

硼肥施用对茶叶产量、品质及效益的影响

王天一¹, 黄兴成^{1, 2*}, 刘心强³, 赵曙光³, 王钰茹¹,
张 彤¹, 陈新平¹, 石孝均¹, 张福锁^{1, 4}

(1. 西南大学资源环境学院 / 长江经济带农业绿色发展研究中心, 重庆 400715;
2. 贵州省农业科学院土壤肥料研究所, 贵州 贵阳 550006; 3. 四川美丰化工股份有限公司,
四川 德阳 618000; 4. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要: 集约化茶叶生产下茶园土壤硼素营养普遍缺乏, 严重影响了茶叶的产量和品质。研究硼肥施用对茶叶增效提质的效果, 对于推动茶产业高质量发展具有重要意义。通过田间试验方法, 分析硼肥不同施肥方式和施用量对茶叶产量、品质、经济效益和土壤肥力的影响。结果表明, 不同施硼处理下茶叶增产效果显著。施硼处理全年茶青产量提高了 7.79% ~ 18.06%, 干茶产量提高了 9.31% ~ 18.41%, 发芽密度增加了 3.56% ~ 18.32%。夏秋茶季土施低量处理 (B1) 茶叶氨基酸含量提升最高, 达 37.31%; 叶面喷施一次处理 (B3) 茶叶咖啡碱和茶多酚含量提升最高, 分别达 9.78% 和 11.45%; 叶面喷施两次处理 (B4) 对茶叶酚氨比值降幅最大, 达 24.16%。春茶季茶叶氨基酸含量以 B4 处理提升最高, 达 31.12%; 土施低量 + 叶面喷施一次处理 (B5) 茶叶茶多酚含量提升最高, 达 29.81%; 土施高量处理 (B2) 茶叶酚氨比值降低幅度最大, 达 15.18%。夏秋茶季 B5 处理茶叶全硼含量提升幅度最大, 为 47.01%; 春茶季 B2 处理茶叶全硼含量提升最高, 达 45.62%。B2 处理对土壤有效硼含量提升最高, 达 852.38%。B4 处理的收益、纯收益、利润率和投资回报率均为最高, 收益每公顷相较不施硼肥处理增加 29000 元, 纯收益每公顷增加 14182 元。研究结果为茶园科学合理施用硼肥提供了有益参考。

关键词: 硼肥; 茶叶; 产量; 品质

硼是植物必需的微量元素。硼参与氨基酸和蛋白质合成, 调节碳水化合物代谢, 参与糖类、淀粉等物质的运输, 硼还为花粉管生长所必需^[1]。硼素缺乏会影响茶树细胞壁形成和碳水化合物的合成, 导致叶和茎变得脆弱、根分生组织和光合作用的功能受到抑制、抗氧化酶活性下降^[2]。近年来, 由于集约化茶叶生产, 全国茶园硼素营养缺乏问题普遍发生, 特别是酸性红黄壤区的茶园土壤有效硼缺乏比较严重, 造成区域茶叶低产、低质、低效问题突出, 逐渐成为了限制茶园绿色高质量生产的重要因子^[3-5]。

针对茶园普遍存在硼营养缺乏的问题, 学者提

出了通过施用硼肥来补充土壤和茶树体内的硼元素, 以改善茶树缺硼的症状。已有大量文献总结了施用硼肥对不同作物产量、品质、土壤有效硼等的提升效果^[6-10]。研究结果显示, 通过硼肥施用, 能够提高土壤有效硼含量, 提高作物产量, 改善作物的品质, 提升农户的种植收益^[11-13]。然而, 一些学者指出, 土壤中的硼营养可能无法通过根系吸收短期内传导到茶树上部的芽头, 因此, 不仅要进行土壤施硼, 叶面喷施也是比较重要的, 同时不同施用量的效益也存在显著差异^[14-16]。土施需要较高的投入量, 成本相对较高; 而叶面肥施用量较少, 成本较低。但是, 叶面喷施受到气候条件的限制, 导致施用效果不佳^[17]。针对茶园科学合理的硼肥施用方式和施用量缺乏系统研究。本研究通过在贵州省遵义市湄潭县设计开展茶园施用硼肥试验, 明确不同硼肥施用方式和施用量对茶叶产量、品质、经济效益和茶园土壤肥力的影响, 以期茶叶科学合理的硼肥施用提供有益参考, 为地区茶产业增产提质增效提供技术支撑。

收稿日期: 2024-04-23; 录用日期: 2024-07-01

基金项目: 西南大学-四川美丰化工股份有限公司联合培养全日制专业学位研究生项目; 四川美丰化工股份有限公司绿色高效作物专用肥开发项目 (MFZBJJ-2021-FW-015)。

作者简介: 王天一 (1999-), 硕士研究生, 主要从事茶叶专用肥料研发与养分管理技术研究。E-mail: wangty@alu.cau.edu.cn。

通讯作者: 黄兴成, E-mail: huangxc90@163.com。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本研究区位于贵州省遵义市湄潭县湄江街道金花村 (27°46'N, 107°33'E), 属亚热带季风气候, 年平均气温为 14.9℃, 多年平均降水量为 1137 mm。试验地种植茶树品种为黔湄 601, 2005 年种植, 种植方式为双条栽, 行距为 1.70 m, 采用人工采摘茶园管理模式, 全年采摘独芽。试验茶园土壤类型为黄壤, 试验前 (2022 年 4 月) 表层土壤 (0~20 cm) 的基础理化性状为 pH 3.54, 有机质 67.93 g/kg, 全氮 3.20 g/kg, 有效磷 64.08 mg/kg, 速效钾 266.00 mg/kg, 有效硼 0.43 mg/kg。

1.2 试验设计

本试验采用田间小区试验, 于 2022 年 4 月至 2023 年 4 月进行。试验在氮、磷、钾肥用量 (N 426 kg/hm²、P₂O₅ 84 kg/hm²、K₂O 108 kg/hm²) 相同的基础上设 6 个处理, 分别为不施硼肥对照 (CK)、

土施硼肥低量 (B1, 纯硼量 5 kg/hm²)、土施硼肥高量 (B2, 纯硼量 10 kg/hm²)、叶面喷施硼肥一次 (B3, 纯硼量 0.25 kg/hm²)、叶面喷施硼肥两次 (B4, 纯硼量 0.5 kg/hm²) 和土施硼肥低量 + 叶面喷施硼肥一次 (B5, 纯硼量 5.25 kg/hm²)。小区面积 16 m², 每个处理 3 次重复, 随机区组排列。供试化肥选用四川美丰化工股份有限公司生产的美丰美茶叶专用肥 (N-P₂O₅-K₂O: 24-7-9) 和尿素 (N 46%), 硼肥选用天津市致远化学试剂有限公司生产的硼砂 (Na₂B₄O₇ · 10H₂O), 纯硼含量 11.34%。田间试验各小区除试验处理不同以外, 其他田间日常管理完全一致。夏肥 (茶叶专用肥、尿素和硼砂) 在 2022 年 4 月在茶行间地面撒施; 叶面喷施第 1 次于 2022 年 5 月 2 日进行, 第 2 次于 5 月 16 日进行, 使用背负式电动喷雾机人工喷施; 冬肥 (茶叶专用肥) 于 12 月在茶行间开沟条施后覆土。各个处理施肥用量见表 1。

表 1 各处理在不同时期的施肥用量 (kg/hm²)

处理	夏肥			第 1 次叶面肥	第 2 次叶面肥	冬肥
	茶叶专用肥	尿素	硼砂	硼砂	硼砂	茶叶专用肥
	(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O: 24-7-9)	(N 46%)	(B 11.34%)	(B 11.34%)	(B 11.34%)	(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O: 24-7-9)
CK	600	300	0	0	0	600
B1	600	300	44	0	0	600
B2	600	300	88	0	0	600
B3	600	300	0	2.2	0	600
B4	600	300	0	2.2	2.2	600
B5	600	300	44	2.2	0	600

1.3 分析测定方法

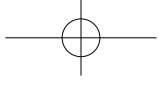
1.3.1 茶叶样品采集与测定

茶叶收获期进行取样, 夏秋季茶叶采摘从 2022 年 5 月 26 日持续到 9 月 21 日, 春茶茶叶采摘从 2023 年 3 月 21 日持续到 4 月 19 日。按照当地常规标准采摘独芽, 各个小区选取具有代表性的 3 个样方 (面积为 0.11 m²) 取样, 称量茶叶鲜重, 将所有采样次数的各小区芽头鲜重求和, 记为 A1; 记录各样方芽头数, 将所有采样次数的各小区芽头数量求和, 记为 B1。茶青经过微波杀青 2 min, 75℃烘干至恒重, 称量茶叶干重, 将所有采样次数的各小区芽头干重求和, 记为 A2。最后将烘干样品粉碎过 0.25 mm 筛备用。用甲亚胺比色法测定茶叶全硼含量^[18]。茶叶品质测定均采用国家标准

方法, 用 GB/T 8314—2013 测定茶叶游离氨基酸含量, 用 GB/T 8313—2018 测定茶多酚含量, 用 GB/T 8312—2013 测定咖啡碱含量。

1.3.2 土壤样品采集与测定

试验后茶园土壤测定土样的采集时间为 2023 年 4 月 26 日, 按“S”形五点取样法在各试验小区内采集表层 (0 ~ 20 cm) 土壤, 并按四分法保留 500 g 左右, 风干后备用。土壤有效硼采用沸水提取 - 甲亚胺比色法; 土壤 pH 采用水浸提 - 电位法 (土:水 =1 : 2.5); 土壤有机质采用重铬酸钾容量法 (外加热法); 土壤全氮采用凯氏定氮法; 土壤有效磷采用酸性土壤 NH₄F-HCl 法浸提 - 钼锑抗分光光度法; 土壤速效钾采用乙酸铵 - 火焰光度法测定。具体测定方法参照《土壤农化分析》^[19]。



1.3.3 指标计算方法

茶青产量 (kg/hm^2) = $A1/0.33 \times 10000/1.7 \times 1.3/1000$

干茶产量 (kg/hm^2) = $A2/0.33 \times 10000/1.7 \times 1.3/1000$

茶叶发芽密度 = $B1/0.33$

茶叶百芽重 = $A1/B1 \times 100$

茶叶干物质率 = $A2/A1 \times 100$

经济效益指标计算：成本主要构成有肥料成本、农药成本、采摘成本和其他管理成本，肥料成本计算标准为美丰美茶叶专用复合肥 4 元/kg、尿素 2.5 元/kg、硼砂 4.9 元/kg，农药成本为 600 元/ hm^2 ，采摘成本按夏秋茶 25 元/kg、春茶 36 元/kg 计算，其他成本包括茶树修剪和开沟施肥等成本，按照 2900 元/ hm^2 计算。收益，即全年采摘的茶青直接销售获得的收入，计算公式为：夏秋茶产量 (kg) $\times$ 50 元/kg + 春茶产量 (kg) $\times$ 70 元/kg；纯收益计算公式为：收益 - 成本；利润率计算公式为：纯收益 / 收益 $\times$ 100；投资回报率计算公式为：纯收益 / 成本 $\times$ 100。

1.4 数据处理

利用 Excel 2019 进行数据处理并制作图表，采用 SPSS 26.0 进行方差分析和多重比较 (LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 施用硼肥对茶叶产量的影响

2.1.1 茶青产量

施用硼肥对茶青产量影响显著。如图 1 所示，与不施硼处理 (CK) 比较，施用硼肥各处理 (B1、B2、B3、B4 和 B5) 夏秋茶季茶青产量显著提高了 9.69% ~ 17.34%，其中土施低量 (B1) 和土施高量 (B2) 处理分别增产 9.69% 和 16.65%，叶面喷施一次 (B3) 和叶面喷施两次 (B4) 处理分别增产 10.45% 和 10.71%，土施低量 + 叶面喷施一次 (B5) 处理增产幅度最高，达 17.34%。春茶季茶青产量显著提高了 5.15% ~ 26.55%，其中 B1 和 B2 处理分别增产 5.15% 和 10.66%，B3 和 B4 处理分别增产 9.33% 和 26.55%，B5 处理增产达 19.06%。全年茶青产量显著提高了 7.79% ~ 18.06%，其中 B1 和 B2 处理分别增产 7.79% 和 14.15%，B3 和 B4 处理分别增产 9.98% 和 17.33%，B5 处理增产幅度最高，达 18.06%。

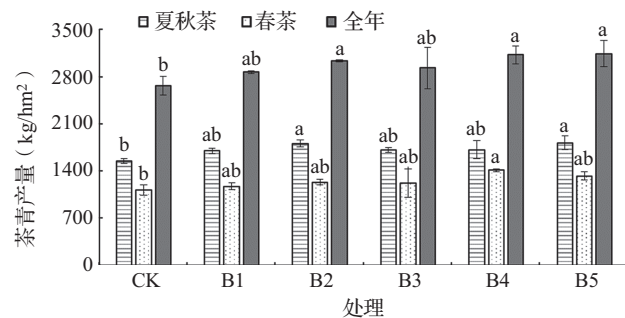


图 1 不同处理对茶青产量的影响

注：不同小写字母表示同一生长季处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.1.2 干茶产量

施用硼肥对干茶产量影响显著。如图 2 所示，与 CK 比较，施用硼肥各处理 (B1、B2、B3、B4 和 B5) 夏秋茶季干茶产量显著提高了 7.94% ~ 17.01%，其中 B1 和 B2 处理分别增产 10.40% 和 13.22%，B3 和 B4 处理分别增产 8.80% 和 7.94%，B5 处理增产幅度最高，达 17.01%。春茶季干茶产量显著提高了 7.77% ~ 27.88%，其中 B1 和 B2 处理分别增产 7.77% 和 11.98%，B3 和 B4 处理分别增产 12.20% 和 27.88%，B5 处理增产达 20.40%。全年干茶产量显著提高了 9.31% ~ 18.41%，其中 B1 和 B2 处理分别增产 9.31% 和 12.71%，B3 和 B4 处理分别增产 10.21% 和 16.19%，B5 处理增产效果最好，达 18.41%。

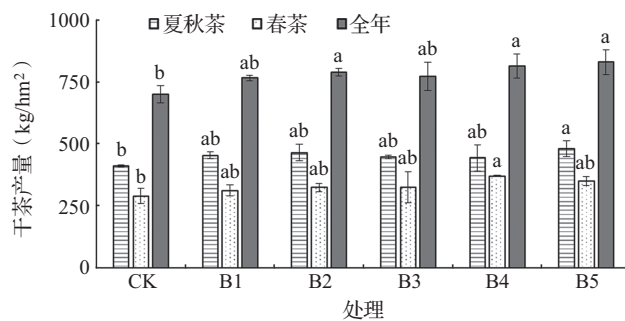


图 2 不同处理对干茶产量的影响

2.1.3 茶叶干物质率

施用硼肥对茶叶干物质率影响如图 3 所示，夏秋茶茶叶干物质率范围在 25.75%~26.72%，春茶在 26.06%~26.87%，全年在 26.03%~26.73%。与 CK 比较，施用硼肥各处理 (B1、B2、B3、B4 和 B5) 夏秋茶季、春茶季和全年的茶叶干物质率均没有显著差异。

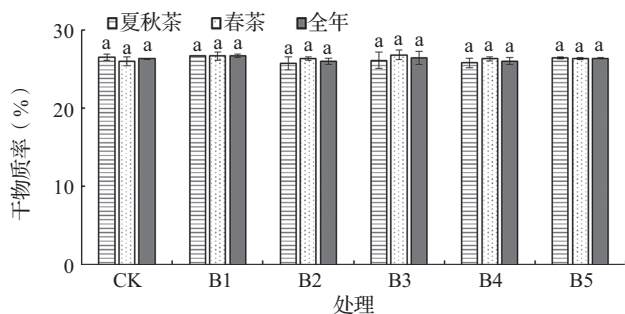


图3 不同处理对茶叶干物质率的影响

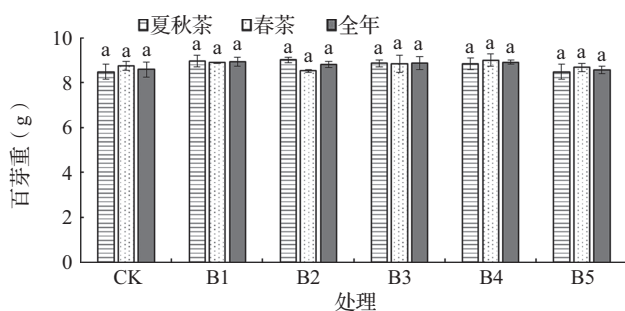


图5 不同处理对茶青百芽重的影响

2.1.4 茶叶发芽密度

施用硼肥对茶叶发芽密度影响显著。如图4所示,与CK比较,施用硼肥各处理(B1、B2、B3、B4和B5)夏秋茶季发芽密度显著增加了3.65%~17.06%,其中B1和B2处理分别增加了3.65%和9.73%,B3和B4处理分别增加了5.58%和6.08%,B5处理增加幅度最高,达17.06%。春茶季发芽密度显著增加了3.43%~22.89%,其中B1和B2处理分别增加了3.43%和13.55%,B3和B4处理分别增加了7.47%和22.89%,B5处理增加幅度为20.12%。全年发芽密度显著增加了3.56%~18.32%,其中B1和B2处理分别增加了3.56%和11.30%,B3和B4处理分别增加了6.35%和12.98%,B5处理增加幅度为18.32%。

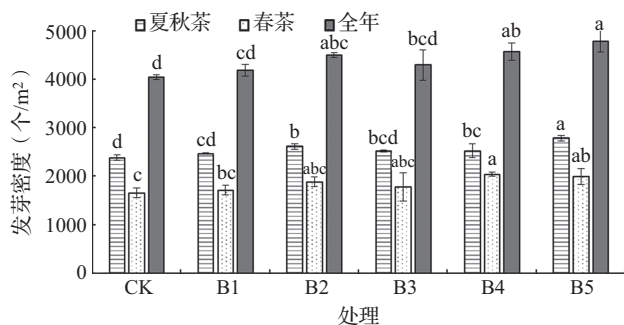


图4 不同处理对茶叶发芽密度的影响

2.1.5 茶青百芽重

施用硼肥对茶青百芽重影响如图5所示,各处理茶青百芽重夏秋茶在8.51~9.04 g,春茶在8.55~9.04 g,全年在8.59~8.97 g。与CK比较,施用硼肥各处理(B1、B2、B3、B4和B5)夏秋茶季、春茶季和全年的茶青百芽重均没有显著差异。

2.2 施用硼肥对茶叶品质的影响

如图6所示,施用硼肥对茶叶氨基酸、咖啡碱、茶多酚含量和酚氨比值影响显著。与CK比较,

施用硼肥各处理(B1、B2、B3、B4和B5)夏秋茶季氨基酸含量显著提升了11.61%~37.31%,春茶季氨基酸含量显著提升了10.52%~31.12%。与CK比较,夏秋茶季B1和B2处理咖啡碱含量分别提高了3.26%和1.81%,B3处理提高了9.78%,B4处理降低了5.24%,B5处理则没有显著差异。春茶季B1和B2处理咖啡碱含量分别降低了6.80%和9.63%,B4和B5处理分别降低了10.04%和4.14%,B3处理则没有显著差异。与CK比较,施用硼肥各处理夏秋茶季茶多酚含量显著提升了1.54%~11.45%;春茶季B1、B2处理茶多酚含量没有显著差异,B3、B4和B5处理茶多酚含量则分别提高了22.74%、15.59%和29.81%。与CK比较,夏秋茶季除了B3处理不显著外,B1、B2、B4和B5处理酚氨比值显著降低了15.11%~24.16%;春茶季除B3处理差异不显著外,B1和B2处理酚氨比值分别降低了14.82%和15.18%,B4处理酚氨比值降低了11.65%,B5处理提升了18.00%。

2.3 施用硼肥对茶叶全硼含量的影响

施用硼肥对茶叶全硼含量影响显著。如图7所示,与CK比较,施用硼肥B1、B2、B4和B5处理夏秋茶季茶叶全硼含量显著提高了20.87%~47.01%,其中B1和B2处理分别提高了20.87%和34.74%,B4和B5处理分别提高了32.20%和47.01%,B3处理则没有显著差异。与CK比较,施用硼肥B1、B2、B4和B5处理春茶季茶叶全硼含量显著提高了20.30%~45.62%,其B1和B2处理分别提高了26.16%和45.62%,B4和B5处理分别提高了20.30%和34.93%,B3处理则没有显著差异。

2.4 施用硼肥的经济效益评价

由表2可知,与CK相比,B1、B2和B5处理增加的硼肥成本较多,分别为217、434和228元/hm²,B3和B4处理的硼肥用量较少,因此硼肥

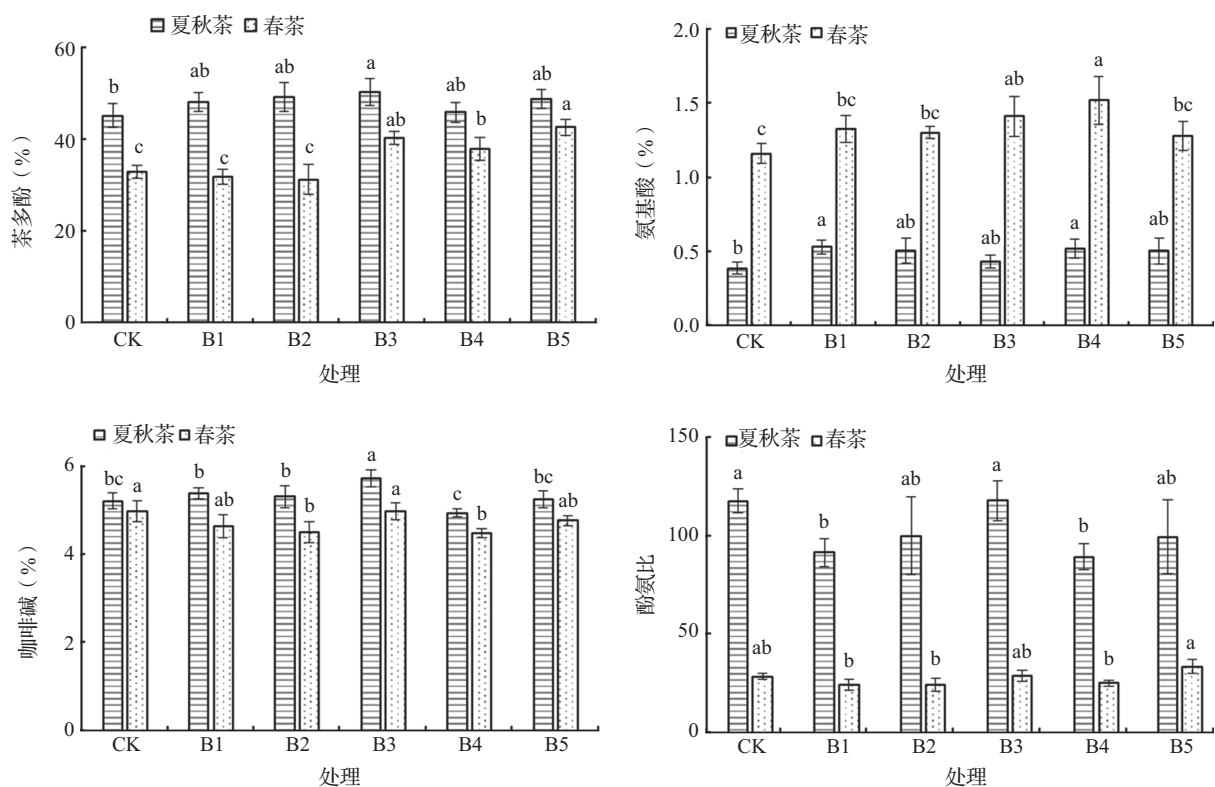


图 6 不同处理对茶叶品质的影响

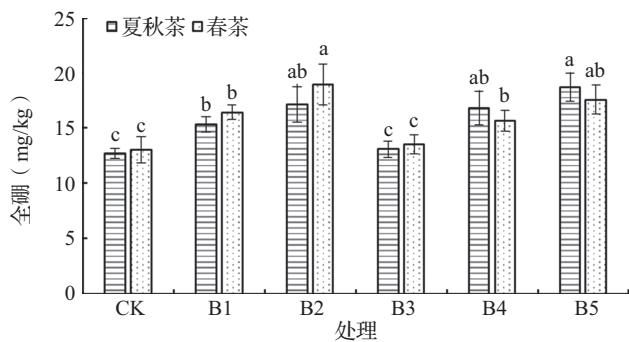


图 7 不同处理对茶叶全硼含量的影响

成本较低, 分别为 11 和 22 元 /hm²。复合肥成本、尿素成本、农药成本和其他成本均相同。

与 CK 相比, 施用硼肥各处理 (B1、B2、B3、

B4 和 B5) 全年收益显著提高了 11532 ~ 29000 元 /hm², 其中 B1 和 B2 处理分别增收 11532 和 21226 元 /hm², B3 和 B4 处理分别增收 15375 和 29000 元 /hm², B5 处理收益提高了 28303 元 /hm²。各个处理纯收益提高了 5492 ~ 14182 元 /hm², B4 处理纯收益提升幅度最大, 达 14182 元 /hm², 其次是 B5 处理, 纯收益提高了 13712 元 /hm²。各个处理利润率提高了 0.3 ~ 0.86 个百分点, B4 处理利润率提高幅度最大, 为 0.86 个百分点, 其次是 B5 处理, 利润率提高了 0.77 个百分点。各个处理投资回报率提高了 0.94 ~ 2.74 个百分点, B4 处理投资回报率提高幅度最大, 为 2.74 个百分点, 其次是 B5 处理, 投资回报率提高了 2.43 个百分点。

表 2 施用硼肥的经济效益

处理	成本 (元 /hm ²)						收益 (元 /hm ²)	纯收益 (元 /hm ²)	利润率 (%)	投资回报率 (%)
	复合肥	尿素	硼肥	农药	采摘	其他				
CK	4800	750	0	600	78864	2900	155499	67586	43.45	76.84
B1	4800	750	217	600	84686	2900	167031	73078	43.75	77.78
B2	4800	750	434	600	89595	2900	176725	77646	43.94	78.37
B3	4800	750	11	600	86655	2900	170874	75158	43.94	78.39
B4	4800	750	22	600	93659	2900	184499	81768	44.31	79.58
B5	4800	750	228	600	93227	2900	183802	81298	44.22	79.27

2.5 施用硼肥对土壤肥力的影响

如表 3 所示, 施用硼肥对茶园土壤有效硼含量影响显著。与 CK 比较, 施用硼肥 B1、B2 和 B5 处理的茶园土壤有效硼含量显著提高了 671.43% ~ 852.38%, 其中 B1 和 B2 处理分别提高了 700% 和 852.38%, B5 处理土壤有效硼提高了 671.43%。而 B3、B4 对茶园土壤有效硼含量无显

著影响。与 CK 相比, 施用硼肥对土壤 pH、有机质和全氮的影响不显著 ($P>0.05$)。施用硼肥对土壤有效磷含量影响显著。与 CK 比较, B1、B4 和 B5 处理的土壤有效磷分别增加了 18.53%、26.19% 和 29.85%。与 CK 相比, B2 处理土壤速效钾含量显著降低了 10.15%, 其他处理土壤速效钾没有显著差异。

表 3 不同施肥处理对土壤有效硼含量和理化性质的影响

处理	有效硼 (mg/kg)	pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
CK	0.21 ± 0.03b	3.61 ± 0.16a	59.27 ± 0.86a	3.00 ± 0.11a	64.75 ± 11.97b	259.0 ± 8.00a
B1	1.68 ± 0.08a	3.48 ± 0.09a	61.57 ± 4.06a	3.02 ± 0.00a	76.75 ± 5.00ab	251.3 ± 3.51a
B2	2.00 ± 0.24a	3.53 ± 0.11a	63.11 ± 2.75a	2.98 ± 0.17a	63.58 ± 10.09b	232.7 ± 10.69b
B3	0.30 ± 0.10b	3.55 ± 0.12a	62.00 ± 7.31a	2.94 ± 0.03a	60.54 ± 6.14b	255.7 ± 6.03a
B4	0.31 ± 0.04b	3.54 ± 0.09a	59.69 ± 0.67a	2.95 ± 0.04a	81.71 ± 9.63a	249.0 ± 3.00a
B5	1.62 ± 0.24a	3.65 ± 0.18a	62.25 ± 4.80a	3.09 ± 0.11a	84.08 ± 8.48a	258.3 ± 3.51a

注: 不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 施用硼肥对茶叶产量和品质的影响

施用硼肥可以为茶叶叶片补充硼营养, 提高茶叶的发芽密度、百芽重和鲜叶产量, 改善茶叶的品质^[11, 18, 20]。本文研究结果表明, 施用硼肥各处理全年茶青产量显著提升了 7.79% ~ 18.06%, 干茶产量显著提升了 9.31% ~ 18.41%, 发芽密度显著增加了 3.56% ~ 18.32%。主要原因是硼元素对茶树分生组织 (如茶芽等) 的生长起到重要作用, 一定程度上影响着茶叶产量^[21]。很多学者在不同作物上的试验都发现硼肥施用能提高各项产量指标^[22-24], 与本研究结论相印证。本文研究发现, 湄潭县茶叶游离氨基酸总量春季高于夏季、茶多酚春季低于夏季, 这与前人研究结果一致^[25-26]。关于施用硼肥对茶叶品质作用的研究报道较少。有研究指出, 施硼对茶叶的氨基酸含量有提升的趋势^[27]。在红壤区茶园里施用硼肥, 可显著提高茶叶营养品质^[11]。本试验结果表明, 施用硼肥各处理对茶叶氨基酸含量、茶叶咖啡碱含量和茶多酚含量均有显著提升, 茶叶酚氨比值均有显著降低, 对茶叶品质方面提升较为显著。

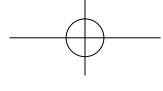
3.2 施用硼肥对茶叶全硼含量的影响

采用叶面施肥方式在作物生长过程中能够迅

速满足植物的营养需求, 有效改善营养元素的不足。直接在叶片上喷施肥料, 能够更加高效地提升肥料利用效率, 促进作物健康生长^[28]。已有学者研究发现, 施用硼肥能够提高茶叶的硼含量^[11], 本研究发现, 茶叶全硼含量夏秋茶季显著提高了 20.87% ~ 47.01%, 土施低量 + 叶面喷施一次 (B5) 处理的增幅最大; 春茶季显著提升了 20.30% ~ 45.62%, 土施高量 (B2) 处理的增幅最大。叶面喷施在短期内能够为茶叶提供养分, 但并不长效持久, 春茶季由于湄潭县当地不具备叶面喷施的作业便利性和条件, 因此试验没有进行叶面喷施, 而此时土施的硼肥可以通过茶树根系的吸收为茶叶提供硼营养, 因而春茶季土施高量处理的茶叶硼含量增幅最大。因此, 选择土施和叶面喷施相结合的施肥方式能够既迅速又长效地改善植物体的硼营养状况。

3.3 施用硼肥对土壤肥力的影响

土壤是植物吸收的供体, 茶园土壤有效硼直接影响着硼元素的供应能力。因此, 在茶叶种植过程中, 必须通过施用硼肥来补充土壤的硼营养, 以确保茶叶的正常生长和发育。本试验表明, B2 处理能将土壤有效硼含量从 0.21 mg/kg 提升到了 2.00 mg/kg, 有效地改善了当地茶园硼营养缺乏的问题, 土壤有效硼的增加也能为茶树提供更持久的硼素营养。兰子汉^[29]在海南三亚的试验表明,



土施硼肥后,土壤有效硼含量从 0.25 mg/kg 提升到了 0.71 mg/kg,说明土施硼肥对于土壤有效硼含量的影响非常明显,可以持续为作物生长提供硼素营养。土施硼肥对土壤硼营养状况的改善是直接的,可考虑在茶叶专用复合肥中添加硼,从而有利于高效推广。潘住财^[11]的试验结果表明,施用硼肥后,红壤区茶园土壤比对照处理明显提高土壤有效磷和速效钾含量,而对土壤 pH、有机质、全氮的含量影响不明显。本研究也发现,施用硼肥对茶园土壤 pH、有机质、全氮没有显著影响,可提升土壤有效磷 18.53% ~ 29.85%。有研究指出,硼肥施用可能影响了土壤酶活性和细菌种群丰度变化,从而提高土壤磷有效性^[30]。本研究中土施高量硼肥处理土壤速效钾的含量有所降低,这可能是由于施硼促进茶叶增产,改善茶树根系对钾的吸收利用,从而导致土壤速效钾降低^[31]。此外,硼砂施用可能导致土壤中 Na⁺ 增加, K⁺ 吸附能力增强,解析能力降低,从而使速效钾含量降低^[32]。

4 结论

施用硼肥可以显著提升茶青产量、干茶产量和发芽密度,可以显著提高茶叶氨基酸含量、茶叶咖啡碱含量和茶叶茶多酚含量,降低茶叶酚氨比值。施硼处理可以显著提高茶叶全硼含量和土壤有效硼含量,提高收益、纯收益、利润率和投资回报率。综上,土施硼肥低量+叶面喷施硼肥一次对土壤和茶叶的提质增效作用最佳,可以作为茶园硼营养改良的技术模式并进行推广。

参考文献:

- [1] 杨亚军. 中国茶树栽培学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 384-385.
- [2] Mukhopadhyay M, Ghosh P D, Mondal T K. Effect of boron deficiency on photosynthesis and antioxidant responses of young tea plantlets [J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2013, 60: 633-639.
- [3] 马立锋, 韩文炎, 石元值, 等. 浙江省部分茶区茶园土壤中硼含量及影响因素研究 [J]. 中国农业科学, 2003, 36 (12): 1515-1518.
- [4] 邹庆鹏, 金开美, 曹成, 等. 信阳茶区土壤有效态微量元素含量状况 [J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8 (3): 975-980.
- [5] 章林英, 倪中应, 季淑枫, 等. 桐庐县茶园土壤微量元素现状调查与施用建议 [J]. 中国农技推广, 2015, 31 (4): 41-43.
- [6] 杨春雷, 饶雄飞, 张艳梅, 等. 中微量元素肥对雪茄烟叶的影响研究 [J]. 现代农业科技, 2023 (12): 9-13.
- [7] 刘家友, 杨国宝, 王齐龙, 等. 减氮配施中微量元素肥对冬瓜产量和品质的影响 [J]. 土壤, 2023, 55 (1): 30-36.
- [8] 王璐, 姜英君, 王娜, 等. 增施中微量元素肥对呼伦贝尔市主要农作物产量的影响 [J]. 中国农技推广, 2022, 38 (11): 65-68.
- [9] 杨国宝. 减氮配施中微量元素肥对几种蔬菜产量和品质的影响 [D]. 佛山: 佛山科学技术学院, 2022.
- [10] Kumar R, Saren K B, Patel K S. Effect of foliar application of zinc and boron on growth attributes and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties [J]. International Journal of Plant & Soil Science, 2023, 35 (21): 958-965.
- [11] 潘住财. 施用硼镁肥对红壤茶园茶叶产量、品质及土壤肥力的影响 [J]. 福建农业学报, 2015 (9): 877-883.
- [12] 马路婷. 喷施硼肥对红枣叶片光合特性、果实品质及糖积累的影响研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
- [13] 陈相君. 硼肥对烤烟上部叶生长及品质的影响 [D]. 成都: 四川农业大学, 2022.
- [14] 李兴富, 蔡桂华, 解崇斌. 不同硼素与施用方法对防治板栗空苞的效果 [J]. 浙江柑橘, 2012, 29 (3): 43-44.
- [15] Balci M, Taban S. Effect of boron applications on boron concentration of the leaves under the harvest base of tea plant [J]. Journal of Plant Nutrition, 2022, 46 (2): 184-200.
- [16] 王文亮, 刘清华, 牛德江, 等. 硼肥不同施用量对烟草生长发育的影响 [J]. 河南农业大学学报, 1998 (S1): 84-87.
- [17] 王澜, 蒋曦龙, 陈利容, 等. 土施和无人机配施锌肥对小麦产量和籽粒锌铁硒含量的影响 [J]. 东北农业科学, 2022, 47 (2): 16-20, 24.
- [18] 韩志平. 茶树喷施硼肥增产效果好 [J]. 茶叶通讯, 1991, (2): 45, 28.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [20] 刘声传, 魏杰, 陈智雄, 等. 氨基酸叶面肥对黄化茶树夏秋茶产量和品质的影响 [J]. 中国农学通报, 2022, 38 (19): 54-58.
- [21] 吴洵. 茶园土壤管理与施肥 [J]. 北京: 金盾出版社, 1997: 120-121.
- [22] 马琦琦, 李丽君, 王斌, 等. 喷施硼肥对藜麦生长发育及单株产量的影响 [J]. 陕西农业科学, 2023, 69 (12): 62-69.
- [23] 朱丹丹, 唐记平, 刘冬碧, 等. 氮磷钾镁硼肥对子莲产量形成的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2023 (10): 160-168.
- [24] 靳慧慧. 硼、锌肥对设施番茄产量及品质的影响 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2024.
- [25] Erturk Y, Ercisli S, Sengul M, et al. Seasonal variation of total phenolic, antioxidant activity, and minerals in fresh tea shoots (*Camellia sinensis* var. *sinensis*) [J]. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 2010, 23 (1): 69-74.
- [26] Gong A, Lian S, Wu N, et al. Integrated transcriptomics and metabolomics analysis of catechins, caffeine, and theanine biosynthesis in tea plant (*Camellia sinensis*) over the course of

- seasons[J]. BMC Plant Biology, 2020, 20 (1): 1-14.
- [27] 陈星峰. 福建烟区土壤镁素营养与镁肥合理施用[J]. 中国农学通报, 2006, 22 (5): 261-263.
- [28] 胡智馨. 不同氮素水平下硼肥对荞麦生长及产量的影响[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2021.
- [29] 兰子汉. 硼、镁肥配施对红金龙芒果产量和品质的影响[D]. 海口: 海南大学, 2020.
- [30] 赵哲. 甘蓝型油菜硼磷互作效应及其机制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [31] 谭小兵, 杨焕文, 徐照丽, 等. 钾对高硼土壤烤烟生长及离子吸收的影响[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20 (6): 113-121.
- [32] Levy G J, Torrento J R. Clay dispersion and macroaggregate stability as affected by exchangeable potassium and sodium [J]. Soil Science, 1995, 160 (5): 352-358.

Effect of boron fertilizer application on yield, quality and economic benefit of tea

WANG Tian-yi¹, HUANG Xing-cheng^{1, 2*}, LIU Xin-qiang³, ZHAO Shu-guang³, WANG Yu-ru¹, ZHANG Tong¹, CHEN Xin-ping¹, SHI Xiao-jun¹, ZHANG Fu-suo^{1, 4} (1. College of Resources and Environment/Interdisciplinary Research Center for Agriculture Green Development in Yangtze River Basin, Southwest University, Chongqing 400715; 2. Institute of Soil and Fertilizer, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang Guizhou 550006; 3. Sichuan Meifeng Chemical Industry Co., Ltd., Deyang Sichuan 618000; 4. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193)

Abstract: The general lack of soil boron nutrition in tea plantations under intensive tea production has seriously affected the yield and quality of tea. It is of great significance to study the effect of boron fertilizer application on tea efficiency and quality improvement to promote the high-quality development of tea industry. In this study, the effects of different fertilization methods and fertilization dosages of boron fertilizer on the yield, quality, economic benefits and soil fertility of tea were analyzed through the field experiment method. The results showed that the effect of tea yield increase under different boron application treatments was significant. Boron treatment increased the annual tea green yield by 7.79%–18.06%, dry tea yield increased by 9.31%–18.41%, germination density increased by 3.56%–18.32%. In summer and fall tea season, the amino acid content of tea leaves was elevated the highest by soil application of low amount of treatment (B1), amounting to 37.31%; the caffeine and tea polyphenol contents were elevated the highest by foliar spraying once (B3), amounting to 9.78% and 11.45% respectively; and the phenol-ammonia ratio of tea leaves was decreased the most by foliar spraying twice (B4), amounting to 24.16%. Amino acid content of tea leaves in spring tea season was elevated the highest with treatments of B4, amounting to 31.12%; tea polyphenol content was elevated the highest with one treatment of soil application of low amount + foliar spraying (B5), amounting to 29.81%; and tea phenol-ammonia ratio was reduced the most in the treatment of B2, amounting to 15.18%. In the summer and fall tea seasons, soil application of B5 treatment increased the whole boron content of tea leaves by 47.01%; in the spring tea season, B2 increased the whole boron content of tea leaves by 45.62%, and B2 had the highest increase in soil available boron content, reaching 852.38%. B4 had the highest yield, net income, profitability and return on investment, with the yield increasing by 29000 Yuan per hectare compared to CK and the net income increasing by 14182 Yuan per hectare. The results of the study provide a useful reference for the scientific and rational application of boron fertilizer in tea gardens.

Key words: boron fertilizer; *Camellia sinensis*; yield; quality