

# 增施矿质营养对烟草青枯病的控病效果及其作用机理

郑世燕, 丁伟, 杜根平, 杨亮, 刘晓姣, 张永强

(西南大学植物保护学院, 重庆 400716)

**摘要:**【目的】研究增施 Ca、Mo 等矿质元素对烟草青枯病的控病效果及其对烟株体内防御酶系活性的影响, 并探讨其作用机理; 从控病效果、生理生化调控途径方面明确供试矿质元素中与控制烟草青枯病发生最相关的矿质营养。【方法】采用室内与田间验证相结合的方式, 选择性地给烟草根外增施 Ca、B、Mg、Mo 4 种矿质营养, 进行多重复小区试验; 通过调查以叶面喷雾方式根外增施 4 种中微量元素后, 烟草青枯病在室内和田间的发病情况, 测定室内喷施 4 种元素后烟株体内防御酶系指标的变化、4 种元素对青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*) 的直接抑菌作用以及处理后烟草田间各农艺性状指标的变化情况, 统计分析比较不同元素对烟草青枯病的控病效果及对烟株体内防御酶的调控作用。【结果】室内试验结果表明, 在保证烟株正常生长营养的基础上增施 Ca、B、Mg、Mo 4 种矿质元素对烟草青枯病均有一定的控病效果, Mo 处理最好, 其次为 Ca 处理, 两者对烟草青枯病的发生均具有一定的推迟、延缓发病作用, 病程进展曲线下面积 (AUDPC) 显著低于其余处理, 分别比对照低 300.00、244.44 (基于发病率) 和 380.56、352.78 (基于病情指数)。Mo、Ca 处理对青枯病菌具有一定的直接抑制作用, 处理 24 h 后抑菌率最高, 分别为 35.93%、33.13%; 对青枯病的室内最终控病效果分别为 64.79%、57.67%; 两处理均可显著提高感染青枯病烟株体内 POD、CAT、SOD、PPO、PAL 活性, 分别比对照处理增加 3.11、1.10、0.82、1.68、0.60 倍和 1.26、0.73、0.90、1.00、0.32 倍; 并可显著降低 MDA 的含量, 分别降低 0.50 和 0.26 倍。田间试验结果表明, 在烟草上增施 Ca、B、Mg、Mo 4 种矿质元素, 对烟草青枯病均具有较好的控制作用, 以 Mo、Ca 处理最好, 两处理对青枯病的田间控病效果分别为 49.46%—65.52%、46.80%—57.40% (2011 年) 和 45.28%—62.17%、42.91%—62.57% (2012 年); 此外, 补充 Mo、Ca 矿质营养后烟草株高、最大叶宽、茎围、最大叶面积均显著高于对照处理, 对田间烟草的健康生长具有明显的促进作用。【结论】烟株的营养状况与其抗病性密切相关, 定期向烟株增施 Mo、Ca 营养可增强烟草对青枯病的防御能力并提高其抗青枯病的特性, 对烟草青枯病具有明显的控病作用; 这对植物病害-营养-控病模型的构建具有重要意义。

**关键词:** 钼素; 钙素; 矿质营养; 烟草; 青枯病; 抗病性; 控病效果; 防御酶系

## Control Efficacy and Action Mechanism of Mineral Nutrition on Tobacco Bacterial Wilt

ZHENG Shi-yan, DING Wei, DU Gen-ping, YANG Liang, LIU Xiao-jiao, ZHANG Yong-qiang

(College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400716)

**Abstract:** 【Objective】 The objective of this study is to research the effect of four kinds of mineral nutrition (Ca, B, Mg and Mo) on tobacco bacterial wilt and defense enzyme activities, and discuss their mechanisms of action. Furthermore, from the perspective of control efficacy and physiological and biochemical regulation ways, finding out the crucial element related to control tobacco bacterial wilt closely.【Method】 A plot experiment was carried out repeatedly by means of greenhouse experiment combined with field test. Adding application of Ca, B, Mg and Mo nutrition for tobacco plant were individually with spraying. Subsequently, a

收稿日期: 2013-09-05; 接受日期: 2013-11-28

基金项目: 中国烟草总公司重点项目 (110201202002)、中国烟草总公司重庆市公司重点项目 (NY 20130501070005)

联系方式: 郑世燕, Tel: 023-68250218; E-mail: zsy641576717@163.com. 通信作者丁伟, Tel: 023-68250953; E-mail: dwing818@163.com

comparison among control efficacies and defense enzymes activities of different treatments were carried out by investigating, detecting and analyzing the impact of different elements on occurrence of tobacco bacterial wilt, tobacco agronomical trait, direct inhibition and defense enzymes in tobacco plant. 【Result】 The greenhouse experiment results showed that, being on the basis of guaranteeing the basic nutrition, adding application of Ca, B, Mg and Mo all performed inhibition against tobacco bacterial wilt. However, the control efficacy of Mo treatment was significantly higher than others, followed by Ca nutrition, which were 64.79% and 57.67%, respectively. Besides, the areas under disease progress curve (AUDPC) of Mo and Ca treatments were significantly lower than others, which were 300.00, 244.44 (calculated with disease incidence) and 380.56, 352.78 (based on disease index) lower than control, respectively. Furthermore, there were direct inhibitions for Mo and Ca against *Ralstonia solanacearum*, the highest rate of which was 35.93% and 33.13% individually after treating 24 h. Additionally, Mo and Ca nutrition dramatically increased POD, CAT, SOD, PPO and PAL activities, and decreased MDA level in infected tobacco plant. Compared with the control treatment, which raised 3.11, 1.10, 0.82, 1.68 and 0.60 times, and 1.26, 0.73, 0.90, 1.00 and 0.32 times in turn, reduced 0.50 and 0.26 times, respectively. Moreover, the field experiments results showed that, supplying with Ca, B, Mg and Mo to tobacco plant, which were cultivated in tobacco-growing soil existing nutrition unbalance, tobacco bacterial wilt was controlled effectively. And the field control effects of Mo and Ca treatments were higher than any others, which were 49.46%-65.52%, 46.80%-57.40% (2011) and 45.28%-62.17%, 42.91%-62.57% (2012), respectively. What's more, in terms of tobacco agronomical characteristics, Mo and Ca nutrition showed distinctly acceleration in the field, particularly plant height, width and area of maximum leaf and stem diameter. 【Conclusion】 The condition of tobacco nutrient level is closely related to its resistance. Replenishing tobacco with Mo and Ca nutrition regularly will benefit to enhance the defense ability of tobacco against bacterial wilt, and improve tobacco resistance to bacterial wilt. Besides, there is an obvious control effect against tobacco bacterial wilt. Furthermore, the above results would play an increasingly important role in the construction of nutrition-disease resistance model on plant diseases.

**Key words:** molybdenum; calcium; mineral nutrition; tobacco; bacterial wilt; resistance; control efficacy; defense enzymes

## 0 引言

【研究意义】茄科类青枯病（病原菌为 *Ralstonia solanacearum*）是目前世界范围内分布最广、危害最重、造成损失最大的毁灭性土传病害之一，其寄主、致病力、发病条件日趋多样化，并已有向高纬度、高海拔冷凉地区逐步蔓延的趋势<sup>[1-3]</sup>。针对该病的防控，从抗病育种、改善耕作制度、生物或药剂防治等方面已开展了大量研究，但至今仍无理想的防控措施；该病已成为茄科类作物生产可持续发展的主要瓶颈<sup>[4-6]</sup>。对此，探索出绿色、高效、环保、可行的青枯病防控措施迫在眉睫。【前人研究进展】迄今为止，关于营养与青枯病关系方面的研究很多，但其主要集中在有机肥或有机土壤改良剂方面，单从某种或几种矿质元素与青枯病发生关系的研究相对较少。从矿质元素方面对青枯病防控开展研究所涉及的植物有番茄、天竺葵、生姜，其中以番茄为供试对象的研究最为普遍；研究的矿质元素有硅、钙、磷、氮等，其中关于硅和钙与青枯病关系的研究相对较多，且主要集中于国外，国内关于这一领域的报道甚少。Doannon 等研究硅营养与番茄青枯病的关系后指出，增加硅营养可明显降低番茄青枯病的发病率、病情指数，诱导番茄对青枯病产生抗病特性<sup>[7-10]</sup>。Yamazaki 等研究钙营养与番茄

青枯病的关系结果表明，增加钙营养具有降低番茄青枯病病情指数的作用，且在抗病品种上表现更明显<sup>[11-15]</sup>。Jiang 等<sup>[6]</sup>研究钙营养对由青枯雷尔氏菌引起的番茄青枯病的影响及其抗性机制的调控指出，0.5、5.0、20 mmol·L<sup>-1</sup> 钙浓度处理病害严重度分别为 100%、77.1%和 56.8%；高钙浓度处理番茄苗的高、茎粗、生物量显著好于生长在低钙浓度中的番茄苗；且钙调控番茄植株中过氧化氢的含量以及过氧化物酶和多酚氧化酶的活性。Norman 等<sup>[16]</sup>研究亚磷酸（H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub>）与青枯病的关系结果表明，H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub> 灌根可有效阻止青枯雷尔氏菌 1、3 生理小种侵染天竺葵，且含钾盐的 H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub> 效果更好，而其他含磷产品（P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>）没有此作用。【本研究切入点】目前，中国大部分植烟区（尤其是西南地区）长期连作已导致植烟土壤营养、微生物、酸碱度等严重失衡，以及烟草部分必需矿质营养不足，这可能是植烟区烟草青枯病严重发生的主要原因<sup>[17]</sup>。笔者通过分析烟株根际营养与青枯病发生的关系已发现根际土壤部分元素的不足或过量与烟草青枯病的发生密切相关（另文发表）。【拟解决的关键问题】立足于作物健康栽培的理念，从营养-病理学角度出发，探讨营养调控措施防控烟草青枯病的可行性，明确与烟草青枯病发生最相关的营养因子，并从植物防御相关酶角度探索其作用机理，以期从增强作物

自身抗病性层面解决茄科类青枯病防控难题提供可靠的理论与实践依据。

## 1 材料与方法

室内试验于 2011—2012 年在西南大学植物保护学院完成。

### 1.1 供试材料

1.1.1 室内试验 供试烟草品种为云烟 97(云南省玉溪中烟种子有限责任公司), 低抗烟草青枯病菌。试验所用烟苗统一采用烟草漂浮育苗专用基质(湖南省湘晖农业技术开发有限公司), 在昼夜温度为 26/20℃, 相对湿度 60%, 昼夜光照时间为 14 h/10 h 的温室条件下培育。供试青枯病菌(下文简称 *Rs*)由笔者实验室从采自重庆市黔江区新华乡的烟株病残体上分离、鉴定所得。试验用菌液浓度(约为  $10^7$  cfu/mL)通过上海昕瑞仪器仪表有限公司 WGZ-2-XJ 细菌浊度计确定。试验所用培养液参考文献[8]配制, 试验过程中, 在喷施 4 种供试元素后, 各处理采用相关的盐溶液代替相应的营养, 每周浇灌两次。

供试营养元素: 硝酸钙( $\text{CaN}_2\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )、硼砂( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )、硫酸镁( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )、钼酸铵( $(\text{NH}_4)_6\text{MoO}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )等均为分析纯(AR), 试验过程中采用超纯水将其溶解到相应浓度。

抑菌试验所用的青枯病菌菌种、浓度以及营养元素溶液均与室内盆栽试验一致。试验所用 NB 培养基根据 HB/NY/T 1156.16-2008 进行配制。

1.1.2 田间试验 试验地基本情况: 试验于 2011、2012 年在重庆市黔江区新华乡大田村进行, 面积 1 000  $\text{m}^2$ , 为多年青枯病发病严重地块, 海拔 750 m。经度  $108^\circ 36' \text{E}$ , 纬度  $29^\circ 19' \text{N}$ 。地势较平坦, 黄壤, pH 5.03, 碱解氮  $98.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $45.64 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $103.88 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有机质  $18.68 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 交换性钙  $1371.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 交换性镁  $310.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效硼  $0.101 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效钼  $0.073 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。有灌溉条件, 光照条件较好。冬耕冬炕, 深耕细耙, 土壤均匀疏松, 垄高 30 cm, 垄体饱满, 行株距为  $120 \text{ cm} \times 55 \text{ cm}$ 。

试验地栽培情况: 供试烤烟品种为云烟 97(2011 年)、云烟 87(2012 年), 试验所用烟苗均采用漂浮育苗, 各小区均按相关技术标准进行统一大田管理, 移栽前施用烟草专用肥, 中心花开放打顶, 用 12.5% 氟节胺 EC 抑芽剂控制腋芽。2011 年移栽时间为 5 月 8 日, 6 月 30 日第 1 次打顶, 7 月 13 日第 1 次采烤; 2012 年移栽时间为 5 月 8 日, 7 月 9 日打顶, 7 月 15

日第 1 次采烤。

试验所用 4 种营养元素同室内盆栽试验。

### 1.2 试验方法

1.2.1 增施 Ca、B、Mg、Mo 4 种元素对烟草青枯病控病效果及其生理生化机理的室内测定 试验共设 5 个处理, 每处理 36 株烟苗。处理 1: Ca 处理, 全株均匀喷施 0.2% (w/v, 下同)  $\text{CaN}_2\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  溶液; 处理 2: B 处理, 全株均匀喷施 0.2%  $\text{H}_3\text{BO}_3$  溶液; 处理 3: Mg 处理, 全株均匀喷施 1.0%  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  溶液; 处理 4: Mo 处理, 全株均匀喷施 0.2%  $(\text{NH}_4)_6\text{MoO}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  溶液; 处理 5: 对照(CK), 全株均匀喷施超纯水。叶面喷施不同浓度的营养元素 7 d 后采用伤根灌液法接种青枯病菌, 接种浓度均为  $6.06 \times 10^7$  cfu/mL, 20 mL/株。接种处理后的烟苗放置于昼夜温度为 30/27℃、相对湿度 85%—90%、光周期 14 h/10 h 的室温进行培养。整个试验重复 3 次。

室内病情调查: 烟草幼苗接种青枯病菌后, 每天观察烟草植株生长情况。待发现有烟草植株开始出现明显的青枯病萎蔫症状之后, 每天同一时间调查记录烟株发病情况(参考 CORESTA 方法)[18], 直至 CK 处理所有供试烟株基本枯死时结束, 并按公式(1)、(2)、(3)、(4)计算发病率、病情指数、控病效果和病程进展曲线下面积(AUDPC)。

室内烟苗青枯病病情分级标准(以株为单位): 0 级: 烟苗无发病症状; 1 级: 1—2 片叶片半萎蔫, 或茎部褪绿条斑占株高 1/3 以下; 2 级: 2—3 片叶片萎蔫, 或茎部褪绿条斑在 1/3—1/2 株高; 3 级: 健叶 1—2 片, 或茎部褪绿条斑在 1/2—2/3 株高处; 4 级: 烟株无健叶, 基本枯死, 或茎部褪绿条斑超过 2/3 株高。

烟株发病率、病情指数、控病效果、病程进展曲线下面积(AUDPC)计算方法:

$$\text{发病率}(\%) = \frac{\text{病株数}}{\text{调查株数}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{发病株数} \times \text{该病级代表值})}{\text{调查总株数} \times \text{最高级代表值}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{控病效果}(\%) = \frac{(\text{对照病情指数} - \text{处理病情指数})}{\text{对照病情指数}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{病程进展曲线下面积(AUDPC)} = \sum[(x_i + x_{i-1})/2] (t_i - t_{i-1}) \quad (4)$$

公式(4)中  $x_i$  和  $x_{i-1}$  代表病情指数或发病率,

$t_i$  和  $t_{i-1}$  代表后一次调查与前一次调查相差的时间间隔 (本文为 2) [7]。

防御酶系、丙二醛的测定: 在室内烟草青枯病发病初期 (接种处理后 4—6 d 左右), 随机取 3 盆烟苗, 取其从上往下数第 3 片真叶作为待测鲜样品, 将其洗净后用于过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD)、多酚氧化酶 (PPO)、苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 和丙二醛 (MDA) 活性的测定。

参考文献[19-21], POD 采用愈创木酚氧化法, 以在 470 nm 处的 OD<sub>470</sub> 值每分钟增加 0.01 为 1 个酶活性单位 (U); CAT 以每分钟 OD<sub>240</sub> 值减少 0.01 为 1 个酶活性单位; SOD 以抑制 NBT 光滑还原 50% 为 1 个酶活性单位; PPO 以每分钟 OD<sub>398</sub> 值增加 0.01 为 1 个酶活性单位; PAL 以每小时 OD<sub>290</sub> 增加 0.01 为 1 个酶活性单位; MDA 采用硫代巴比妥酸 (TBA) 比色法。

1.2.2 Ca、B、Mg、Mo 4 种元素对青枯病菌抑菌效果的测定 抑菌试验共设 5 个处理, 各处理 3 次重复, 不同处理浓度、顺序均与室内盆栽试验一致。抑菌试验具体步骤按照 HB/NY/T 1156.16-2008 进行。

青枯病菌生长量测定: 根据 HB/NY/T 1156.16-2008, 开始培养前用 WGZ-2-XJ 细菌浊度计分别测定各处理的浑浊度, 待各处理分别培养 24、48 h 后再测定并记载各处理的浑浊度, 根据公式 (5) 计算抑菌率。

抑菌率 (%) = (空白对照浑浊度增加值 - 元素处理浑浊度增加值) / 空白对照浑浊度增加值 × 100 (5)

1.2.3 增施 Ca、B、Mg、Mo 4 种元素对烟草青枯病田间控病效果的测定 共设 5 个处理, 各处理 3 次重复, 共 15 个小区, 每小区 100 株, 田间随机区组排列, 四周设有保护行。试验中 5 个处理的浓度、顺序同室内盆栽试验, 处理时间均为烟苗成活后 (移栽后 14 d)、团棵期 (零星发病时, 移栽后 45 d)、旺长期 (移栽后 55 d), 全株均匀喷施相应的营养元素溶液, 整个烟草生育期共处理 3 次。

烟草青枯病发病情况调查: 根据 GB/23222-2008 国家标准, 采用 5 点取样方法, 每点固定调查 10 株, 在烟草青枯病零星发生时 (团棵期初期), 调查各处理小区青枯病发病情况, 以后每隔 5—10 d 调查一次, 并根据公式 (1)、(2)、(3) 分别计算各处理发病率、病情指数和相对防效。

烟草农艺性状测定: 根据 HB/YC/T142-1998, 标准每小区取 5 点, 每点调查 3 株, 在打顶后 7 d 调查并记载各处理烟株株高、最大叶长、最大叶宽、茎围、

有效叶片数等农艺指标, 并计算最大叶面积。

### 1.3 数据分析

采用 Excel 2003 对试验数据进行基本处理, 计算出发病率、病情指数以及控病效果; 采用 SPSS 16.0 统计软件 Duncan 法比较分析相关数据在  $P \leq 0.05$  时的差异。

## 2 结果

### 2.1 增施 Ca、B、Mg、Mo 4 种元素后烟草青枯病的室内发病情况及其控病效果

2.1.1 对烟草青枯病室内发病情况的影响 4 种微量元素对烟草青枯病室内发病情况的影响存在显著差异 (图 1)。对照处理青枯病发病最重, 在接种后第 10 天, 发病率达到 100%, 病情指数为 81.94, 其发病率仅与 Ca、Mo 处理存在显著差异, 病情指数与 4 种元素处理差异均显著。Mo 处理青枯病发病最轻, 其次为 Ca 处理; 两处理病程进展曲线下的面积分别比对照低 300.00、244.44 (基于发病率, DI) 和 380.56、352.78 (基于病情指数, DS)。此外, 从图 1 可明显看出, 在一定程度上, 叶面补充 4 种矿质营养均可有效减轻室内烟草青枯病发生的严重度, 尤其是 Mo、Ca 营养, 不仅可推迟青枯病的发生, 而且可有效缓解烟草青枯病的蔓延和病情的加重。说明叶面补充这 4 种元素均可不同程度地增强烟草对青枯病的抗性, 以叶面补充 Mo、Ca 效果最明显。

2.1.2 对烟草青枯病的室内控病效果 根外增施 4 种烟草必需矿质营养对室内烟草青枯病的发生均有一定的控制作用 (图 2), Mo 处理最好, 其次为 Ca 处理; B、Mg 处理对室内烟草青枯病的控病效果不显著。在接种后第 14 天 (对照处理烟株基本枯死), Mo、Ca 处理对室内烟草青枯病的控病效果分别为 64.79% 和 57.67%, 分别比 B、Mg 处理高 29.58%、29.52% 和 22.46%、22.40%。

### 2.2 Ca、B、Mg、Mo 4 种元素对青枯病菌生长量的影响

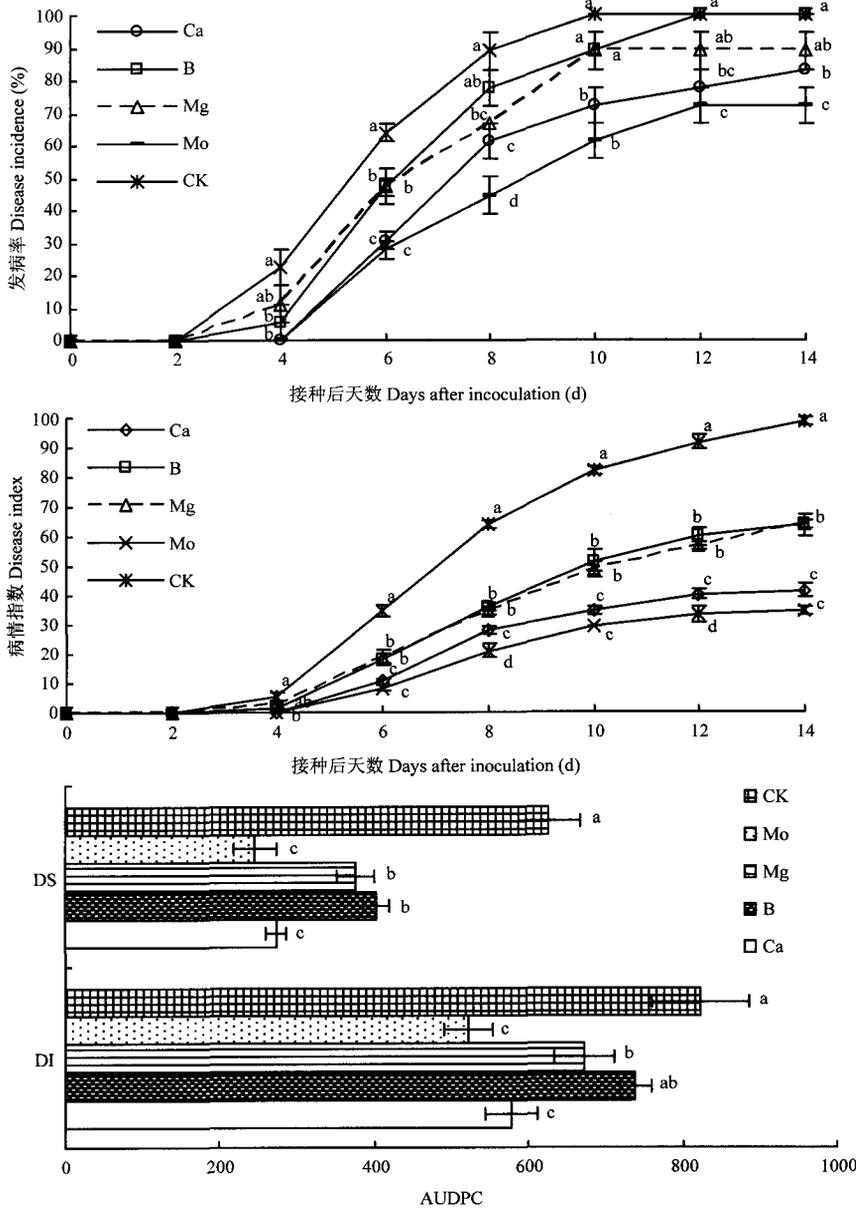
4 种供试元素对青枯病菌均存在一定的抑制作用, 且相互间存在显著差异; 培养 48 h 后培养基中青枯病菌的数量显著高于培养 24 h 的。培养 24 h 后不同处理对青枯病菌的抑菌率以 Mo 处理最高 (35.93%), 其次为 Ca 处理 (33.13%), 两者差异不显著; 培养 48 h 后, Ca 处理对青枯病菌的抑菌效果最高 (16.93%), 其次为 Mo 处理 (13.52%), 两者差异显著 (图 3)。

### 2.3 Ca、B、Mg、Mo 4 种元素对接菌后烟草叶片中部分防御酶活性的影响

叶面喷施 4 种供试元素后感染青枯病菌烟草体内 POD 活性均明显提高。其中 Mo 处理 POD 活性最高，比对照高 3.11 倍，与其他处理差异显著；Ca 处理 POD 活性比对照高 1.26 倍，与 B、Mg 及对照处理差异显

著；B、Mg 处理分别比对照高 1.09、1.12 倍，两处理间差异不显著，但两者与对照差异均显著（图 4-A）。

叶面补充 Ca、Mg、Mo 3 种矿质营养可显著提高感染青枯病菌烟草体内 CAT 活性，而 B 营养对烟草 CAT 的作用不明显。Mo 处理烟草 CAT 活性最高，比对照增加 1.10 倍，与其他处理差异显著；其次为 Ca、



误差线表示标准差 (n=3)；不同字母表示 P<0.05 水平下差异显著 (Duncan)。下同。DI、DS 分别代表基于青枯病发病率、病情指数计算出的病程进展曲线下的面积  
Error bars represented standard deviation (n=3); Different letters meant significant difference at 0.05 level by Duncan. The same as below. DI and DS represented the area under disease progress curve on the basis of incidence and index of tobacco bacterial wilt, respectively

图 1 不同处理对烟草青枯病室内发病情况的影响

Fig. 1 Effect of different treatments on occurrence of tobacco bacterial wilt in greenhouse experiment

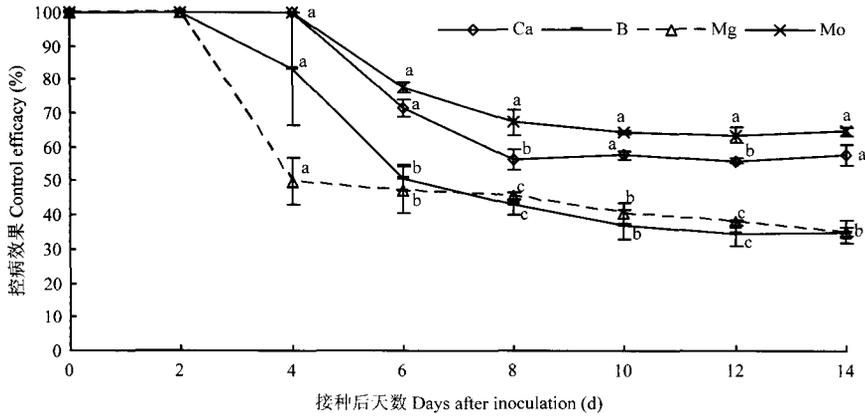


图 2 不同处理对烟草青枯病的室内控病效果比较

Fig. 2 Comparison of different treatments on the control efficacy against tobacco bacterial wilt in greenhouse experiment

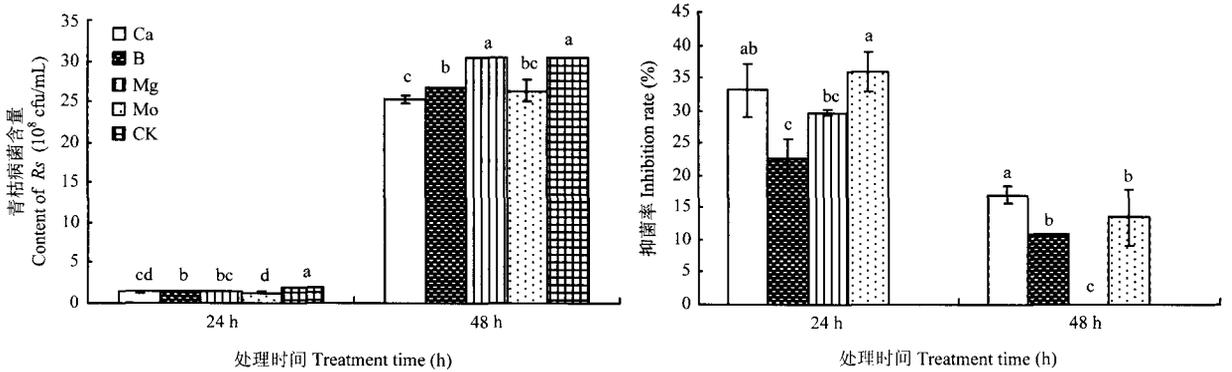


图 3 不同处理对青枯病菌生长量的影响

Fig. 3 Effect of different treatments on the reproduction of *R. solanacearum*

Mg 处理，分别比对照高 0.73、0.50 倍，两者差异显著；B 处理与对照差异不显著（图 4-B）。

4 种矿质营养可不同程度地促进感染青枯病菌烟草体内 SOD 的表达。Ca 营养处理 SOD 活性最高，其次为 Mo 处理，两者间差异不显著，分别比对照增加 0.90、0.82 倍，与其他处理差异显著；B、Mg 处理分别比对照高 0.43、0.24 倍，两两间差异显著（图 4-C）。

叶面喷施 Ca、B、Mo 可显著提高感染青枯病菌烟草体内 PPO 活性，Mg 营养处理效果不明显。Mo 处理 PPO 活性最高，比对照增加 1.68 倍，与其他处理差异显著；Ca、B 处理 PPO 活性比对照分别高 1.00、0.26 倍，两者间差异显著（图 4-D）。

补充 Ca、B、Mg、Mo 后，接种后烟草体内 PAL 活性均有一定程度的提高。对照处理烟草 PAL 活性最

低，与其他处理差异显著；Mo 处理 PAL 活性最高，比对照增加 0.60 倍，与其他处理差异显著；Ca、B 处理分别比对照增加 0.33、0.30 倍，两者间差异不显著，与其他处理差异显著；Mg 处理比对照高 0.19 倍，与对照差异显著（图 4-E）。

Ca、Mg、Mo 3 种元素处理后烟草体内 MDA 含量均明显低于对照处理，B 处理与对照差异不显著。Mo 处理 MDA 含量最低，比对照处理降低 0.50 倍，与其他处理差异显著；Ca、Mg 处理分别比对照低 0.26、0.13 倍，两者间差异显著（图 4-F）。

### 2.4 大田增施 Ca、B、Mg、Mo 4 种矿质营养对烟草青枯病的控病效果

2.4.1 对田间发病情况的影响 2011、2012 年，分别在田间青枯病发病初期（移栽后 45 d）、发病高峰

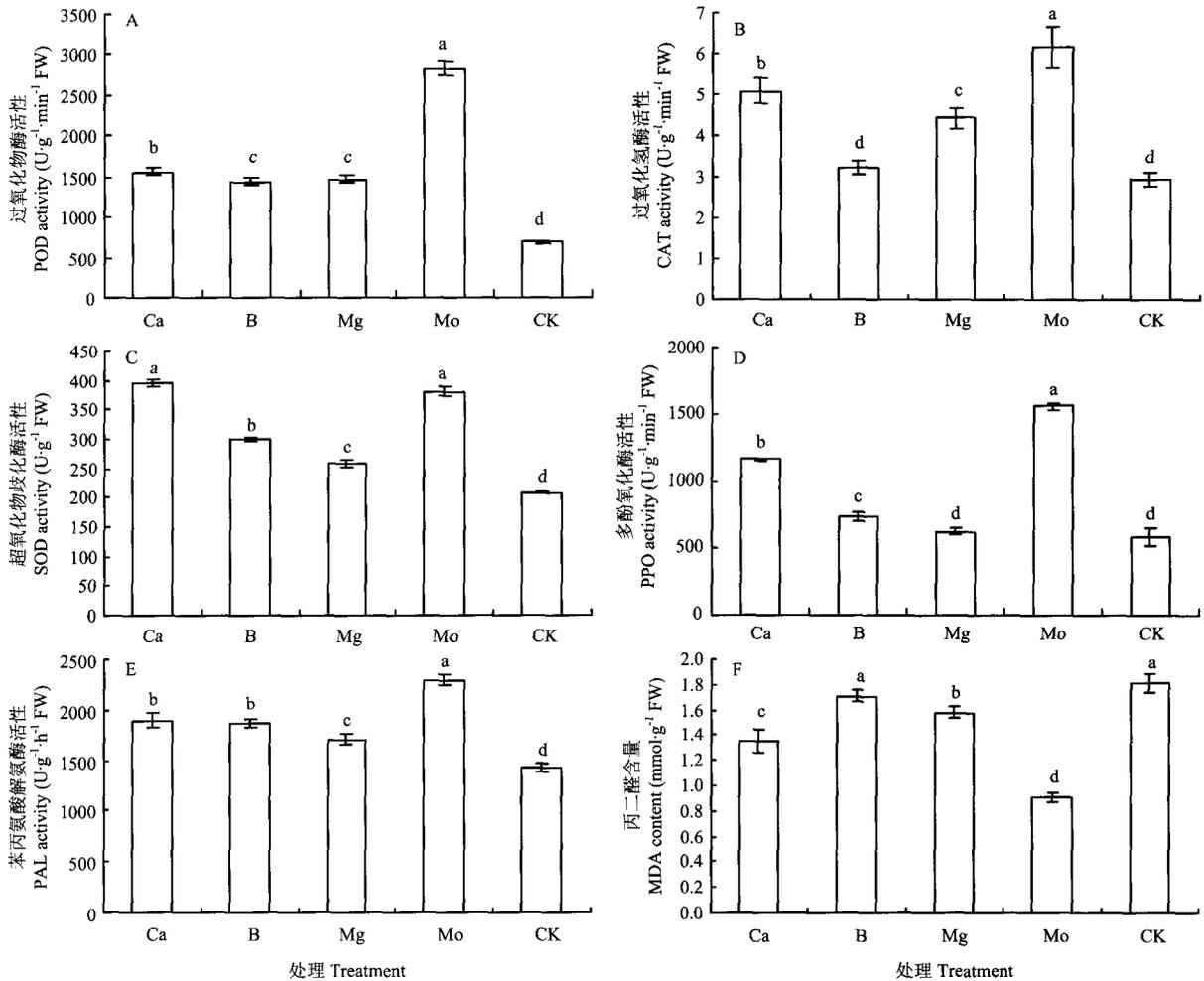


图 4 不同处理对感染青枯病烟株防御酶活性及丙二醛含量的影响

Fig. 4 Effect of different treatments on the defense enzyme activity and MDA content in infected tobacco plant

期（移栽后 70 d）、发病后期（移栽后 90 d）对处理区烟草青枯病发病情况进行调查，发现以叶面喷雾方式补充 4 种烟草必需矿质营养均可明显降低烟草青枯病的田间发病率和病情指数，不同处理间存在显著差异（图 5）。两年田间试验结果一致，对照青枯病发病最重，与其他处理差异显著；Mo 处理发病最轻，其次为 Ca 处理，两处理间差异不显著，但与 B、Mg 处理差异显著。

**2.4.2 田间控病效果** 根外增施 4 种矿质营养对烟草青枯病均有一定的控病效果，且相互间存在显著差异（图 6）。Mo 处理对青枯病的控病效果最高，其次为 Ca 处理，两者间 2011 年试验结果存在显著差异，但 2012 年试验结果不存在显著差异。试验期间，B、Mg 对烟草青枯病的控病效果相对比较稳定，相互间

差异不显著；4 种供试元素对烟草青枯病的最高控病效果分别为 57.40%、40.92%、38.75%、65.52%（2011 年），62.57%、43.05%、41.56%、62.17%（2012 年）；4 种供试元素对烟草青枯病的最低控病效果依次为 46.80%、37.97%、30.64%、49.46%（2011 年），42.91%、29.29%、22.17%、45.28%（2012 年）。

**2.4.3 农艺性状** 由于 2011、2012 年打顶时间不一致，所以农艺性状的测定时间不同。从表 1 中数据可明显看出，不同处理各农艺指标间存在显著差异。对比分析两年大田试验结果可知，各农艺指标变化趋势基本一致；对照处理各农艺指标最差，Ca、Mo 处理最好，其后依次为 Mg、B 处理；Ca、Mo 处理烟株株高、最大叶宽、茎围以及最大叶面积 4 个指标显著优于其他处理。

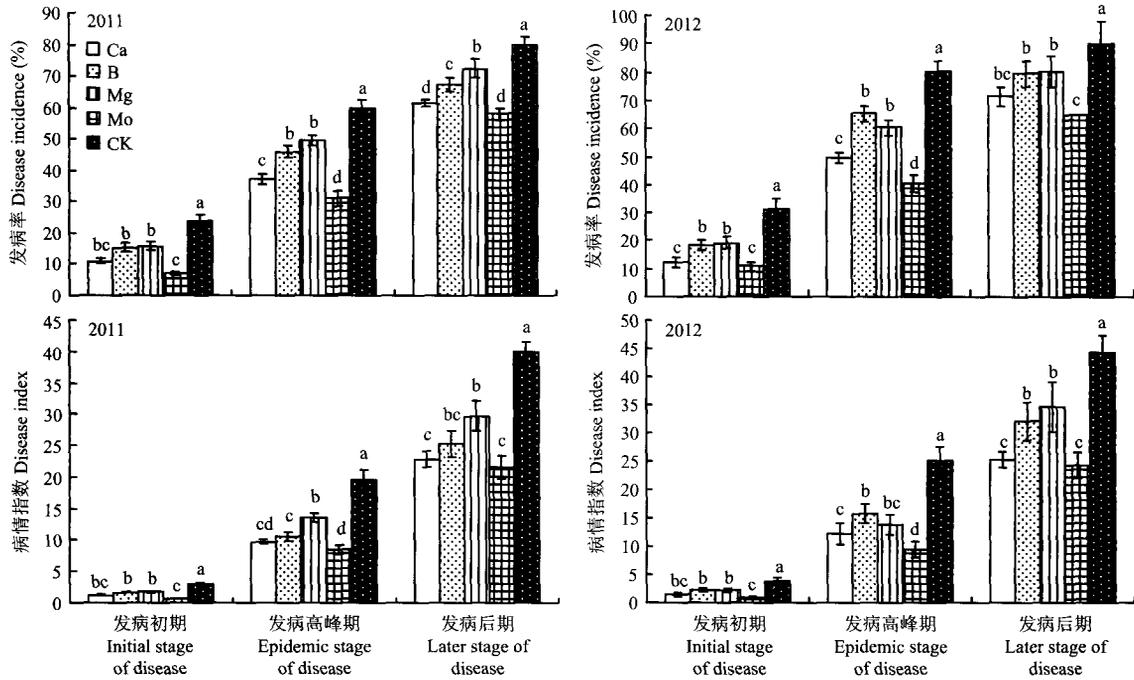


图 5 不同处理烟草青枯病田间发病情况的影响

Fig. 5 Comparison of different treatments on occurrence of tobacco bacterial wilt

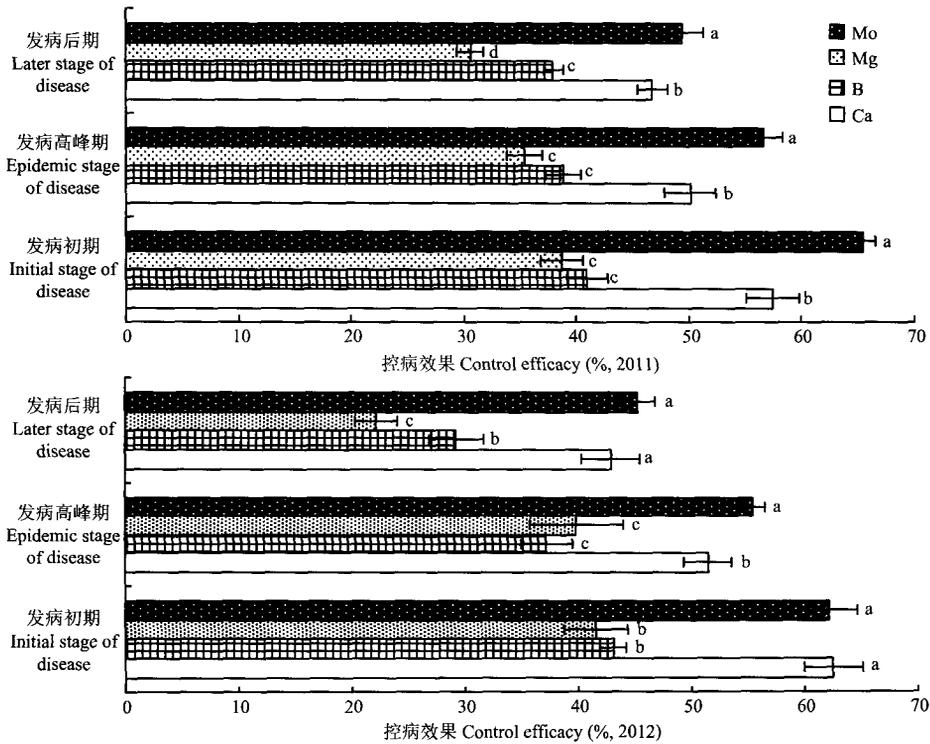


图 6 不同处理对烟草青枯病的田间控病效果比较

Fig. 6 Comparison of different treatments on the field control efficacy against tobacco bacterial wilt

表 1 不同处理对田间烟草农艺性状的影响

Table 1 Effect of different treatments on tobacco agronomical characters

年份 Year	处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	最大叶长 Length of maximum leaf (cm)	最大叶宽 Width of maximum leaf (cm)	茎围 Stem diameter (cm)	有效叶片数 Number of productive leaves	最大叶面积 Area of maximum leaf (cm <sup>2</sup> )
2011 (移栽后 65 d) (65 days after transplanting)	Ca	81.80±1.07a	69.20±0.74a	35.47±0.70a	7.51±0.05a	14.78±0.51a	1545.68±14.73a
	B	71.70±2.28c	67.43±0.46a	33.20±0.35c	7.22±0.14b	14.56±0.20ab	1409.92±16.81c
	Mg	77.08±1.33b	67.82±0.53a	34.44±0.40b	7.28±0.08b	14.78±0.77a	1471.47±14.87b
	Mo	82.35±0.98a	69.14±0.88a	35.80±0.29a	7.61±0.13a	15.08±0.14a	1558.93±20.82a
	CK	66.36±0.80d	63.61±1.70b	31.40±0.72d	6.54±0.14c	13.67±0.58b	1258.01±17.86d
2012 (移栽后 75 d) (75 days after transplanting)	Ca	92.39±0.84a	66.48±0.93a	27.92±0.33a	8.81±0.11a	18.27±0.31a	1169.12±2.13a
	B	85.03±0.83b	62.83±1.46bc	24.63±0.28b	8.31±0.05b	17.70±0.26a	974.60±12.26b
	Mg	84.66±0.51b	63.85±1.22b	24.61±0.30b	8.05±0.22b	18.23±0.25a	989.05±14.43b
	Mo	90.75±0.61a	66.10±1.07a	27.45±0.89a	8.99±0.08a	18.07±0.12a	1141.68±28.90a
	CK	78.87±1.09c	61.16±0.64c	23.56±0.44c	7.68±0.25c	17.03±0.47b	908.57±13.91c

### 3 讨论

植物的营养水平与其防卫机制密切相关，许多矿质营养对不同病原物侵染引起的本能防御反应都有着积极的影响；通过调节矿质营养这个重要的环境因子，可以影响寄主植物和病原物；但关于在病原菌存在条件下相关元素如何改善植物生长发育和降低病害严重度的机制尚不清楚<sup>[19,22]</sup>。Spann 等<sup>[23]</sup>研究指出，矿质营养增强植物抗病性的机制主要表现在促进植物细胞壁的加厚，进而形成对病原菌的机械阻隔以及促进植物本身防御机制的表达（主要是促进植物分泌或合成一些抗氧化剂、植保素、黄酮类物质等）两个方面。另有研究指出硅营养可降低番茄青枯病严重度的机制在于<sup>[4,7-9,24-25]</sup>，硅处理后可显著降低感病植株体内细菌的数量，诱导寄主植物细胞壁果胶多糖结构改变，可显著增加土壤脲酶和土壤酸性磷酸酶的活性；硅处理主要调节一些与寄主植物防御反应、信号转导以及转录相关的基因；其主要状态可能被乙烯、茉莉酸或活性氧的种类等信号途径调节。综上可知，矿质营养调节是控制植物病害发生的有效措施之一，是化学防治方法的补充；对于一些目前尚无较好化学防控措施的病害，调节矿质营养是值得探讨的一条新途径<sup>[19,26]</sup>。

本研究室室内试验结果表明，在保证烟株正常生长营养的基础上再增施 0.2% Mo 或 Ca 矿质营养可有效延缓烟草青枯病的发生，病程进展曲线下面积显著低于其他处理，对烟草青枯病的室内最终控病效果分别为 64.79% 和 57.67%；对青枯病菌具有一定的直接抑

制作用，最高抑菌率分别为 35.93%（培养 24 h）、33.13%（培养 24 h）；可显著提高感染青枯病烟株体内 POD、CAT、SOD、PPO、PAL 活性，并可显著降低 MDA 的含量；关于不同元素在烟草青枯病防控上的最佳用量还有待进一步研究。调控烟株 Mo、Ca 营养可较好地控制烟草青枯病的原因可能包括如下几个方面：（1）POD、CAT、SOD、PPO、PAL 以及 MDA 在植物抵抗病原物入侵过程中扮演着重要的角色，与植物体内一些抗氧化剂、植保素、黄酮类物质等的合成或分泌以及木质素的形成等密切相关<sup>[26-29]</sup>；（2）Ca 可以在胞间层形成多聚半乳糖醛酸钙，有助于提高细胞壁的稳定性和减少病原物的侵染；Ca 能有效抑制多聚半乳糖醛酸酶（与病原菌侵染植物组织有关）的活性，减少病原物的侵染机会，增强抗病力；Ca 营养可提高植物体内 SOD、POD 等多种酶的活性，从而间接影响植物的抗病性<sup>[19]</sup>。另有研究指出<sup>[6,11-15]</sup>，Ca 营养对番茄青枯病具有较好的控病效果；增加营养液中 Ca 浓度可减轻青枯病严重度，在抗病品种番茄苗上，同时还可减少茎秆上的菌量，这与本研究结果一致；在接种病原菌之前，细胞壁内的 Ca 不参与 Ca 的依赖抗性；高抗品种吸收更多的 Ca；番茄对青枯病的抗性显著地被寄主的 Ca 营养状况影响，Ca 浓度越高，青枯病发病越轻；在一定范围内，高浓度 Ca 处理番茄植株体内 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的含量、POD 和 PPO 的活性越高，对番茄青枯病的控病效果越好。Mo 主要存在于韧皮部和维管束薄壁组织中，可以在韧皮部内转移，是硝酸还原酶的必需成分，也是固氮酶中的钼铁蛋白的组

分; Mo 在植物氮代谢中起重要作用, 能提高 POD、CAT、PPO 及抗坏血酸酶的活性, 提高植物抵抗病害的能力<sup>[30-32]</sup>; 另有研究指出<sup>[28]</sup>, Mo 可能对部分植物病害发生的严重度存在一定的影响, Mo 在植物体内的可用性可能对 K-N 平衡和营养利用率有影响, 关于 Mo 影响植物青枯病的作用机理还有待进一步研究。综上可知, Mo、Ca 营养与烟草抗青枯病之间一定存在着相互关系, 摸清病原物、寄主植物与 Mo 或 Ca 营养三者之间的关系对从营养调控方面着手解决茄科类植物青枯病防控问题具有重要意义。

本研究两年田间试验结果表明, 在烟草上补充 Mo、Ca 矿质元素, 对烟草青枯病均具有较好的控制作用。通过测定、分析采自重庆黔江植烟区的 177 份烟株根际土壤样品营养状况已发现, 随着植烟土壤的不断连作, 土壤酸化、根际营养失衡等连作障碍问题越严重; 健康烟株根际土壤中交换性钙、有效硼、有效钼等矿质营养的含量显著低于青枯病发病烟株根际土壤; 土壤中有有效钼、交换性钙的含量可能是影响青枯病发生最关键的土壤营养因子。本研究通过在青枯病发病重的烟田的烟株上喷施 Mo、Ca 可达到补充这两种元素的目的, 对发病较重区域提供了一个重要的防控措施。

已有研究表明 Mo 对烟草的氮素营养及提高烟叶中叶绿素含量和稳定性、增强光合作用、促进碳水化合物合成转移起着重要作用; 能增大株高、单叶重及叶面积系数, 促进总糖、蛋白质及氮合成, 糖碱比协调性较好, 提高香气质量, 改善烟叶香吃味; Ca 在植株生长、干物质产量方面扮演着重要的角色<sup>[33-36]</sup>。本研究也证实 Mo、Ca 营养对烟草株高、最大叶宽、茎围、最大叶面积等农艺指标均具有积极的效应。

## 4 结论

0.2% (w/v)  $(\text{NH}_4)_6\text{MoO}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$  对青枯病菌具有抑制作用, 对烟草青枯病具有较好的控病效果。叶面喷施 Mo、Ca 矿质营养可明显增强烟草的防御酶系、巩固其防御机制、提高烟株的抗病性, 显著降低烟草青枯病的发病率和病情指数, 有效延缓青枯病的发生; 同时也有利于优化烟草株高、最大叶宽、茎围、最大叶面积等农艺指标。针对一些难以防控的土传病害, 尤其是植物青枯病, 营养调控措施是一条值得探究的途径, 建议在今后的烤烟生产中, 注重 Mo、Ca 肥的施用, 若再辅以一些调控田间小气候 (主要是温度和湿度) 的措施, 对烟草青枯病的控病效果更明显。

## References

- [1] Peeters N, Guidot A, Vaillieu F, Valls M. *Ralstonia solanacearum*, a widespread bacterial plant pathogen in the post-genomic era. *Molecular Plant Pathology*, 2013, 14(6): 1-12.
- [2] Álvarez B, Biosca E G, López M M. On the life of *Ralstonia solanacearum*, a destructive bacterial plant pathogen. *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, 2010, 1: 267-279.
- [3] 李林章, 谢从华, 柳俊. 茄科雷尔氏菌 (*Ralstonia solanacearum*) 分子生物学基础及其致病机制. *中国马铃薯*, 2005, 19(5): 290-294.  
Li L Z, Xie C H, Liu J. The molecular biology foundation and pathogenic mechanism of Solanaceae *Ralstonia solanacearum*. *Chinese Potato*, 2005, 19(5): 290-294. (in Chinese)
- [4] Ghareeb H, Bozsó Z, Ott P G, Repenning C, Stahl F, Wydra K. Transcriptome of silicon-induced resistance against *Ralstonia solanacearum* in the silicon non-accumulator tomato implicates priming effect. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2011, 75(3): 83-89.
- [5] Seo S, Gomi K, Kaku H, Abe H, Seto H, Nakatsu S, Neya M, Kobayashi M, Nakaho K, Ichinose Y, Mitsuura I, Ohashi Y. Identification of natural diterpenes that inhibit bacterial wilt disease in tobacco, tomato and *Arabidopsis*. *Plant and Cell Physiology*, 2012, 53(8): 1432-1444.
- [6] Jiang J F, Li J G, Dong Y H. Effect of calcium nutrition on resistance of tomato against bacterial wilt induced by *Ralstonia solanacearum*. *European Journal of Plant Pathology*, 2013, 136: 547-555.
- [7] Dannon E A, Wydra K. Interaction between silicon amendment, bacterial wilt development and phenotype of *Ralstonia solanacearum* in tomato genotypes. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2004, 64(5): 233-243.
- [8] Diogo R V C, Wydra K. Silicon-induced basal resistance in tomato against *Ralstonia solanacearum* is related to modification of pectic cell wall polysaccharide structure. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2007, 70: 120-129.
- [9] Wang L, Cai K, Chen Y, Wang G. Silicon-mediated tomato resistance against *Ralstonia solanacearum* is associated with modification of soil microbial community structure and activity. *Biological Trace Element Research*, 2013, 152: 275-283.
- [10] Kiiirika L M, Stahl F, Wydra K. Phenotypic and molecular characterization of resistance induction by single and combined application of chitosan and silicon in tomato against *Ralstonia solanacearum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2013, 81: 1-12.

- [11] Yamazaki H, Hoshina T. Calcium nutrition affects resistance of tomato seedlings to bacterial wilt. *HortScience*, 1995, 30(1): 91-93.
- [12] Yamazaki H, Kikuchi S, Hoshina T, Kimura T. Effect of calcium concentration in nutrient solution before and after inoculation with *Ralstonia solanacearum* on resistance of tomato seedlings to bacterial wilt. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1999, 45(4): 1009-1014.
- [13] Yamazaki H, Kikuchi S, Hoshina T, Kimura T. Calcium uptake and resistance to bacterial wilt of mutually grafted tomato seedlings. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2000, 46(2): 529-534.
- [14] Yamazaki H, Kikuchi S, Hoshina T, Kimura T. Effect of calcium concentration in nutrient solution on development of bacterial wilt and population of its pathogen *Ralstonia solanacearum* in grafted tomato seedlings. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2000, 46(2): 535-539.
- [15] Yamazaki H. Relation between resistance to bacterial wilt and calcium nutrition in tomato seedlings. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 2001, 35(3): 163-169.
- [16] Norman D J, Chen J, Yuen J M F, Mangravita-Novo A, Byrned D, Walsh L. Control of bacterial wilt of geranium with phosphorous acid. *Plant Disease*, 2006, 90(6): 798-802.
- [17] 刘添毅, 黄一兰, 王雪仁, 林建麒. 烟区土壤改良技术措施研究. *中国烟草科学*, 2006(3): 10-15.
- Liu T Y, Huang Y L, Wang X R, Lin J L. Studies on techniques for soil improvement in Sanming tobacco planting area. *Chinese Tobacco Science*, 2006(3): 10-15. (in Chinese)
- [18] 刘勇, 陈学军, 李文正, 许文, 李梅云, 徐照丽, 卢秀萍, 李永平. 一种烟草青枯病抗性的苗期鉴定方法. 中国, 200910094174.8 [P]. 2009-08-05.
- Liu Y, Chen X J, Li W Z, Xu W, Li M Y, Xu Z L, Lu X P, Li Y P. A seedling stage identification method of tobacco against bacterial wilt. China, 200910094174.8 [P]. 2009-08-05. (in Chinese)
- [19] 李鑫. 矿质元素调控烟草抗 PVY<sup>N</sup> 生理生化及分子机制研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009: 51-55.
- Li X. The physiological, biochemical and molecular mechanism of mineral elements regulating tobacco resistant to PVY<sup>N</sup> [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2009: 51-55. (in Chinese)
- [20] 李忠光, 李江鸿, 杜朝昆, 黄号栋, 龚明. 在单一提取系统中同时测定五种植物抗氧化酶. *云南师范大学学报*, 2002, 22(6): 44-48.
- Li Z G, Li J H, Du C K, Huang H D, Gong M. Simultaneous measurement of five antioxidant enzyme activities using a single extraction system. *Journal of Yunnan Normal University*, 2002, 22(6): 44-48. (in Chinese)
- [21] 高俊凤. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- Gao J F. *Experiment Guide of Plant Physiology*. Beijing: Higher Education Press, 2006. (in Chinese)
- [22] Garcia-Mina J M. Plant nutrition and defense mechanism: frontier knowledge//Srivastava A K. *Advances in Citrus Nutrition*. Soil Science, National Research Centre for Citrus, 2012: 1-12.
- [23] Spann T M, Schunmann A W. Mineral nutrition contributes to plant disease and pest resistance. <http://edis.ifas.ufl.edu>, 2010: 1-5.
- [24] Kurabachew H, Stahl F, Wydra K. Global gene expression of rhizobacteria-silicon mediated induced systemic resistance in tomato (*Solanum lycopersicum*) against *Ralstonia solanacearum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2013, 84: 44-52.
- [25] Ayana G, Fininsa C, Ahmed S, Wydra K. Effects of soil amendment on bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* and tomato yields in Ethiopia. *Journal of Plant Protection Research*, 2011, 51(1): 72-76.
- [26] H·马斯纳. 高等植物的矿质营养. 北京: 北京农业大学出版社, 1988.
- Marschner H. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1988. (in Chinese)
- [27] 刘菲. 核黄素激活烟草方位反应和诱导对两种土传病害的抗病性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009: 7.
- Liu F. Riboflavin elicits defense responses in tobacco and induces protection against two soil-borne pathogens[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2009: 7. (in Chinese)
- [28] 萧浪涛, 王三根. 植物生理学实验技术. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- Xiao L T, Wang S G. *Experimental Technology of Plant Physiology*. Beijing: China Agriculture Press, 2005. (in Chinese)
- [29] 丁传雨, 乔焕英, 沈其荣, 冉炜, 陈巍. 生物有机肥对茄子青枯病的防治及其机理探讨. *中国农业科学*, 2012, 45(2): 239-245.
- Ding C Y, Qiao H Y, Shen Q R, Ran W, Chen W. Control effect and action mechanism research of bio-organic fertilizer on eggplant bacterial wilt. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(2): 239-245. (in Chinese)
- [30] 徐根娣, 刘鹏, 任玲玲. 钼在植物体内生理功能的研究综述. *浙江师大学报: 自然科学版*, 2001, 24(3): 292-297.
- Xu G D, Liu P, Ren L L. A summing up of the biological action of molybdenum in plants. *Journal of Zhejiang Normal University: Natural Science*, 2001, 24(3): 292-297. (in Chinese)
- [31] Kruse T, Gehl C, Geisler M, Lehrke M, Ringel P, Hallier S, Hänsch R, Mendel R R. Identification and biochemical characterization of molybdenum cofactor-binding proteins from *Arabidopsis thaliana*. *The Journal of Biological Chemistry*, 2010, 285(9): 6623-6635.
- [32] Schwarz G, Mendel R R, Ribbe M W. Molybdenum cofactors,

- enzymes and pathways. *Nature*, 2009, 460(7257): 839-847.
- [33] 赵胜利. 钼营养对烟草生理生化特性及产量产值的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2009.
- Zhao S L. The influence of the Molybdenum nutrition upon the tobacco nutritive property physiology bio-chemical and production value yield[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [34] López-Lefebvre L R, Rivero R M, García P C, Sánchez E, Ruiz J M, Romero L. Effect of calcium on mineral nutrient uptake and growth of tobacco. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2001, 81(14): 1334-1338.
- [35] 雷广海. 烟草矿质营养相互关系研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2003.
- Lei G H. Studies on mutual relations among mineral nutrients in tobacco[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2003. (in Chinese)
- [36] Ma W, Qi Z, Smigel A, Walker R K, Verma R, Berkowitz G A. Ca<sup>2+</sup>, cAMP, and transduction of non-self perception during plant immune responses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(49): 20995-21000.

(责任编辑 岳梅)

## 2013 年全球转基因作物商业化发展态势

根据国际农业技术应用服务组织 (International Service for Acquisition of Agri-biotech Applications, ISAAA) 提供的资料, 全球转基因作物商业化发展呈现以下态势:

### 1、转基因作物种植面积持续增长。

2013 年是转基因作物商业化生产的第 18 年, 转基因作物总种植面积比 2012 年增加 500 万公顷 (增长 3%)。1996 年到 2013 年, 转基因作物的种植面积从 170 万公顷增加到 1.75 亿公顷, 增长 100 倍。全球转基因作物累计种植面积达 16 亿公顷。全球 19 个发展中国家和 8 个发达国家的 1800 万农民选择种植转基因作物。美国转基因作物种植面积达 7010 万公顷, 占全球 40%, 其中种植耐旱转基因玉米约 5 万公顷。巴西连续 5 年占据转基因作物第二大种植国位置, 种植面积增幅达 10%; 其中种植抗虫和耐除草剂复合性状大豆 220 万公顷。

### 2、发展中国家转基因作物种植面积超过发达国家, 成为全球转基因作物种植面积增长的主力。

拉丁美洲、亚洲和非洲共计种植转基因作物 9400 万公顷, 占全球转基因作物种植面积的 54% (比 2012 年上升 2%); 发达国家共计种植转基因作物 8100 万公顷, 占 46%。发达国家及转基因作物市场成熟的发展中国家主要转基因作物采用率已达 90% 以上, 转基因作物种植面积增长空间有限; 发展中国家转基因作物采用率的增长将对全球转基因作物发展有重要贡献。

### 3、发展中国家打破审批商业化种植僵局。

2013 年, 孟加拉国首次批准种植 Bt 茄子; 印度尼西亚批准自主研发的本土耐旱甘蔗 (亦为全球首种转基因甘蔗); 巴拿马批准商业化种植转基因玉米。非洲的喀麦隆、埃及、加纳、肯尼亚、马拉维、尼日利亚和乌干达开始进行大范围新转基因作物田间试验, 为 2014 年获准商业化种植做准备。

### 4、政策支持对转基因作物商业化应用非常重要。

适当的政策支持是必须的。如: 巴西农业科学院 (EMBRAPA) 依靠国家资源研发转基因抗病毒大豆, 对该国大豆可持续发展做出重要贡献; 孟加拉国与印度公司 Mahyco 合作研发 Bt 茄子, 2013 年获准商业化种植。由国际基金会注资, 并分别由国际玉米小麦改良中心 (CIMMYT) 及非洲农业技术基金会 (AATF) 管理及执行的非洲节水玉米项目 (WEMA) 已于南非、肯尼亚及乌干达等多个非洲国家进行。尽管 2013 年欧盟地区转基因作物种植面积增加了 15%, 欧盟繁杂、苛刻的报告程序还是令该地区农户种植转基因作物的兴趣大减。缺乏适宜的、以科学为基础的、低成本高效率的监管制度是非洲及其他发展中国家采用转基因作物的主要限制因素。

据估算, 1996 年至 2012 年, 采用转基因作物增加作物产值 1169 亿美元, 减少使用农药 (a.i.) 4.97 亿千克, 帮助 1650 万户及其家庭 (即 6500 万人口) 缓解贫困。采用生物技术/转基因作物仍将持续为粮食生产、环境改善及农民脱贫做出贡献。

资料来源: ISAAA 2014 北京新闻发布会。详情可查阅: <http://www.isaaa.org>

(孙雷心)