

# 硼在作物生长过程中的研究现状

祁寒<sup>1,2</sup>, 孙光明<sup>\*</sup>, 李绍鹏, 魏长宾

(1. 华南热带农业大学园艺学院, 海南儋州 571737; 2. 中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 广东湛江 524091)

**摘要** 论述了硼素在作物生长过程中的作用, 以及对作物产量与品质指标的影响, 分析了硼在分子水平对作物产生的作用及对作物生理代谢的研究现状。

**关键词** 硼; 结构功能; 营养元素; 产量与品质

中图分类号 Q945.12 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)16-06649-02

## Current Stuation of the Application of Boron in the Crop Growth

Qi Han et al (College of Horticulture, South China University of Tropical Agriculture, Danzhou, Hainan 571737)

**Abstract** In this paper the role of boron in crop growth was discussed including crop yield and quality, and its physiology and metabolism role was analyzed at molecular level.

**Key words** Boron; Structure and function; Nutrient; Yield and quality

硼是植物必需的营养元素, 同时也是在农业中应用得最早的微量元素。自1857年人们就从植物中分离出了硼, 随后科学工作者就硼营养进行了广泛的研究<sup>[1]</sup>。笔者从硼在分子水平对作物影响方面进行了研究总结。

### 1 硼在土壤中的存在形式与分布

土壤中的硼主要来源是含硼矿物, 主要的含硼矿物是电气石。含硼矿物风化以后, 硼以硼酸根的形式进入土壤溶液。土壤含硼量变化很大, 中国土壤的含硼量根据现有资料是0~500 ng/kg, 平均含量64 ng/kg, 总的趋势是从北向南逐渐降低。土壤含硼量及其有效性在一定程度上受成土母质和土壤类型的影响。一般来说, 由沉积岩发育而成的比火成岩发育的土壤多, 干旱地区土壤含硼量比湿润地区土壤多, 滨海地区土壤含硼量比内陆的土壤多, 而内陆的干旱地区土壤含硼量则会更高<sup>[2]</sup>。我国含硼量最少的土壤是南方土壤, 同一类型的土壤, 由于形成母质不同, 含硼量也会有很大差异。根据《主要作物营养症状失调图谱》, 土壤有效硼含量在0.25~0.50 ng/kg对需硼少的作物已足够, 对需硼多的作物, 适量施用硼素有良好的效果。

### 2 硼在植物体内的含量与分布

植物体内硼的含量变幅很大, 含量最低只有2 ng/kg, 最高可达100 ng/kg。通常双子叶植物因具有较大数量的形成层和分生组织, 需硼量相对较多, 易缺硼, 谷类作物需硼较少, 不易缺硼。根据沈振国等的研究<sup>[3]</sup>, 供硼正常的油菜以叶片的浓度最大, 缺硼则以根系的浓度最大。作物缺硼时, 会增加硼在植物根系中的分配比例, 减少叶片的分配比。所以一般来说, 硼在植物体内的分布规律是: 繁殖器官高于营养器官; 叶片>枝条>根系; 硼比较集中分布在子房、柱头等花器官中。

### 3 硼对作物生长代谢的作用

**3.1 硼对作物光合作用的影响** 硼在作物叶片中的含量较高, 在叶绿体中则更高。缺硼时叶绿体的数目和体积大大减

少, 叶绿体中的基质发育退化, 离体叶绿体的光合磷酸化供应降低。魏文学等对向日葵缺硼的研究发现<sup>[4]</sup>, 缺硼时叶片叶绿体a、b含量都下降。罗惠华对菠萝缺硼研究表明<sup>[5]</sup>, 缺硼的菠萝植株叶片用电镜观察发现, 除叶绿体的被膜结构受破坏外, 基粒数量减少, 间质片层消失, 严重的整个片层系统破碎成泡状, 从而降低植株的光合效率。

**3.2 硼对作物细胞功能的影响** 近年来, 硼在细胞壁上作用的研究解释了许多植物缺硼现象, Pollard和Tanada先后在玉米根和绿豆细胞膜组分中测定到硼, 并表明硼对生物膜的结构与功能有特殊的影响, 硼可能与质膜上多经基结合, 使膜保持正常功能<sup>[6]</sup>。Loomis等研究结果表明<sup>[7]</sup>, 硼在植物体内不易移动, 它是细胞壁合成必不可少的组成成分, 缺硼必然首先影响细胞壁的合成。缺硼后植物细胞分裂的旺盛部位如根尖、茎尖及花粉管等的生长首先受到抑制。

**3.3 硼对酶活性的影响** 硼的含量变化影响着酶活性的变化, 缺硼会降低叶片中过氧化氢酶的活性, 并使叶片中过氧化物酶的活性增加。酶活性变化的大小反映了植物体内自由基积累水平受伤害的程度。严红等认为, 低硼会降低小麦旗叶与穗部POD、PPD的活性, 多酚氧化酶、抗坏血酸氧化酶的活性增加<sup>[8]</sup>。郑淑娟在大豆上的试验表明, 硼抑制了大豆叶片硝酸还原酶的活性, 增加了硝态氮的含量<sup>[9]</sup>。在液培环境中, 缺硼使根瘤结构受到严重破坏, 使固氮酶活性下降。刘鹏等也发现, 适宜的硼可提高SOD、POD、CAT等保护酶的活性<sup>[10]</sup>, 能降低MDA的含量与自动氧化速率, 抑制膜质过氧化作用。

**3.4 硼对激素的影响** 缺硼将导致作物体内乙烯、脱落酸及赤霉素含量的极显著增加, 使生长素及细胞分裂素极显著下降, 植物生长点缺硼时坏死与生长素的积累有关。水培和土壤试验表明, 缺硼条件下<sup>[11]</sup>, 在缺硼病状出现以前, 乙烯释放量没有明显变化, 但随着缺硼时间的增长, 乙烯的释放量随之增加。在黄瓜上的试验研究表明, 缺硼处理过程中, 降低了黄瓜体内多酚氧化酶的活性, 从而抑制了IAA的运输。

### 4 硼与作物所需营养元素之间相互作用

硼是重要的营养元素, 在作物的生理栽培中倍受关注。对硼肥的使用中已有不少的研究, 但研究单一元素的作用很难从本质上全面揭示这一元素的行为, 只有明确元素间交互

基金项目 农业部“948”项目(2006-GA3)。

作者简介 祁寒(1983-), 男, 贵州凯里人, 硕士研究生, 研究方向: 果树营养与品质。\* 通讯作者, E-mail: gmsun@163.com。

收稿日期 2008-03-17

作用,才能充分发挥营养元素的有效作用。

**4.1 硼与氮的关系** 氮对硼的吸收有很大影响,已有的研究证明,有大量氮存在或氮的供给增加时,植物对硼的吸收减少;缺硼植物体内含氮的物质与简单碳水化合物发生不正常的积累,意味着蛋白质合成受阻。将正常与缺硼植株相对比,缺硼植物含有较多的氮,但是蛋白态氮减少,氨态氮和可溶态氮发生积累,吸收硝态氮的能力也低于正常植株;相反地,硼的供给过量而中毒时,植株的蛋白态氮增多,可溶态氮减少。

**4.2 硼与磷的关系** 由于磷酸根、硼酸根和羟基有相似的反应,所以植物对这两个元素的吸收也有相似的模式。植物对磷的吸收和磷在植物体内的分布都受含硼量的影响<sup>[12]</sup>,二者有明显的相互促进作用。当磷供给不足时,甘蓝型油菜对硼的吸收减少,硼的供给不足时,磷的吸收也减少;增加硼或磷的供给,磷或硼的吸收相应地增加并使油菜的产量、品质大幅度地提高。另一方面,则观察到土壤中硼的活动干扰了磷酸根的活动,不利于根系对磷酸根的吸收。

**4.3 硼与钾的关系** 硼与钾二者的关系在一定范围内起相互促进作用,当其中一种元素偏低或过量则相互抑制。在硼不足的情况下,提高钾的水平使棉花缺硼症状加重,产量下降;而在硼过量的情况下,增加钾的用量则可使过量硼的毒害作用显著减弱,产量增加;适量的硼与钾配合能促进单株棉花叶对硼钾的吸收。

**4.4 硼与钙的关系** 二者在生理上有密切的关系,在果实上,施硼可增加果实对钙的运输和吸收,提高植株中钙含量且呈正相关的互作效应,植物中大部分的钙和硼是存在于细胞壁的果胶中,而果胶是植物细胞壁的重要组成成分并对增强果实硬度有十分重要的作用<sup>[13]</sup>。当植物供以低钙时,植物需硼是低容限的,而给植物供钙过量,植物需硼量就高。即植物含钙量多,它需硼的量也增多,这说明B/Ca是随植株营养水平的变化而变化。根据罗惠华对菠萝的研究<sup>[5]</sup>,菠萝缺硼时,组织中果胶物质显著减少,果胶酸钙形成少,使细胞壁的中胶层形成受阻,B/Ca比也随之线性变化<sup>[14]</sup>。此外,硼钙之间也表现出一定的拮抗关系,韦剑锋等在龙眼试验中指出,拮抗作用主要发生在果皮和果肉组织中,龙眼果实果皮组织的钙硼含量高于果肉、果核组织与元素在组织中的分配的差异性而导致产生交互作用<sup>[15]</sup>。

**4.5 硼与钼的关系** 从目前大多数研究来看,硼钼营养有着明显的互作效应,适宜的浓度配置可达到明显的增产效果。不少研究指出<sup>[16]</sup>,钼、硼同施,非常显著地促进了植物体内原有的各种矿物营养元素的有效利用,共同促进了体内碳和氮的代谢,大大提高作物产量。崔辉梅等的试验结果表明<sup>[17]</sup>,硼钼配施可促进胡萝卜叶片的叶绿素含量和增加叶面积,使株高在生长前期增加较快,同时可促进胡萝卜生物产量的增加。

## 5 硼对作物产量及品质的影响

硼在植物体内参与物质运输以及生理代谢活动,特别是作为活性调节剂影响作物开花结实。喷硼果实可提高果实可溶性固形物和可溶性糖的含量,降低酸度,提高糖酸比。

**5.1 硼对经济作物的作用** 作物缺硼时形态上的变坏是由

其生理代谢的破坏决定的,这都会给作物的品质带来极为不利的影 响。叶小利等对油菜作物合理施用硼肥的研究表明<sup>[18]</sup>,油菜产量增产幅度一般在8%~12%,严重缺硼时喷施硼肥可增产达32%以上,甚至成倍的增长。王利红等试验结果表明,缺硼引起油菜生长点受损,碳水化合物合成减少,运输不畅,繁殖器官异常。处理后可提高其产量、含油量,改善油分品质<sup>[12]</sup>。硼对花生和大豆的影响要表现在氮代谢方面,王帆等研究发现<sup>[19]</sup>,硼可提高花生和大豆叶片的硝酸还原酶的活性,促进固氮作用,明显增加氮的积累量,促进氮素从营养器官向籽粒转移,提高产量和蛋白质含量。付文进等对棉花的研究表明<sup>[20]</sup>,硼素不仅能明显提高棉花产量,也有利于纤维成熟度和马克隆值的提高,从而改善棉花品质。

**5.2 硼对几种果树树体及果实的影响** 何月秋等发现,毛叶枣果实缺硼导致果实极不规则,凹凸不平,甚至核发育不完全,果实中空成空腔<sup>[21]</sup>。孟赐福等总结得出,杨梅缺硼叶片变小,新发枝条簇生,梢顶枯萎,严重抑制其生长,甚至导致树体的死亡<sup>[22]</sup>。在果实方面,施硼能使杨梅果实增大、果汁可溶性固形物含量增加和果汁含酸量的降低。龙眼树冠喷施硼,有利于促进龙眼叶片糖分向假种皮转运、增加假种皮糖分积累、促进果实发育,从而增加龙眼糖分的含量<sup>[23]</sup>。我国板栗主产区的试验分析结果表明,缺硼是板栗空苞形成的重要因素,板栗空苞率随土壤速效硼含量的增加而降低<sup>[24]</sup>。硼能明显增加色买提杏果实可溶性固形物含量,还能增加果实的硬度,随着硼浓度的增加,果实硬度和可溶性固形物的含量也随之提高,提高了杏果的外观品质<sup>[25]</sup>。

## 6 小结

作物在生长过程中受到多种因素的影响制约,研究作物肥料施用量十分重要。硼素缺失对作物体内矿质养分浓度的影响,将导致地上部和根系中的N、P、K等元素的含量变化,由于缺硼时根系对这些元素的吸收能力降低,钙在缺硼植株根系中含量较高,在其地上部中含量较低,影响钙随蒸腾流运输,缺硼时导致光合速率降低。在保证作物正常需硼的范围,作物产量得以提高,果实的品质得以保证;随着硼在细胞水平研究技术的进步和研究手段的提高,硼素的功能及其作用机制将得到更深入的研究。

## 参考文献

- [1] VICTOR SHORROCKS. The occurrence and correction of boron deficiency [C]. Kluwer Academic Publisher, 1997: 121 - 1481.
- [2] 刘铮. 土壤微量元素 M. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 51 - 58.
- [3] 沈振国, 张秀省, 王震宇, 等. 硼素营养对油菜花粉萌发的影响 [J]. 中国农业科学, 1994, 27(1): 51 - 56.
- [4] 魏文学, 王运华, 孙香枝. 缺硼对向日葵叶组织及花粉结构的影响 [J]. 华中农业大学学报, 1993(5): 68 - 71, 133 - 135.
- [5] 罗惠华. 菠萝缺硼对叶片超微结构及功能的影响 [J]. 广西农业大学学报, 1994, 13(3): 211 - 216.
- [6] POLLARD, TANADA. Boron mobility in plants [J]. Hort and Soil, 1997, 193: 85 - 101.
- [7] LOOMS WD, DURST R W. Chemistry and biology of boron [J]. Biofactors, 1992, 3: 229 - 239.
- [8] 严红, 李文雄, 魏自民, 等. 不同水平硼对春小麦生长发育及结实率的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2001(1): 32 - 36.
- [9] 郑淑娟. 水分光照与硼对大豆生长发育及根系性状的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2006: 1 - 57.
- [10] 刘鹏, 杨玉爱. 钼、硼对大豆氮代谢的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 1999(4): 60 - 64.
- [11] TAKASAKI M, KAWAGUCHI S, KOBAYASHI M, et al. Immunocytochemistry

**2.3 模拟酸雨对藜种子 POD 活性的影响** 由图1 可见, POD 酶活性变化总体趋势是随胁迫时间的延长, 酶活性先高后降。初时, pH 值 5.5、4.5、3.0 处理的酶活性皆高于对照组, 最终逼近对照组, 表明种子受酸雨胁迫后, 应激修复启动, POD 活性上升解除体内的活性氧, 但随着处理时间的延长, 种子本身积累过多的活性氧, 对植物产生了伤害, 影响了生理代谢, 导致 POD 活性下降。而 pH 值 2.5 处理的 POD 酶活性低于对照组。

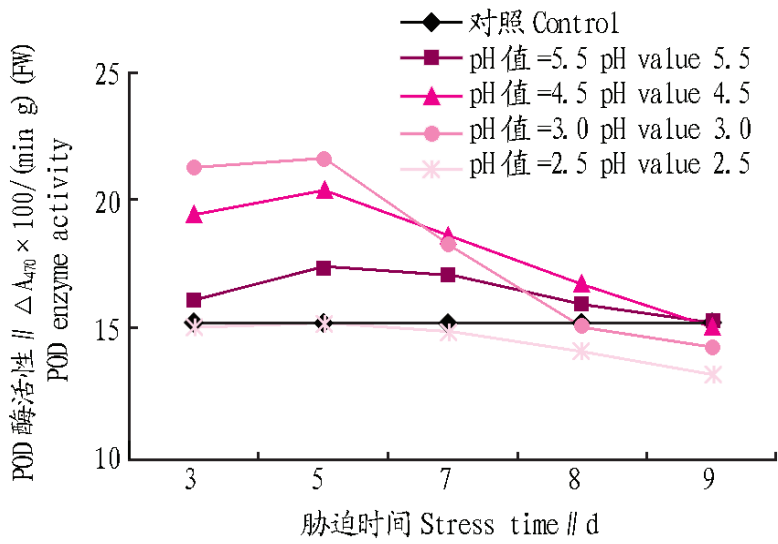


图1 酸雨胁迫对种子萌发 POD 活性的影响

Fig.1 Effects of acid rain stress on POD activity in the germinated seeds

**2.4 模拟酸雨对藜种子 MDA 含量的影响** 由图2 可知, 随胁迫时间的延长, 各处理组的 MDA 含量呈上升趋势。pH 值 2.5、3.0 和 4.5 处理组的 MDA 含量明显高于对照组, 在 5~9 d, pH 值 3.0 和 4.5 的酸液处理种子, MDA 含量增幅分别为 54.80%、50.00%、61.29%、70.96% 和 45.16%、36.56%、35.48%、40.86%, 呈先降后增的变化规律, 表明开始时, 保护系统应激启动, 产生的 POD 酶减轻活性氧对膜脂过氧化伤害, 到后期, 酸雨胁迫导致植物实质伤害, 体内过多的活性氧引发膜脂过氧化, MDA 升高, 酸雨对植物的伤害加剧。

### 3 讨论

该试验结果表明, 模拟酸雨对藜种子的发芽率及发芽势有一定的抑制作用。其抑制作用的强弱取决于酸化程度。其生理机制主要是酸雨中的 H<sup>+</sup> 降低了细胞 pH 值, 改变了生物生命活动所需要的正常的酸碱度, 酸雨带来的过量 H<sup>+</sup> 会替换其他元素, 包括钾、镁、钙等营养元素, 使土壤贫瘠, 酸雨

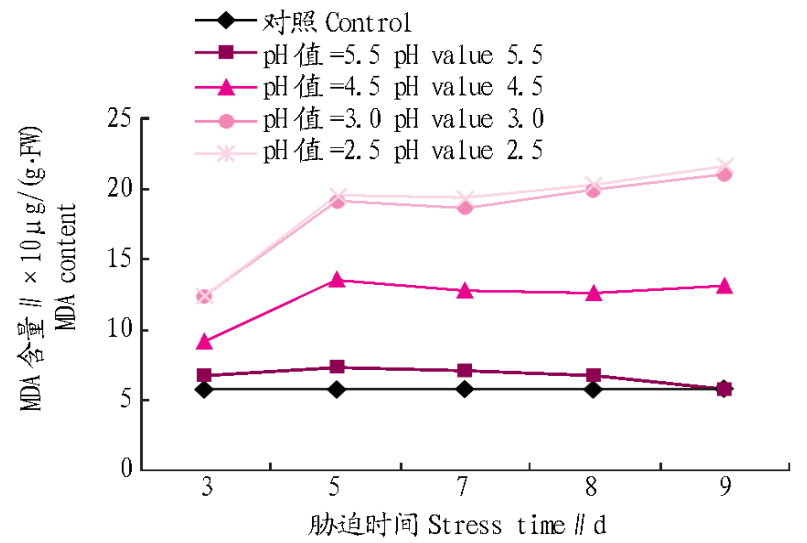


图2 酸雨胁迫对种子萌发 MDA 含量的影响

Fig.2 Effects of acid rain stress on MDA content in the germinated seeds

一旦与泥土融合, 能排出铅和锰, 使树根生病, 从而影响植物的生长<sup>[10]</sup>。

经对酸雨胁迫藜种子的 POD 和 MDA 2 项生理指标的测定, 结果表明: 各酸液组, 随处理时间的延长, POD 的活性先升后降, 而 MDA 呈先升后降再升高的变化趋势, 由此推断植物通过提高细胞保护酶活性清除自由基进而减轻酸雨胁迫造成的伤害。但随酸雨胁迫时间的延长, 植物受到实质伤害, 保护酶活性降低, 膜脂受害程度加剧。所以, 在农业生产上, 一旦受到酸雨的侵袭, 就应尽早采取措施迅速排去酸水, 减轻对植物根系的影响。

### 参考文献

- [1] 叶创光, 廖文波, 戴水连, 等. 植物学[M]. 广州: 中山大学出版社, 2000: 244-247.
- [2] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴 第一册[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 578.
- [3] 上海科学院. 上海植物志[M]. 上海: 上海科技文献出版社, 1999: 223.
- [4] 赵可夫, 李法曾. 中国盐生植物[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 145.
- [5] 陈锐章. 模拟酸雨对大豆、花生生长和产量的影响[J]. 生态学杂志, 1990, 9(5): 58-60.
- [6] 许泽宏. 模拟酸雨对蚕豆根生长发育的影响[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2000, 23(6): 637-639.
- [7] 郁达. 模拟硫酸雨淋洗对小麦种子发芽及幼苗某些生理性状的影响[J]. 环境污染与防治, 1993, 15(2): 10-12.
- [8] 张耀民, 吴丽英, 王晓霞, 等. 酸雨对农作物叶片伤害及生理特性影响[J]. 农业环境保护, 1996, 15(5): 197-208.
- [9] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1990: 154.
- [10] 中国林学会. 酸雨与农业[M]. 北京: 中国林业出版社, 1988.
- [11] 叶小利, 李加纳, 唐章林, 等. 甘蓝型油菜种皮色泽及相关性状的研究[J]. 作物学报, 2001, 27(5): 550-556.
- [12] 王利红, 徐芳森, 王运华, 等. 硼钼锌配合对甘蓝型油菜产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 318-323.
- [13] 梁和, 马国瑞, 石伟勇, 等. 钙硼营养与果实生理及耐贮性研究进展[J]. 土壤通报, 2000, 31(4): 187-192.
- [14] 王群瑛, 胡昌浩, 王振林, 等. 微量元素亏缺对玉米叶绿体结构及功能的影响[J]. 中国农业科学, 1992, 25(1): 32-36.
- [15] 韦剑锋, 梁和, 韦冬萍, 等. 钙硼营养对龙眼糖积累及果实发育的影响[J]. 西南农业学报, 2006, 19(6): 167-171.
- [16] 杜应琼, 廖新荣, 黄志尧, 等. 硼钼对花生氮代谢的影响[J]. 作物学报, 2001, 27(5): 612-616.
- [17] 崔辉梅, 龚江, 樊新民, 等. 硼钼营养对胡萝卜生长及产量的影响[J]. 北方园艺, 2007(6): 9-13.
- [18] 王帆, 严红, 曲霞. 水分、光照与硼互作对大豆生长发育及产量的影响[J]. 大连大学学报, 2006(2): 22-26.
- [19] 付文进, 范宏迪, 杨艳, 等. 土壤有效硼状况与棉花不同生育时期硼含量的相关分析[J]. 中国土壤与肥料, 2007(1): 64-65.
- [20] 浦卫琼, 刘林, 郭俊, 等. 云南省毛叶枣病害的初步记述[J]. 云南农业大学学报, 2002, 17(4): 94-96.
- [21] 孟赐福, 姜培坤, 曹志洪, 等. 杨梅的硼素营养及施硼技术[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(6): 684-688.
- [22] 韦剑锋, 韦冬萍, 何燕文, 等. 喷施钙硼对龙眼叶片和果实矿质营养状况的影响[J]. 西南农业学报, 2007, 20(1): 77-80.
- [23] 林莉, 苏淑钗. 板栗矿质营养与施肥研究进展[J]. 北京农学院学报, 2004, 19(1): 73-76.
- [24] 郝庆, 杨波, 车玉红, 等. 硼和赤霉素对提高色买提杏座果率和果实品质的初步研究[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(5): 571-574.

(上接第6650页)

of the borate-rhamno galactur on an complex in cell walls of radish roots[C]// BELLER W, REERKASEMB. Boron soils and plants. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1997: 243-249.

- [12] 王利红, 徐芳森, 王运华, 等. 硼钼锌配合对甘蓝型油菜产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 318-323.
- [13] 梁和, 马国瑞, 石伟勇, 等. 钙硼营养与果实生理及耐贮性研究进展[J]. 土壤通报, 2000, 31(4): 187-192.
- [14] 王群瑛, 胡昌浩, 王振林, 等. 微量元素亏缺对玉米叶绿体结构及功能的影响[J]. 中国农业科学, 1992, 25(1): 32-36.
- [15] 韦剑锋, 梁和, 韦冬萍, 等. 钙硼营养对龙眼糖积累及果实发育的影响[J]. 西南农业学报, 2006, 19(6): 167-171.
- [16] 杜应琼, 廖新荣, 黄志尧, 等. 硼钼对花生氮代谢的影响[J]. 作物学报, 2001, 27(5): 612-616.
- [17] 崔辉梅, 龚江, 樊新民, 等. 硼钼营养对胡萝卜生长及产量的影响[J]. 北方园艺, 2007(6): 9-13.