

## 土壤有效硼不同测定方法比对

林 诚<sup>1, 2</sup>, 许雪贤<sup>1</sup>, 吴晓蕾<sup>1</sup>, 吴一群<sup>1, 2</sup>, 蔡顺香<sup>1, 2</sup>, 颜明娟<sup>\*1, 2</sup>

(1. 福建省农业科学院资源环境与土壤肥料研究所, 福建 福州 350013;

2. 福建省植物营养与肥料重点实验室, 福建 福州 350013)

**摘 要:**对甲亚胺比色法、姜黄素比色法、ICP-OES法及ICP-MS法的四种不同土壤有效硼测定方法进行比较,四种方法标准曲线线性及重现性良好,方法检出限分别为0.15 mg/kg、0.14 mg/kg、0.02 mg/kg、0.02 mg/kg。通过四种方法分别测定3种不同浓度标准土壤有效硼含量,其相对标准偏差均低于10%,标准样品测定结果的均值均在标准值范围内,且实际样品测试结果无显著差异,但ICP-OES及ICP-MS法相比比色法有更好的精密度及准确度,且具有灵敏度高、线性范围广、适合批量测定的优点。

**关键词:**有效硼;甲亚胺;姜黄素;电感耦合等离子体光谱法;电感耦合等离子体质谱法

**中图分类号:**0657 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-8143(2026)01-0031-05

**Doi:**10.3969/j.issn.1009-8143.2026.01.06

### Comparison of Different Determination Methods for Soil Available Boron

Lin Cheng<sup>1, 2</sup>, Xu Xue-xian<sup>1</sup>, Wu Xiao-lei<sup>1</sup>, Wu Yi-qun<sup>1, 2</sup>, Cai Shun-xiang<sup>1, 2</sup>, Yan Ming-juan<sup>\*1, 2</sup>

(1. Institute of Resources, Environment and Soil Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China; 2. Fujian Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer, Fuzhou, Fujian 350013, China)

**Abstract:**A comparison was conducted among four different methods for determining soil-available boron: the methylamine imine colorimetric method, the curcumin colorimetric method, ICP-OES, and ICP-MS. All four methods exhibited good linearity and reproducibility in their standard curves, with detection limits of 0.15 mg/kg, 0.14 mg/kg, 0.02 mg/kg and 0.02 mg/kg, respectively. Standard soil-available boron solutions of three different concentrations were measured using these four methods, resulting in relative standard deviations all below 10%. The mean values of standard sample measurements fell within the acceptable range, and no significant differences were observed among the test results of actual samples. However, ICP-OES and ICP-MS demonstrated superior precision and accuracy compared to the colorimetric methods, along with advantages such as high sensitivity, a wide linear range, and suitability for batch analysis.

**Key words:** available boron; Azomethine; Curcumin; ICP-OES; ICP-MS

## 引言

硼是植物生长必需的微量元素之一,土壤有效硼通常是以水溶性硼表示,是作物可以直接吸收利用的硼。耿国涛等<sup>[1]</sup>研究表明,当土壤有效硼含量低于0.5 mg/kg时,会抑制作物根尖生长,进而影响

作物的产量和品质;土壤有效硼含量浓度在0.5~1.0 mg/kg时为适宜浓度,能够促进作物发育生产<sup>[2-3]</sup>;当土壤中有有效硼的含量超过1.0 mg/kg时为丰富水平,但植物有发生中毒的可能性<sup>[4]</sup>。因此,准确测定土壤有效硼的含量,对指导农业生产有着重要意义。

收稿日期:2025-10-20

基金项目:福建省科技厅公益类科研院所基本科研专项(2023R1023001)

第一作者简介:林诚(1981—),男,副研究员,主要从事土壤养分循环研究工作。Email:694712367@qq.com

通讯作者简介:颜明娟(1969—),女,副研究员,主要从事土壤养分管理及运移研究工作。Email:yanmj163@163.com

目前,土壤有效硼含量测定方法主要是采用甲亚胺法<sup>[5]</sup>、姜黄素比色法<sup>[5-6]</sup>、电感耦合等离子体发射光谱法<sup>[7-8]</sup>及电感耦合等离子体质谱法<sup>[9-10]</sup>。其中,姜黄素比色法较为繁琐,对操作和环境条件要求较高,分析效率低;而甲亚胺比色法操作相对简便,但灵敏度欠佳,同时显色温度及颜色稳定时间等都会对测定结果的准确性造成影响<sup>[11]</sup>。相比于比色法,电感耦合等离子体发射光谱法和电感耦合等离子体质谱法在有效硼浸提完成后滤液可直接上机测试<sup>[12]</sup>,方便批量样品测试,但仪器较为昂贵,成本较高。本文通过四种土壤有效硼不同测定方法进行方法比对分析,为快速准确测定土壤有效硼提供参考。

## 1 实验部分

### 1.1 主要仪器与试剂

紫外分光光度计:UV-1900i型,岛津仪器有限公司。

电感耦合等离子体发射光谱仪:iCAP PRO型,Thermo。

电感耦合等离子体质谱仪:iCAP RQ型,Thermo。

甲亚胺-H水合物:上海麦克林生化科技股份有限公司

姜黄素:≥98%,上海麦克林生化科技股份有限公司

硼标准溶液:GBW(E)080217,100 μg/mL,相对扩展不确定度1%( $k=2$ ),中国计量科学研究院。

有效硼土壤标准物质:GBW(E)070357(0.34±0.06 mg/kg),GBW(E)070358(0.93±0.14 mg/kg),GBW(E)070352(2.2±0.4 mg/kg), $k=2$ ,置信概率95%,江西地质局实验测试大队。

实际样品1、2、3分别来自建瓯市东峰镇、漳州市长泰县、南平市延平区。

### 1.2 实验方法

待测液制备:称取10 g过2 mm筛的风干土样(精确至0.01 g)置于250 mL石英三角瓶中,加入20 mL超纯水文火保持微沸5分钟,移开热源继续回流5分钟后取下三角瓶冷却过滤(可加2滴MgSO<sub>4</sub>),同步进行空白试验。

甲亚胺-H比色法<sup>[4]</sup>:移取4.00 mL制备液于10 mL显色管中,加入0.5 mL 0.2 mol/L酸性高锰酸

钾溶液摇匀静置2~3分钟后,加入0.5 mL 100 g/L抗坏血酸溶液,待溶液中沉淀完全溶解后,加5.00 mL混合显色剂摇匀放置1 h后,于波长415 nm处,2 cm比色皿中比色。

姜黄素比色法<sup>[4]</sup>:移取1.00 mL滤液于瓷质蒸发皿内,加入4.00 mL姜黄素-草酸溶液置于55°C±3°C的恒温水浴蒸发至干。待溶液呈现玫瑰红色时继续蒸发15 min后取出。冷却后加入20 mL 95%乙醇,搅动至残渣完全溶解并过滤到具塞容器内(此溶液放置时间不要超过3 h),以95%乙醇溶液作为空白调零,于波长550 nm处,1 cm比色皿中比色。

ICP-OES法<sup>[7]</sup>:待测制备液直接上机测试,以有效硼的质量浓度为横坐标,测定信号值为纵坐标,绘制标准曲线。其中RF功率为1 150 W;辅助气流量为0.5 L/min;雾化气流量为0.7 L/min;硼测定谱线:249.773 nm。

ICP-MS法<sup>[10]</sup>:待测制备液直接上机测试,以有效硼的质量浓度为横坐标,测定信号值为纵坐标,绘制标准曲线。其中功率为1 350 W;等离子体气流量1.2 L/min;载气流速0.75 L/min;辅助气流量0.4 L/min;元素分析模式为KED模式;选择的同位素为<sup>11</sup>B;加入内标为<sup>6</sup>Li。

## 2 结果与讨论

### 2.1 有效硼不同测定方法标准曲线建立

对有效硼不同测定方法系列校准曲线进行测定,结果见表1。其中甲亚胺比色法、姜黄素比色法相关系数 $R$ 分别为0.999 8、0.997 6,线性范围为0~1.0 mg/L;ICP-OES、ICP-MS相关系数 $R$ 均为0.999 9,线性范围为0~2.0 mg/L。从比色法来说,甲亚胺线性结果更优于姜黄素,而ICP-OES、ICP-MS法相对比色法来说,线性相关性以及线性范围均更优。

表1 不同检测方法标准曲线

方法	浓度点(mg/L)							相关系数 $R$
	1	2	3	4	5	6	7	
甲亚胺比色法	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.999 8
姜黄素比色法	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.997 6
ICP-OES法	0	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	0.999 9
ICP-MS法	0	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	0.999 9

## 2.2 有效硼不同测定方法检出限对比分析

按照样品分析的全部步骤,进行10次独立样品空白试验(样品空白试验用石英砂代替土壤样品),计算10次平行测定的标准偏差 $S$ ,按照GB/T 27417-2017《合格评定 化学分析方法确认和验证指南》中给出的方法,确定方法检出限及定量限,即:方法检出限=空白平均值+3 $S$ ,方法定量限=空白平均值+10 $S$ ,结果见表2。其中甲亚胺、姜黄素比色法的空白值分别为0.089 mg/kg、0.074 mg/kg,方法检出限分别为0.15 mg/kg、0.14 mg/kg;ICP-OES、ICP-MS有

效硼测定空白值分别为0.006 mg/kg、0.013 mg/kg,方法检出限均为0.02 mg/kg。不同比色方法检出限差异不大,而ICP-OES、ICP-MS相对比色法来说,检出限及定量限明显优于比色法。

## 2.3 有效硼不同测定方法精密度和准确度对比分析

为了确定土壤有效硼不同测定方法在本实验室的精密度和准确度,选取了3种不同土壤有效硼含量的标准物质(含量分别为低、中、高),对四种测定方法精密度和准确度进行分析。每种土壤平行测定7次,计算其相对标准偏差和相对误差,结果见

表2 有效硼不同检测方法检出限

样品编号	甲亚胺比色法	姜黄素比色法	ICP-OES法	ICP-MS法
1	0.08	0.08	0.008	0.016
2	0.12	0.05	0.008	0.014
3	0.07	0.05	0.010	0.018
4	0.08	0.09	0.008	0.014
5	0.06	0.05	0.006	0.012
6	0.11	0.06	0.008	0.016
7	0.10	0.11	0.004	0.012
8	0.10	0.08	0.002	0.012
9	0.09	0.08	0.002	0.010
10	0.08	0.09	0.004	0.008
平均值(mg/kg)	0.089	0.074	0.006	0.013
标准偏差(mg/kg)	0.019	0.021	0.003	0.003
方法检出限(mg/kg)	0.15	0.14	0.02	0.02
方法定量限(mg/kg)	0.28	0.28	0.04	0.04

表3 低含量有效硼测定结果

测定方法	GBW(E)070357测定结果			
	甲亚胺比色法	姜黄素比色法	ICP-OES法	ICP-MS法
1	0.32	0.33	0.34	0.31
2	0.3	0.34	0.32	0.34
3	0.28	0.31	0.31	0.33
4	0.31	0.29	0.33	0.31
5	0.33	0.32	0.33	0.32
6	0.31	0.31	0.36	0.31
7	0.29	0.28	0.34	0.32
平均值(mg/kg)	0.31	0.31	0.33	0.32
标准偏差 $S$ (mg/kg)	0.02	0.02	0.02	0.01
相对标准偏差RSD(%)	5.6	6.8	4.8	3.6
标准值(mg/kg)	0.34±0.06			
相对误差(%)	-10.3	-10.3	-2.0	-5.9

表4 中等含量有效硼测定结果

测定方法	GBW(E)070358测定结果			
	甲亚胺比色法	姜黄素比色法	ICP-OES法	ICP-MS法
1	0.86	0.85	0.92	1.02
2	0.81	0.78	1.05	1.01
3	0.96	0.76	0.93	1.04
4	1.03	0.78	0.99	0.97
5	0.90	0.76	1.03	1.00
6	1.07	0.91	0.95	1.01
7	0.96	0.82	0.97	0.96
平均值(mg/kg)	0.94	0.81	0.98	1.00
标准偏差 S(mg/kg)	0.09	0.06	0.05	0.03
相对标准偏差 RSD(%)	9.8	6.9	5.0	2.8
标准值(mg/kg)	0.93±0.14			
相对误差(%)	1.3	-13.1	5.0	7.7

表5 高含量有效硼测定结果

测定方法	GBW(E)070352测定结果			
	甲亚胺比色法	姜黄素比色法	ICP-OES法	ICP-MS法
1	2.39	2.01	2.32	2.33
2	2.23	1.91	2.42	2.43
3	2.27	2.33	2.34	2.37
4	2.70	2.03	2.55	2.34
5	2.60	1.92	2.28	2.44
6	2.54	1.78	2.20	2.48
7	2.41	2.03	2.25	2.46
平均值(mg/kg)	2.45	2.00	2.34	2.41
标准偏差 S(mg/kg)	0.17	0.17	0.12	0.06
相对标准偏差 RSD(%)	7.1	8.5	5.0	2.5
标准值(mg/kg)	2.2±0.4			
相对误差(%)	11.3	-9.0	6.5	9.4

表3至表5。从表3至表5结果可以看出,甲亚胺比色法、姜黄素比色法、ICP-OES法、ICP-MS法四种方法相对标准偏差范围分别为5.6%~9.8%、6.8%~8.5%、4.8%~5.0%、2.5%~3.6%,均符合GB/T 27417-2017精密度要求。四种方法之间比较来看,ICP-OES及ICP-MS测定有效硼相比比色法有更好的精密度,其中以ICP-MS法的精密度最高。从准确度来看,甲亚胺比色法、姜黄素比色法、ICP-OES法、ICP-MS法四种方法测定相对误差分别为-10.3%~

11.3%、-13.1%~-9.0%、-2.0%~6.5%、-5.9%~9.4%。用四种方法测定的低、中、高浓度的土壤标准物质均值均在标准物质不确定度范围内,但ICP-OES及ICP-MS法相对误差相对较小,姜黄素比色法相对误差最大。

#### 2.4 有效硼不同测定方法在实际样品中的分析

为了进一步验证不同测定方法的适用性,选用3种不同实际样品进行有效硼含量分析。测定结果如表6所示。甲亚胺比色法、姜黄素比色法、ICP-

表6 不同实际样品有效硼含量测定

单位:mg/kg

测定方法	甲亚胺比色法	姜黄素比色法	ICP-OES法	ICP-MS法	
样品1	1	0.22	0.22	0.24	0.25
	2	0.20	0.23	0.21	0.24
	3	0.24	0.19	0.24	0.23
	平均值	0.22±0.02	0.21±0.02	0.23±0.02	0.24±0.01
样品2	1	0.75	0.74	0.77	0.82
	2	0.72	0.84	0.69	0.78
	3	0.82	0.81	0.76	0.73
	平均值	0.76±0.05	0.80±0.05	0.74±0.04	0.78±0.04
样品3	1	1.63	1.55	1.66	1.60
	2	1.69	1.61	1.68	1.67
	3	1.79	1.71	1.72	1.66
	平均值	1.70±0.08	1.62±0.08	1.69±0.03	1.64±0.04

OES法、ICP-MS法四种方法相对偏差分别为4.7%~9.1%、4.9%~9.5%、1.8%~8.7%、2.4%~5.1%，且测定结果无显著差异，但ICP-OES法及ICP-MS法相对标准偏差更小，稳定性相对较好。

### 3 结论

通过对四种土壤有效硼测定方法进行对比，甲亚胺比色法、姜黄素比色法、ICP-OES法及ICP-MS法标准曲线线性及重现性良好，方法检出限分别为0.15 mg/kg、0.14 mg/kg、0.02 mg/kg、0.02 mg/kg，精密度良好，标准样品测定结果均值均在标准值范围内，且实际样品测试四种方法结果无显著差异，但ICP-OES及ICP-MS法相比比色法有更好的精密度及准确度，且具有灵敏度高、线性范围广、适合批量测定的优点，实验室具备该仪器条件下，可优先采用ICP-OES或ICP-MS法进行土壤有效硼的测定。

### 参考文献

- [1] 耿国涛,陆志峰,张洋洋,等. 硼肥用量对双低油菜籽产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(5): 924-934.
- [2] 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(05): 47-50.
- [3] 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
- [4] 杨金兰,刘兵华. 甲亚胺-H比色法和姜黄素比色法测定土壤中有有效硼的对比研究[J]. 广东化工, 2022, 49(23): 241-243.
- [5] 中华人民共和国农业部. 土壤检测 第8部分:土壤有效硼的测定:NY/T 1121. 8-2006[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [6] 中华人民共和国农牧渔业部. 土壤有效硼的测定方法:GB 12298-1990[S]. 北京:中国标准出版社, 1990.
- [7] 占国艳,潘政,梁红芳,等. 土壤中有有效硼含量测定方法优化与对比[J]. 中国无机分析化学, 2023, 13(8): 831-838.
- [8] 郭家泽,姚瑞,程江,等. 热水浴浸提-电感耦合等离子体发射光谱法测定土壤中有有效硼[J]. 岩矿测试, 2022, 41(04): 614-620.
- [9] 唐碧玉,唐荣盛,阳兆鸿,等. 超声加热浸提-电感耦合等离子体质谱法测定土壤中的有效硼[J]. 矿产与地质, 2019, 33(05): 910-914.
- [10] 于聪灵,刘安,王立平,等. 沸水振荡浸提-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定土壤中有有效硼[J]. 中国无机分析化学, 2024, 14(09): 1306-1312.
- [11] 梁雅丽,江辉. 采用甲亚胺试剂分光光度法进行土壤有效硼测定的影响因素分析[J]. 山西科技, 2018, 33(2): 25-28.
- [12] 李林凌,席乐,龚力. 水浴浸提-电感耦合等离子体质谱法测定土壤有效硼[J]. 中国测试, 2025, 51(S1): 116-120.