国第二次土壤普查分级标准[6], 还把有效硼临界值定为 0.50 mg/kg; B 《湖北省耕地质量监测指标分级标准》(鄂耕肥[2018] 16 号); C 《微量元素营养与微肥施用》[7]中的 4 级标准; D

黎根等[4]、罗建新等[8]对烟区的分级标准。本文按 B《湖北省耕地质量监测指标分级标准》进行评价,并引用 A 中临界值;按雷志栋等[9]的<10%为弱变异、10%~100%为中等变异、>100%为强变异划分变异系数(RSD%);用《县域耕地资源管理信息系统》绘制采样点图;Excel 作数据统计及相关性分析。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 利川耕地有效硼含量及空间分布特征

利川耕地有效硼含量及分布见表 3、表 4。全市点位均值  $0.345 \pm 0.218$  (标准差) mg/kg, 含量较低, 变幅 0.057~2.208 mg/kg, 变异系数 63.32%, 中等变异;较高及以上水平占比不足 1.5%, 15%的样点处于中等水平, 近 83%处于较低及以下水平, 耕地有效硼整体缺乏。较高及以上水平仅 5 个点, 高水平 1 个点位于海拔 728 m 的低山, 忠路镇合力村, 为河流冲积物发育的潮土;较高水平 4 个点分别位于汪营镇的兴隆(碳酸盐岩发育的黄棕壤)、十户场(河流冲积物发育的水稻土)、石碾坝村(碳酸盐岩发育的水稻土), 文斗镇的板桥村(碳酸盐岩发育的黄棕壤), 海拔都在 1000 m 以上。

各乡镇有效硼均值 0.238~0.539 mg/kg, 相差 1.26 倍;极大值 0.482~2.208 mg/kg, 相差 3.58 倍;极小值 0.057~0.247 mg/kg, 相差 3.33 倍;极差 0.355~2.151 mg/kg, 相差 5.06 倍;标准差 0.096~0.371 mg/kg, 相差 2.86 倍;变异系数 36.42%~103.45%, 仅忠路镇为强变异, 其它乡镇为中等变异都未超过 60%。由高到低为:元堡、汪营、文斗、东城、团堡、忠路、凉雾、沙溪、南坪、柏杨坝、谋道、建南、毛坝, 仅元堡均值为中等, 且明显高于其它乡镇, 其它乡镇都为较低水平;城区正南(毛坝)、正北部(柏杨坝)及齐跃山脉以西(建南、谋道)的耕地有效硼含量相对更低, 建南、毛坝的全部点位为较低及以下水平, 南坪、柏杨坝、谋道 90%的点位为较低及以下水平。

**Table 3.** Statistical analysis of effective boron in cultivated land of various counties and towns in Lichuan City

**表 3.** 利川市各乡镇耕地有效硼统计分析表

乡镇	样品数	均值 mg/kg	极大值	极小值	极差	标准差	RSD%
利川市	338	0.345	2.208	0.057	2.151	0.218	63.32
元堡镇	17	0.539	0.963	0.110	0.853	0.276	51.25
汪营镇	29	0.476	1.322	0.148	1.174	0.282	59.12
文斗镇	29	0.456	1.349	0.151	1.198	0.246	54.02
东城	8	0.417	0.757	0.247	0.510	0.199	47.58
团堡镇	28	0.360	0.747	0.189	0.558	0.131	36.42
忠路镇	33	0.358	2.208	0.057	2.151	0.371	103.45
凉雾乡	29	0.343	0.877	0.138	0.739	0.198	57.82
沙溪乡	12	0.318	0.558	0.200	0.358	0.120	37.79
南坪乡	32	0.283	0.606	0.119	0.487	0.122	42.97
柏杨坝镇	38	0.281	0.541	0.085	0.456	0.134	47.74
谋道镇	36	0.279	0.619	0.113	0.506	0.122	43.90
建南镇	26	0.256	0.493	0.138	0.355	0.104	40.75
毛坝镇	21	0.238	0.482	0.125	0.357	0.096	40.51

**Table 4.** Statistical table of effective boron grading frequency in cultivated land of various counties and towns in Lichuan City  
**表 4.** 利川市各乡镇耕地有效硼分级频率统计表

乡镇	样品数		高		较高		中		较低		低	
	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
利川市	338	100	1	0.30	4	1.18	53	15.68	197	58.28	83	24.56
元堡乡	17	5.03	0	0.00	0	0.00	8	47.06	8	47.06	1	5.88
汪营镇	29	8.58	0	0.00	3	10.34	7	24.14	16	55.17	3	10.34
文斗镇	29	8.58	0	0.00	1	3.45	10	34.48	16	55.17	2	6.90
东城	8	2.37	0	0.00	0	0.00	2	25.00	6	75.00	0	0.00
团堡镇	28	8.28	0	0.00	0	0.00	5	17.86	22	78.57	1	3.57
忠路镇	33	9.76	1	3.03	0	0.00	6	18.18	13	39.39	13	39.39
凉雾乡	29	8.58	0	0.00	0	0.00	6	20.69	16	55.17	7	24.14
沙溪乡	12	3.55	0	0.00	0	0.00	2	16.67	10	83.33	0	0.00
南坪乡	32	9.47	0	0.00	0	0.00	1	3.13	19	59.38	12	37.50
柏杨坝	38	11.24	0	0.00	0	0.00	3	7.89	20	52.63	15	39.47
谋道镇	36	10.65	0	0.00	0	0.00	3	8.33	24	66.67	9	25.00
建南镇	26	7.69	0	0.00	0	0.00	0	0.00	16	61.54	10	38.46
毛坝镇	21	6.21	0	0.00	0	0.00	0	0.00	11	52.38	10	47.62

### 3.2. 利川耕地有效硼海拔垂直分布特征

耕地不同海拔区域的有效硼点位均值 0.338~0.363 mg/kg (表 5), 差异不大, 处于较低水平, 高山 > 低山 > 二高山; 极大值出现在低山, 极小值出现在二高山; 都为中等变异, 但低山的标准差和变异系数比二高山和高山要高出很多。表 6 显示, 不同海拔区域耕地有效硼分级频率差异不大, 土壤有效硼含量与海拔高度无明显相关性。

**Table 5.** Statistical analysis of available boron in cultivated land at different altitudes in Lichuan City  
**表 5.** 利川市不同海拔区域耕地有效硼统计分析表

海拔分区	样品数	均值 mg/kg	极大值	极小值	极差	标准差	RSD%
<800 m (低山)	58	0.344	2.208	0.112	2.096	0.294	85.48
800~1200 m (二高山)	196	0.338	1.349	0.057	1.292	0.199	58.92
>1200 m (高山)	84	0.363	1.322	0.113	1.209	0.203	55.81

**Table 6.** Frequency statistics of effective boron content classification in cultivated land at different altitudes  
**表 6.** 不同海拔区域耕地有效硼含量分级频率统计表

海拔 分区	样品数		高		较高		中		较低		低	
	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
低山	58	17.16	1	1.72	0	0.00	8	13.79	32	55.17	17	29.31
二高山	196	57.99	0	0.00	2	1.02	31	15.82	116	59.18	47	23.98
高山	84	24.85	0	0.00	2	2.38	14	16.67	49	58.33	19	22.62

### 3.3. 利川耕地有效硼不同利用类型及土类分布特征

不同利用类型的有效硼点位均值(表 7)都较低, 水田(水稻土)略高于旱地; 变异系数也相当, 中等变异, 土壤有效硼与利用类型无明显相关性。水田  $0.347 \pm 0.221$  mg/kg ( $n = 95$ ), 变幅 0.091~1.322 mg/kg, 高水平无分布、较高水平仅 2 个点位、中等水平近 20%、较低水平超过一半、低水平约占 30%; 旱地  $0.344 \pm 0.218$  mg/kg ( $n = 243$ ), 变幅 0.057~2.208 mg/kg, 高、较高含量分别为 1 个和 2 个点位, 中等含量近 15%, 较低含量超过 60%, 低含量约占 1/4 (表 8)。

不同土类的有效硼点位均值(表 7) 0.281~0.512 mg/kg, 相差较大, 潮土处于中等水平且为强变异、其它处于较低水平为中等变异。由高到低为: 潮土、黄棕壤、黄壤、棕壤、石灰土、紫色土, 土壤有效硼与土类应有一定相关性。

潮土  $0.512 \pm 0.565$  mg/kg ( $n = 12$ ), 变幅 0.138~2.208 mg/kg, 极差最大, 1 个点位含量高、较高含量无分布、中等含量占 1/4、较低含量占一半、低含量约为 1/5; 黄棕壤  $0.361 \pm 0.198$  mg/kg ( $n = 144$ ), 变幅 0.057~1.349 mg/kg, 极差居第二, 高含量无分布、2 个点位含量较高、中等含量近 1/5、较低含量达 60%、低含量约 1/5; 黄壤  $0.310 \pm 0.183$  mg/kg ( $n = 16$ ), 变幅 0.125~0.749 mg/kg, 高、较高含量无分布, 中等含量近 1/5, 较低含量超过 1/3, 低含量达 40% 以上; 棕壤  $0.302 \pm 0.131$  mg/kg ( $n = 14$ ), 变幅 0.113~0.595 mg/kg, 极差相对较小, 高、较高含量无分布, 中等含量仅 1 个点位, 较低含量达 60% 以上, 低含量占近 30%; 石灰土  $0.296 \pm 0.111$  mg/kg ( $n = 19$ ), 变幅 0.085~0.491 mg/kg, 极差最小, 高、较高、中等含量无分布, 较低含量占近 80%, 低含量超过 1/5; 紫色土  $0.281 \pm 0.149$  mg/kg ( $n = 38$ ), 变幅 0.090~0.757 mg/kg, 高、较高含量无分布, 中等含量仅 2 个点位, 较低含量占近 60%, 低含量超过 1/3 (表 8)。

**Table 7.** Statistical analysis of effective boron content in different soil types and utilization types  
**表 7.** 不同土类及利用类型有效硼含量统计分析表

乡镇	样品数	均值 mg/kg	极大值	极小值	极差	标准差	RSD%
水稻土	95	0.347	1.322	0.091	1.231	0.221	63.57
潮土	12	0.512	2.208	0.138	2.070	0.565	110.31
黄棕壤	144	0.361	1.349	0.057	1.292	0.198	54.78
黄壤	16	0.310	0.749	0.125	0.624	0.183	59.08
棕壤	14	0.302	0.595	0.113	0.482	0.131	43.30
石灰土	19	0.296	0.491	0.085	0.406	0.111	37.50
紫色土	38	0.281	0.757	0.090	0.667	0.149	53.27
旱地	243	0.344	2.208	0.057	2.151	0.218	63.35

**Table 8.** Frequency statistics of effective boron content classification for different soil types and utilization types  
**表 8.** 不同土类及利用类型有效硼含量分级频率统计表

乡镇	样品数		高		较高		中		较低		低	
	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
水稻土	95	28.11	0	0.00	2	2.11	18	18.95	47	49.47	28	29.47
潮土	12	3.55	1	8.33	0	0.00	3	25.00	6	50.00	2	16.67
黄棕壤	144	42.60	0	0.00	2	1.39	26	18.06	91	63.19	25	17.36
黄壤	16	4.73	0	0.00	0	0.00	3	18.75	6	37.50	7	43.75
棕壤	14	4.14	0	0.00	0	0.00	1	7.14	9	64.29	4	28.57
石灰土	19	5.62	0	0.00	0	0.00	0	0.00	15	78.95	4	21.05
紫色土	38	11.24	0	0.00	0	0.00	2	5.26	22	57.89	14	36.84
旱地	243	71.89	1	0.41	2	0.82	35	14.40	149	61.32	56	23.05

### 3.4. 利川耕地有效硼不同成土母岩母质分布特征

不同成土母岩母质发育的耕地有效硼点位均值(表 9) 0.299~0.454 mg/kg, 都处于较低水平, 有一定差异。由高到低为: 河流冲积物、第四纪黏土、碳酸盐岩、泥质砂页岩、紫色页岩、石英砂岩; 河流冲积物和碳酸盐岩的极差较大, 其它母岩母质相当; 河流冲积物为强变异、其它为中等变异; 土壤有效硼含量与成土母岩母质应有一定相关性。

河流冲积物  $0.454 \pm 0.467$  mg/kg ( $n = 21$ ), 变幅 0.110~2.208 mg/kg, 高、较高水平各 1 个点位, 中等水平近 1/5, 较低水平近一半, 低水平近 1/4; 第四纪黏土  $0.370 \pm 0.225$  mg/kg ( $n = 36$ ), 变幅 0.119~0.963 mg/kg, 高、较高水平无分布, 中等水平超过 1/5, 一半为较低水平, 低水平超过 1/4; 碳酸盐岩  $0.366 \pm 0.201$  mg/kg ( $n = 130$ ), 变幅 0.085~1.349 mg/kg, 高含量无分布, 3 个点位含量较高, 中等含量超过 15%, 60% 以上含量较低, 15% 以上含量低; 泥质砂页岩  $0.310 \pm 0.162$  mg/kg ( $n = 56$ ), 变幅 0.057~0.813 mg/kg, 高、较高水平无分布, 中等水平占 15% 以上, 较低水平近 60%, 低水平近 30%; 紫色页岩  $0.306 \pm 0.170$  mg/kg ( $n = 71$ ), 变幅 0.090~0.807 mg/kg, 高、较高水平无分布, 中等水平占 10% 以上, 较低水平近 60%, 低水平达 30% 以上; 石英砂岩  $0.299 \pm 0.176$  mg/kg ( $n = 24$ ), 变幅 0.143~0.877 mg/kg, 高、较高水平无分布, 中等水平占 10% 以上, 较低水平占一半, 低水平近 40% (表 10)。

**Table 9.** Statistical analysis of effective boron content in mother materials of different soils  
**表 9.** 不同成土母岩母质有效硼含量统计分析表

乡镇	样品数	均值 mg/kg	极大值	极小值	极差	标准差	RSD%
河流冲积物	21	0.454	2.208	0.110	2.098	0.467	102.70
第四纪黏土	36	0.370	0.963	0.119	0.844	0.225	61.00
碳酸盐岩	130	0.366	1.349	0.085	1.264	0.201	54.93
泥质砂页岩	56	0.310	0.813	0.057	0.756	0.162	58.81
紫色页岩	71	0.306	0.807	0.090	0.717	0.170	55.51
石英砂岩	24	0.299	0.877	0.143	0.734	0.176	58.81



**Table 10.** Frequency statistics of effective boron content classification for different parent materials of soil bearing rocks  
**表 10.** 不同成土母岩母质有效硼含量分级频率统计表

乡镇	样品数		高		较高		中		较低		低	
	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
河流冲积物	21	6.21	1	4.76	1	4.76	4	19.05	10	47.62	5	23.81
第四纪黏土	36	10.65	0	0.00	0	0.00	8	22.22	18	50.00	10	27.78
碳酸盐岩	130	38.46	0	0.00	3	2.31	21	16.15	85	65.38	21	16.15
泥质砂页岩	56	16.57	0	0.00	0	0.00	9	16.07	32	57.14	15	26.79
紫色页岩	71	21.01	0	0.00	0	0.00	8	11.27	40	56.34	23	32.39
石英砂岩	24	7.10	0	0.00	0	0.00	3	12.50	12	50.00	9	37.50

### 3.5. 利川耕地有效硼与土壤有机质、pH 及海拔高度的相关性分析

运用 Excel 数据分析中的相关系数分析求得耕地有效硼与海拔高度、土壤有机质、pH 的相关系数( $r$ ), 公式  $z = r\sqrt{N-1}$  计算统计量  $z$  值( $n > 30$ ), 再运用给定概率正态分布的区间点函数 NORMINV (分布概率为 0.05/2、0.01/2, 算术平均值为 0, 标准差为 1)求  $z$  的 95%、99% 临界值, 结果表明利川耕地有效硼与土壤有机质及 pH 呈极显著正相关, 与海拔高度不相关(表 11)。

**Table 11.** Correlation analysis of available boron in cultivated land and its correlation with pH, organic matter, etc.

**表 11.** 耕地有效硼相关性及其与 pH、有机质等的相关分析表

相关分析项目	有效硼 mg/kg		样点海拔 m		有机质 g/kg	
	$r$	$z$	$r$	$z$	$r$	$z$
样点海拔 m	0.033887	0.622089				
有机质 g/kg	0.177174	3.252485**	0.071649	1.315294		
土壤 pH	0.157087	2.883738**	-0.00476	-0.08737	0.076804	1.409929

注: 用 NORMINV 计算  $z_{0.05}$ 、 $z_{0.01}$  分别为 1.96、2.58。“\*\*”表示相关性极显著。

## 4. 讨论

### 4.1. 硼的主要生理功能及作物缺乏的主要症状表现

硼是植物必需的微量元素, 植物体内含量一般为干物质的百万分之一至万分之三, 不同器官中含量各不相同, 以叶子最高, 茎、根、果实、种子等低于叶; 花的含量也很高, 且以子房和柱头的含量最高[10]。但硼不是作物体内的结构成分, 还没发现作物体内含硼的有机化合物, 但它对作物的某些生理过程有着特殊的影响。主要表现为[10]: 一是对作物体内碳水化合物的运转起重要作用, 缺硼使蔗糖的运输速度下降; 二是对作物生殖器官的建成不可缺少; 三是对作物的光合作用也有影响, 叶绿体中硼的相对浓度较高; 四是硼能提高作物的抗性, 干旱条件下作物特别需要硼。不同种类植物对硼的需求量差异较大, 双子叶植物显著高于单子叶植物, 根据其对于硼敏感程度不同可分为三类[11]: 一是高敏感植物, 对硼需求量大, 主要有苜蓿、甜菜、红三叶草、萝卜、甘蓝、花椰菜、向日葵、油菜、苹果等; 中敏感植物, 对硼需求量中等, 主要有棉花、烟草、番茄、甘薯、花生、胡萝卜、莴苣、桃、梨、大豆、豌豆等; 不敏

感植物,对硼需求量低,主要有水稻、大麦、小麦、燕麦、荞麦、玉米、马铃薯、亚麻、柑橘等。

作物缺硼时,首先是根尖和茎的生长点分生组织细胞受害,花药和花丝对硼特别敏感、容易退化。这是由于组织中含有多量酚类化合物所致,硼的正常存在则能抑制酚类化合物的合成,使作物分生组织正常生长[10]。其共同特征是根系不发达,生长点死亡,花发育不健全。根伸长受阻或停止,根系呈短相丝枝状,顶芽和幼叶明显褪色并死亡,节间缩短,植株呈丝状或莲座状,种子或果实减产甚至绝收[11]-[15]。油菜“花而不实”、棉花“蕾而不花”、小麦“穗而不稔”、花生“有壳无仁”、芹菜“裂茎病”等都是缺硼引起的生理病害。

#### 4.2. 各地土壤有效硼含量差异明显且总体呈下降趋势

西藏耕地有效硼含量较高[16],拉萨市均值 1.07 mg/kg、墨竹工卡县 0.89 mg/kg;湖南烟区则低[8],湘西 0.20 mg/kg、湘南 0.15 mg/kg;广西耕地较低[17],均值 0.33 mg/kg,临界值以下达 80%以上;福建耕地[18]较低,均值 0.28 mg/kg、近 90%低于临界值,其中泉州市[19] 0.33 mg/kg、临界值以下近 80%,连江县[20]均值 0.4 mg/kg、临界值以下达 70%以上。2005 年赵书军等[1]、2007 年毕庆文等[2]、2011 年袁家富等[3]报道,鄂西南的恩施州(含利川)植烟区有效硼均值分别为 0.340 mg/kg、0.302 mg/kg、0.295 mg/kg,呈较明显的下降之势,临界值以下的占比也由 81.1%增加到 87.5%。

#### 4.3. 影响土壤有效硼含量的因素较多但影响结果不尽相同

土壤有效硼不仅与成土母岩母质有关,也直接受土壤酸碱度、耕作制度、栽培管理、气候及生态条件的影响[14] [15] [18] [19]。各地报道结论不尽一致,如黎娟等[15]、张春等[21]报道土壤有效硼有随海拔升高而升高的趋势,而利川耕地有效硼与海拔高度变化不相关;黎娟等[15]报道湘西黄棕壤有效硼含量最高、秦建成[22]报道重庆石灰土有效硼含量最高、金立新等[23]报道黄壤有效硼含量最高,利川耕地则是潮土的有效硼含量最高;一般土壤的有效硼随 pH 增大而减少,有效硼在酸性土壤中含量比碱性土壤高,但黎娟等[15]、金立新等[23]的报道植烟土壤有效硼与 pH 呈极显著正相关,利川耕地有效硼与土壤 pH 呈极显著正相关,与王明秀等[24]的研究结果也高度一致。

### 5. 结论

1) 利川耕地有效硼含量整体较低,空间分布差异较明显。全市均值 0.345 mg/kg,利川耕地有效硼整体缺乏,80%以上低于临界值,应全面加强硼肥的推广应用。行政区域分布不均,各乡镇有效硼均值在 0.238~0.539 mg/kg 之间,元堡 > 汪营 > 文斗 > 东城 > 团堡 > 忠路 > 凉雾 > 沙溪 > 南坪 > 柏杨坝 > 谋道 > 建南 > 毛坝,仅元堡为中等水平,是毛坝的 2 倍多,其它乡镇都较低;城区正南的毛坝、正北部的柏杨坝及齐跃山脉以西的建南、谋道相对更低,建南、毛坝的所有点位均低于临界值,南坪、柏杨坝、谋道 90%的点位处于临界值以下。

2) 利川耕地有效硼含量受海拔高度影响较小。不同海拔区域均值在 0.338~0.363 mg/kg 之间,都处于较低水平,高山 > 低山 > 二高山;极大值都出现在低山,极小值出现在二高山。不同海拔区域各级频率分布差异不大,土壤有效硼含量受海拔高度影响不大,这与相关性分析结论一致。

3) 水旱不同利用类型有效硼差异较小。水田均值 0.347 mg/kg,略高于旱地(0.344 mg/kg),都处于较低水平,临界值以下频率分布旱地略高于水田,水旱不同利用方式对耕地有效硼含量影响不大。

4) 不同土类的耕地有效硼含量差异较明显。均值在 0.281~0.512 mg/kg 之间,潮土(0.512 mg/kg) > 黄棕壤(0.361 mg/kg) > 黄壤(0.310 mg/kg) > 棕壤(0.302 mg/kg) > 石灰土(0.296 mg/kg) > 紫色土(0.281 mg/kg),潮土含量中等、接近紫色土的 2 倍,其它土类含量较低,土壤有效硼与不同土类应有一定相关性。

5) 不同成土母岩母质发育的耕地有效硼含量有一定差异。均值在 0.299~0.454 mg/kg 之间, 都处于较低水平, 河流冲积物(0.454 mg/kg) > 第四纪黏土(0.370 mg/kg) > 碳酸盐岩(0.366 mg/kg) > 泥质砂页岩(0.310 mg/kg) > 紫色页岩(0.306 mg/kg) > 石英砂岩(0.299 mg/kg), 土壤有效硼含量与成土母岩母质应有一定相关性。

6) 土壤酸碱性及有机质含量是影响耕地有效硼的主要因素。相关性分析表明, 利川耕地有效硼与土壤有机质及 pH 呈极显著正相关。增施有机肥培肥地力, 治理酸化调节土壤酸碱性是提高利川耕地有效硼的得力措施。

总体看, 利川耕地土壤有效硼含量普遍偏低, 主要受成土母岩母质影响, 平面空间分布不均, 受海拔高度和水旱不同利用类型影响较小。因此, 应加强硼砂、硼酸、活力硼等硼肥, 以及硼镁肥、硼钙肥等含硼中微量元素肥料的推广应用力度, 为缺硼土壤补充和平衡硼营养, 特别是在油菜、甘蓝、萝卜、烟草、果树等高、中敏感作物上更应适量增施硼肥, 提高其产品和品质。

## 参考文献

- [1] 赵书军, 梅东海, 陈国华, 等. 鄂西南植烟土壤微量元素分布及演变特点[J]. 土壤, 2005, 37(6): 674-678.
- [2] 毕庆文, 王海明, 陈国华, 等. 鄂西南植烟土壤养分状况分析[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(6): 22-26.
- [3] 袁家富, 徐祥玉, 赵书军, 等. 恩施烟区土壤养分状况调查[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(S1): 93-98.
- [4] 黎根, 吴风光, 汪健, 等. 植烟土壤有效态微量元素分析评价及对策[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(S1): 87-92.
- [5] 田瑞, 胡红菊, 陈启亮, 等. 湖北省砂梨 5 个主产县梨园土壤养分状况调查与分析[J]. 长江大学学报(自科版), 2013, 10(29): 7-10, 4-5.
- [6] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [7] 刘武定. 微量元素营养与微肥施用[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 1-2.
- [8] 罗建新, 石丽红, 龙世平. 湖南主产烟区土壤养分状况与评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 31(4): 376-380.
- [9] 雷志栋, 杨诗秀, 许志荣, G.瓦肖尔. 土壤特性空间变异性初步研究[J]. 水利学报, 1985(9): 10-21.
- [10] 彭克明, 裴保义. 农业化学(总论) [M]. 北京: 中国农业出版社, 1979: 152-153.
- [11] 宋志声. 论硼肥在植物生长中的作用及施用[J]. 辽宁化工, 2012, 41(11): 1169-1171.
- [12] 邵建华, 王洪涛, 刘金友, 等. 硼肥的应用现状及发展前景[J]. 化肥工业, 2013, 40(3): 13-15.
- [13] 尚平染. 硼肥的作用及施用方法[J]. 现代农村科技, 2019(5): 44.
- [14] 宋时奎, 李文华, 严红, 等. 土壤性质与硼有效性的关系[J]. 东北农业大学, 2004, 35(1): 113-118.
- [15] 黎娟, 邓小华, 王建波, 等. 喀斯特地区植烟土壤有效硼含量分布及其影响因素[J]. 土壤, 2013, 45(6): 1055-1061.
- [16] 陈初红, 邹忠, 张炳宁. 墨竹工卡县耕地土壤有效硼含量状况分析[J]. 现代农业科技, 2011(13): 267-268.
- [17] 郑丹, 李少泉, 梁运献. 广西区耕地土壤有效硼含量现状分析与生产对策[J]. 广西农学报, 2015, 30(4): 33-37.
- [18] 张世昌, 张加明, 冯发华, 等. 福建耕地土壤有效硼空间分布及影响因素[J]. 中国农技推广, 2021, 37(5): 47-50.
- [19] 陈燕华. 泉州市耕地土壤有效硼含量丰缺状况评价与影响因素分析[J]. 福建农业科技, 2023, 54(4): 69-74.
- [20] 陈娟. 连江县耕地土壤有效硼含量现状与施肥建议[J]. 福建农业科技, 2014(5): 5-7.
- [21] 张春, 周冀衡, 杨荣生, 等. 云南曲靖不同海拔烟区土壤和烟叶硼含量的分布状况及相关性[J]. 中国烟草学报, 2010, 16(6): 48-53.
- [22] 秦建成. 重庆市植烟区土壤硼素含量特征研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(28): 13747-13749.
- [23] 金立新, 唐金荣, 刘爱华, 等. 成都地区土壤硼元素含量及其养分管理建议[J]. 第四纪研究, 2005, 25(3): 363-369.
- [24] 王明秀, 桂召贵. 繁昌县耕地有效硼、锌含量及其施肥[J]. 安徽农学通报, 1996(4): 54-55.