

中生菌素和生石灰对芝麻青枯病的联合防控效果

李信中¹, 陈建², 肖运萍², 黄瑞荣¹, 魏林根², 华菊玲^{1*}

(1. 江西省农业科学院植物保护研究所, 南昌 330200; 2. 江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 南昌 330200)

摘要: 为探索高密度栽培芝麻青枯病 *Ralstonia solanacearum* 的高效防控, 分析了江西土壤 pH 分布与芝麻青枯病发生程度关系, 测定了生石灰土壤处理对芝麻的安全性及对青枯病抑制效果, 开展了中生菌素喷雾和生石灰土壤处理联合防控芝麻青枯病试验。结果表明, 芝麻青枯病发生重的田块土样 pH 多集中分布在 4.5~5.5, pH 4.5~5.5 的芝麻田土样占比 69.17%。生石灰 1125~2250 kg/hm² 土壤处理, 赣芝 5 号和豫芝 11 出苗率与空白对照没有显著性差异, 幼苗素质优于空白对照, 尤其是茎基部直径显著高于空白对照; 现蕾期~成熟期青枯病病情指数均始终低于空白对照, 现蕾期~盛花前期病情指数比空白对照降低 30%以上。芝麻播种前生石灰 1125~2250 kg/hm² 土壤处理, 芝麻定苗和初花期 3% 中生菌素可湿性粉剂 22.5 g.ai/hm² 各喷雾 1 次, 对青枯病的联合防控效果 73.46%~74.89%, 显著高于中生菌素单用 3 次的防效 ($P<0.05$), 芝麻增产率 31.33%~32.49%, 增产效果优于中生菌素单用处理。

关键词: 芝麻; 青枯雷尔氏菌; 生石灰; 中生菌素; 防控

中图分类号: S432.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-9261(2020)03-0472-07

Joint Control of Sesame Bacterial Wilt with Lime and Zhongshengmycin

LI Xinshen¹, CHEN Jian², XIAO Yunping², HUANG Ruirong¹, WEI Linggen², HUA Juling^{1*}

(1. Plant Protection Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 2. Soil and Fertilizer and Resources and Environment Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

Abstract: To explore the effective prevention and control of *Ralstonia solanacearum* in high-density cultivation, the relationship between the pH distribution of soil and the occurrence of bacterial wilt of sesame were analyzed in Jiangxi province, the safety of quicklime soil treatment to sesame and its resistance to bacterial wilt were assessed, and a trail was carried out on the prevention and control of bacterial wilt of sesame by the combination of Zhongshengmycin spray and quicklime soil treatment. The results showed that the pH value of soil samples in the field where severe symptoms of bacterial wilt observed in sesame was concentrated in the range of 4.5—5.5, and the soil samples with pH value of 4.5—5.5 accounted for 69.17% in sesame fields. With quicklime 1125—2250 kg/hm² soil treatment, the seedling emergence rates of Ganzhi 5 and Yuzhi 11 were not significant different from that of the blank control group. The seedling qualities of these two varieties were better than the blank control, especially root-collar diameters of these two varieties were significantly higher than the blank control. The disease index from the budding stage to the mature stage was always lower than the blank control, and the disease index from the bud stage to the initial flower stage decreased by more than 30% compared with the blank control. The soil was treated with quick lime (1125—2250 kg/hm²) before sowing, and the sesame seedlings were sprayed once for each time at a dosage of 3% Zhongshengmycin wettable power of 22.5 g.ai/hm² at the seedling stage and the initial flowering stage. The combined control effect on bacterial wilt were 73.46%—74.89%, which was significantly higher than the control effect of 3% Zhongshengmycin alone for 3 times ($P<0.05$). With the combination of 3% Zhongshengmycin

收稿日期: 2019-10-22

基金项目: 国家自然科学基金 (31360428); 江西省支撑计划项目 (20131113010020)

作者简介: 李信中博士, 助理研究员, E-mail: lixinshen0@163.com; *通信作者, 研究员, E-mail: huajl2000@126.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2020.03.026

spray and quicklime soil treatment, the yields of sesame increased 31.33%—32.49%, which was better than that of 3% Zhongshengmycin alone.

Key words: sesame; *Ralstonia solanacearum*; lime; Zhongshengmycin; prevention and control

芝麻青枯病是由青枯雷尔氏菌 *Ralstonia solanacearum* 引起的一大毁灭性病害, 严重威胁我国南方芝麻生产^[1]。许多重病区的老病田, 全田发病和绝产无收的现象每年都有发生。由于青枯雷尔氏菌丰富的遗传多样性和广泛的生态适应性^[2,3], 加之近年来全球气候变暖, 青枯病发病范围和为害程度都有向北方芝麻产区扩展的趋势。如河南、山东、辽宁等省都已有芝麻青枯病分布和为害的记载, 局部产区为害较重。该病害已成为我国芝麻生产可持续发展的重要制约因子。由于受灌溉、地力等条件的限制, 江西芝麻主产区与芝麻轮作的作物大多为花生、甘薯、大豆、玉米、蔬菜等。这些作物中, 或为青枯氏菌的寄主植物, 或能为青枯氏菌的繁衍提供庇护场所^[4,5], 短期轮作控病效果并不理想。药剂防治是芝麻青枯病防控中不可或缺的重要措施^[6], 绿色安全的生物药剂是最理想的选择。应用广泛的硫酸链霉素由于其存在通过食物链在人体内累积的风险, 已经退出市场。因此, 生产上迫切需要理想的生物药剂替代硫酸链霉素, 以保障产业健康可持续发展。

本课题组前期试验发现, 中生菌素喷施 3 次, 对芝麻青枯病虽具有较好的防治效果, 但低于噻菌铜、噻唑锌以及农用链霉素的防控效果。目前, 生产中用于防治细菌病害的药剂种类十分有限, 噻菌铜和噻唑锌又同属噻唑类药剂^[6,7], 因此, 探索中生菌素在芝麻青枯病防控中的高效应用, 具有十分重要的现实意义。

酸化一直是土壤生态系统面临的主要问题之一^[8]。青枯雷尔氏菌为土壤习居菌, 青枯病的发生流行与土壤 pH 关系密切^[9]。郑世燕等^[10]报道, 青枯病病株根际土壤 pH 显著低于健康烟株根际土壤。郑雪芳等^[11]、伍朝荣等^[12]、Sharma 等^[13]报道, 通过土壤处理上调土壤 pH, 可大大降低番茄青枯病的发病率; Overbeek 等^[14]研究发现, 厌氧处理后, 土壤 pH 上调, 马铃薯根际土壤青枯雷尔氏菌数量降低 90% 以上。生石灰 (主要成分氧化钙) 是优良的土壤酸碱度调理剂, 对作物青枯病有一定的防控作用。如翻耕前施用石灰 2250 kg/hm², 土壤 pH 上升 0.72, 烟草青枯病防效达 48.59%^[15]; 用重量体积比 1:50 的生石灰水灌根, 烟草青枯病病情指数比对照低 8.45^[16]; 设施番茄移栽前用石灰氮 (含氧化钙的混合物) 进行土壤处理, 可有效防控连茬番茄青枯病^[17]。然而, 至今尚未见生石灰在芝麻青枯病防控中的应用报道。为此, 本研究在分析江西土壤 pH 分布与芝麻青枯病发生程度关系、测定生石灰不同施用量对芝麻的安全性及对青枯病抑制效果的基础上, 开展了中生菌素和生石灰对病害的联合防控试验。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试品种赣芝 5 号 (黑芝麻) 和豫芝 11 (白芝麻), 均由国家特色油料产业技术体系南昌试验站提供。生石灰 (当年烧制的市售品), 中生菌素 (Zhongshengmycin, 3% 可湿性粉剂, 福建凯立生物制品有限公司)。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 芝麻青枯病田间病情调查与土样 pH 测定 2015—2016 年, 分别从进贤县、丰城市、南昌县、樟树市、余干县、都昌县、鄱阳县、高安县等芝麻生产大县的传统大面积种植区选取代表性田块, 采用对角线 5 点法, 每点取样 20 株, 调查芝麻青枯病发生情况。并于每个取样点, 用取土器采集 1~20 cm 的土壤 100 g 为小样, 再将小样混合、拌匀、去植物残体, 过 200 目筛。每份土样风干再次混匀后, 取 20 g 放入规格为 100 mL 的烧杯中, 加入 20 mL 去离子水, 搅拌充分混匀, 室温下密封静置 30 min 后, 用 PHS-3C 酸度计进行测定 (读取精度 0.1)。每个样品 3 次重复。2015、2016 年调查取样田块数分别为 63 块和 70 块, 土样采集及病害调查时间为芝麻终花期~成熟期 (即田间青枯病发展趋于稳定期)。

1.2.2 生石灰施用量对芝麻青枯病发生和芝麻的影响测定 试验田块为南昌县芝麻连片种植区的芝麻连作旱地 (土壤 pH 5.2)。供试品种为赣芝 5 号和豫芝 11。试验共设 4 个处理, (A) 生石灰施用量 1125 kg/hm² (75 kg/667 m²); (B) 生石灰施用量 1500 kg/hm² (100 kg/667 m²); (C) 生石灰施用量 2250 kg/hm²

(150 kg/667m²)；(CK)：空白对照。重复3次，共12个小区，小区面积30 m²，随机区组排列，试验田四周设保护行。生石灰采用整地前一次性撒施，分垄旋耕整地后，开沟条播。播种日期2016年6月22日，栽培密度约22.5万株/hm²。同时，每小区随机选取一点设置定量播种格，定量播种100粒。7 d后调查定量播种格内出苗数量，统计出苗率。芝麻4对真叶期，每小区5点取样，每点取样6株，测定株高、茎基部直径^[18]和百株鲜重。芝麻现蕾期~成熟期，每个品种对角线5点取样，每点挂牌标记20株，定期调查各小区病情。参照李信申等^[19]制定的芝麻青枯病严重度分级标准，记录各级病株数。收获时，每小区对角线5点取样，每点取样20株，分小区装袋晾干后，进行产量测定。整个试验期间不喷施任何杀菌剂，其他同常规管理。

1.2.3 中生菌素和生石灰对芝麻青枯病的联合防控试验 2017年于江西省南昌县芝麻连片种植区芝麻连作旱地（上年度芝麻青枯病发生较重）进行，试验田土壤pH 4.6。供试品种赣芝5号，播种日期2017年6月4日，定苗日期6月28日。7月8日芝麻进入初花期。试验共设5个处理：(T1)整地前撒施生石灰1125 kg/hm²，芝麻定苗时、初花期各喷施3%中生菌素可湿性粉剂22.5 g.ai/hm²；(T2)整地前撒施生石灰1500 kg/hm²，芝麻定苗时、初花期各喷施3%中生菌素可湿性粉剂22.5 g.ai/hm²；(T3)整地前撒施生石灰2250 kg/hm²，芝麻定苗时、初花期各喷施1次3%中生菌素可湿性粉剂22.5 g.ai/hm²；(T4)芝麻定苗时、初花期及其10 d后各喷施3%中生菌素可湿性粉剂22.5 g.ai/hm²；(T5)芝麻定苗时、初花期各喷施3%中生菌素可湿性粉剂22.5 g.ai/hm²；(CK)：空白对照。重复3次，共18个小区，小区面积40 m²，随机区组排列，试验田四周设保护行。生石灰采用整地前撒施，分垄旋耕整地后，开沟条播。栽培密度约22.5万株/hm²（899株/小区）。采用背负式电动喷雾器进行常规植株喷雾（淋），兑水量750 kg/hm²。喷雾（淋）时，小区间用塑料膜遮隔，以防药液相互干扰。成熟期调查各处理青枯病病情。出苗率(%) = 出苗数 / 播种粒数 × 100；病情指数 = \sum (各级病株数 × 各级代表值) / (调查总株数 × 9) × 100；防效(%) = (对照区病情指数 - 处理区病情指数) / 对照区病情指数 × 100。

1.3 数据统计与分析

试验数据采用Excel 2007和DPS 2.00软件进行系统处理和统计分析，应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 土地pH与青枯病发生程度的关系

2015、2016年，分别采集土样63份和70份。测定结果表明，土样pH分布在3.8~7.4，其中pH 4.5~5.5的土样占比69.17%（图1）。分析土样pH分布与青枯病田间发病程度的关系发现，年度间发病程度不一，但发病重的芝麻田土样pH多集中分布在4.5~5.5（图2）。

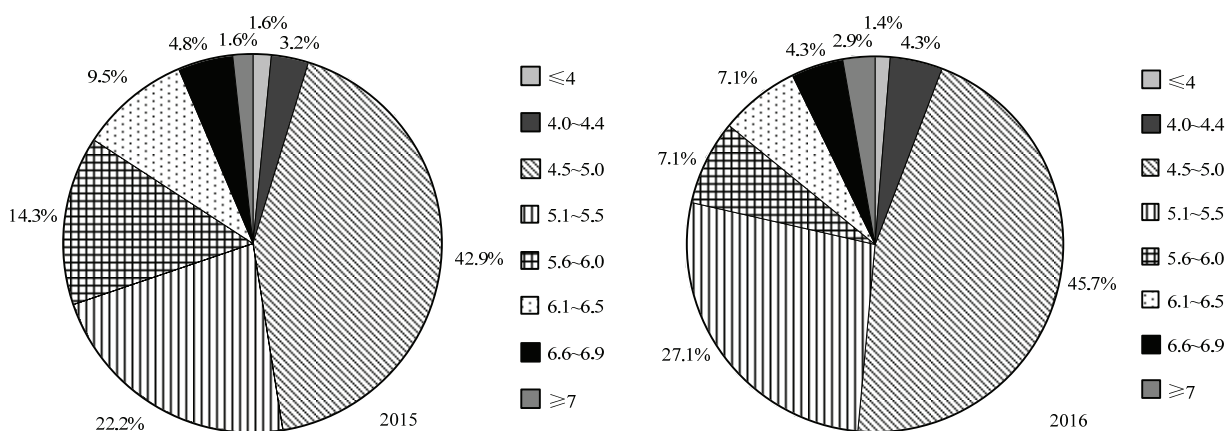


图1 土样pH分布

Fig. 1 Distribution of the soil pH

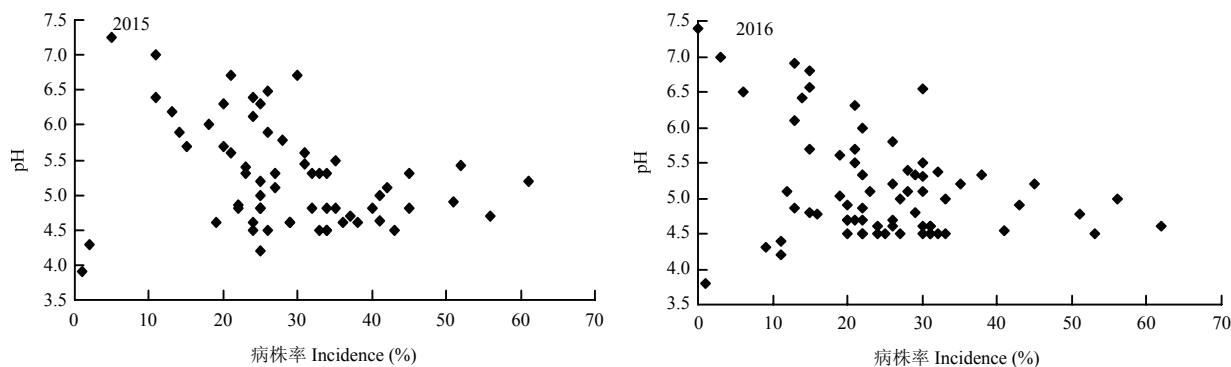


图 2 土壤 pH 分布与芝麻青枯病田间病株率的关系分析结果

Fig. 2 Analysis of the relationship between the pH distribution of soil and the occurrence of bacterial wilt of sesame

2.2 生石灰土壤处理对芝麻生长的影响

生石灰施用量 1125、1500、2250 kg/hm² 3 个处理，赣芝 5 号的出苗率分别为(49.33±2.52)%、(49.67±1.53)%、(48.00±2.65)%，豫芝 11 的出苗率分别为(49.67±2.89)%、(49.00±1.00)%、(48.33±2.52)%，均与两个品种空白对照的出苗率没有显著差异。3 个生石灰处理赣芝 5 号和豫芝 11 后 4 对真叶期芝麻幼苗的株高、茎粗和鲜重均优于空白对照，且 3 个生石灰处理的芝麻茎基部直径显著高于空白对照 ($P<0.05$) (表 1)。

表 1 不同处理对芝麻出苗和生长的影响

Table 1 Effects of different treatments on seedling emergence and growth of sesame

处理 Treatment	赣芝 5 号 Ganzhi 5				豫芝 Yuzhi 11			
	出苗率 Sprout rate (%)	株高 Plant height (cm)	茎粗 Stem diameter (cm)	鲜重 Plant weight (g)	出苗率 Sprout rate (%)	株高 Plant height (cm)	茎粗 Stem diameter (cm)	鲜重 Plant weight (g)
A	49.33±2.52 a	14.08±0.81 a	0.34±0.02 a	3.13±0.21 a	49.67±2.89 a	14.35±1.29 a	0.32±0.03 a	2.95±0.40 a
B	49.67±1.53 a	14.11±1.33 a	0.35±0.01 a	3.22±0.63 a	49.00±1.00 a	14.39±0.85 a	0.33±0.02 a	3.04±0.71 a
C	48.00±2.65 a	13.96±0.93 a	0.34±0.02 a	3.12±0.85 a	48.33±2.52 a	14.24±0.77 a	0.32±0.02 a	2.94±0.50 a
CK	50.33±2.08 a	13.92±1.65 a	0.30±0.03 b	2.72±0.53 a	50.67±1.53 a	14.20±1.41 a	0.27±0.04 b	2.48±0.84 a

注：数据为平均值±标准误。同列数据后不同小写字母代表 0.05 水平差异显著，下同。

Note: Data were presented as means±SD. Data in the same column with different lowercase letters indicated significant difference at 0.05 level. The same below.

2.3 生石灰土壤处理对芝麻青枯病发生的影响

定期定点调查发现，施用生石灰的 3 个处理初始发病期晚于空白对照。芝麻现蕾期~成熟期，3 个施用生石灰处理的病情指数均始终低于空白对照。其中 7 月 24 日—8 月 8 日，3 个施用生石灰处理青枯病病情指数与空白对照差异达显著水平 ($P<0.05$)，比对照降低 30% 以上。至芝麻成熟期，生石灰施用量 1125、1500、2250 kg/hm² 处理，赣芝 5 号、豫芝 11 病情指数仍分别比空白对照降低 12.77%~16.86%、13.01%~17.05%。说明施用生石灰不仅推迟和延缓了芝麻青枯病的发生与蔓延，而且一定程度上降低了病害发生程度。但 3 个生石灰处理之间的病情指数差异不显著 (图 3)。

2.4 中生菌素和生石灰对芝麻青枯病的联合防控效果

田间防控试验表明，翻耕前施用生石灰 1125、1500、2250 kg/hm²，芝麻定苗时、初花期各喷施 3% 中生菌素可湿性粉剂 22.5 g.ai/hm² 3 个处理的防效分别为 (73.46±1.68)%、(74.18±2.09)%、(74.89±1.05)%，显著高于 3% 中生菌素可湿性粉剂 22.5 g.ai/hm² 喷施 2 次和 3 次的防效 ($P<0.05$)。3 个中生菌素与生石灰联合处理的增产率均达 30% 以上，增产效果优于中生菌素单用处理 (表 2)。

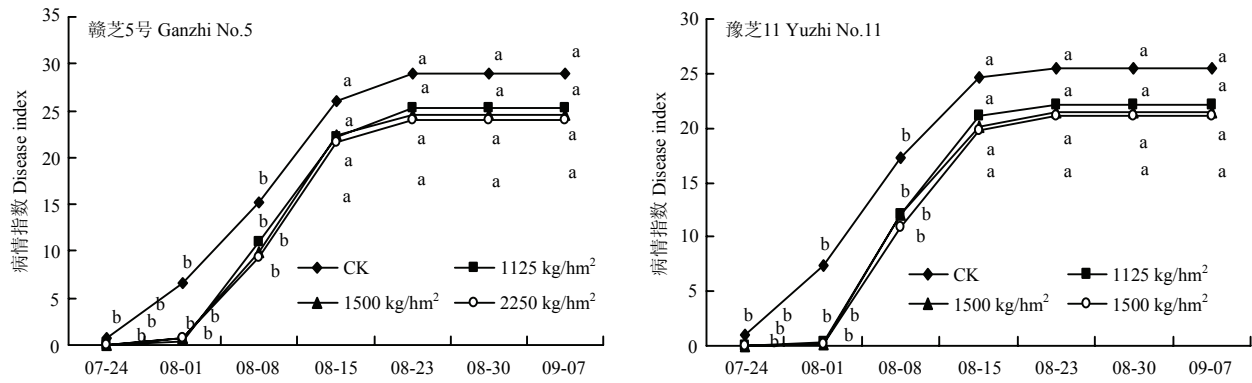


图3 不同生石灰用量防治芝麻青枯病田间病情指数增长动态

Fig. 3 Dynamic study for bacterial wilt incidence of sesame after field soils were treated with different amounts of quicklime

表2 不同处理对芝麻青枯病的田间防控效果

Table 2 Control effects of different treatments on bacterial wilt of sesame in the field

处理 Treatment	病情指数 Disease index	防效 Control effect (%)	产量 Yield (kg/hm ²)	增产率 Yield increase (%)
T1	8.53±0.54	73.46±1.68 a	1306.03	31.34
T2	8.30±0.67	74.18±2.09 a	1311.00	31.85
T3	8.07±0.34	74.89±1.05 a	1317.47	32.49
T4	9.66±0.58	69.96±1.81 b	1286.46	29.38
T5	19.25±0.88	40.13±2.72 c	1120.71	12.71
CK	32.15±2.17	—	994.36	—

3 讨论

本研究测定结果表明,江西省芝麻主要种植区域土壤酸化问题十分严峻, pH 4.5~5.5 的土样占比 69.17%。这一测定结果与张忠启等^[8]报道的结果一致。比对分析芝麻青枯病发生程度与土壤 pH 显示,发病重的芝麻田土样 pH 集中分布在 4.5~5.5。这也是江西芝麻青枯病连年重发的主要原因之一。

Rousk 等^[20]、Li 等^[21]、She 等^[22]研究发现, pH 4.5~5.5 酸性土壤,一方面降低了根际土壤微生物丰度,尤其是抑制了枯草芽胞杆菌、荧光芽胞杆菌、蜡状芽胞杆菌等生防菌主要来源种群的生长和拮抗活性,破坏了土壤微生物屏障,有利于青枯病菌在根际土壤定殖繁衍;另一方面,上调了病菌 *PopA*、*PrhA* 和 *SolR* 毒力基因的表达,抑制了烟草抗病基因的表达,因而导致青枯病发生严重。提高土壤 pH 值,土壤微生物丰度,尤其是细菌丰度显著提高,形成了能有效抑制病菌定殖繁衍的生物屏障;同时,烟草植株中 *E3ligase*、*NtACC Oxidase*、*Thaumatococin* 和 *NtPR 1a/c* 等抗病基因表达量明显上调,提高了植株抵御病菌入侵能力。因此,土壤酸化调控是防治青枯病发生的前提和基础。本研究也通过田间试验证实了,翻耕前撒施生石灰 1125~2250 kg/hm²,可减缓芝麻青枯病的发生,且整个芝麻生育期病情指数均低于空白对照。

通过测定芝麻出苗率和 4 对真叶幼苗素质证明,施用生石灰对芝麻出苗率无不良影响,且能促进芝麻幼苗生长,尤其是具有显著的促壮效果。健壮的幼苗具有更强的抗病能力,这也是生石灰处理能降低青枯病发生的原因之一。这一研究结果为生石灰在芝麻生产上的安全有效应用提供了理论依据。进一步分析发现,翻耕前撒施生石灰 1125、1500、2250 kg/hm²,对芝麻青枯病的抑制效果没有显著性差异。本着节本高效的原则,生石灰施用量以 1125~1500 kg/hm² 为宜。

中生菌素有效成分为链丝菌素 (streptothricins),是由淡紫灰链霉菌海南变种产生的新型农用抗生素^[23]。该药剂既有普通化学药剂优势,兼具生物防治的特点,对病原细菌具有很高的活性,通过抑制病原细菌

蛋白质的肽键生成, 最终导致细菌死亡, 同时可刺激植物体内植保素及木质素的前体物质的生成, 从而提高植物的抗病能力^[24], 并具有一定的增产作用。现有研究表明, 中生菌素对青枯雷尔氏菌也具有很高的活性。胡小梅等^[25]测定结果表明, 3%中生菌素可湿性粉剂对姜青枯病菌具有很强的抑菌活性, 其 EC_{50} 为 5.2 mg/L; 龙厚茹等^[26]溶菌试验显示, $200 \times 10^{-6} \sim 800 \times 10^{-6}$ 浓度的中生菌素处理马铃薯青枯病菌 48 h, 菌体即出现原生质凝结, 细胞壁破裂, 甚至菌体解体成片状。关于中生菌素对青枯病的防控, 王梅等^[27]、周开拓等^[28]、朱志刚等^[29]报道, 中生菌素对番茄、烟草、生姜等作物青枯病具有良好的防治效果。但现有报道中, 中生菌素大多采用灌根施药法防治生姜^[6]、番茄^[27,30]、烟草^[28]等作物青枯病。然而, 芝麻栽培密度高达 22.5 万株/hm² 以上, 喷雾是经济可行的药剂施用方法。本研究采取生石灰土壤处理提高了土壤 pH, 形成了不利于青枯病菌在土壤定殖繁衍的微生物屏障, 并且促进了芝麻幼苗健壮, 提高了植株的抗病能力, 从而有效减缓了芝麻青枯病的发生。在此基础上, 利用中生菌素的抑菌效果和诱抗功能, 在芝麻定苗往往容易导致植株产生大量伤口的关键时期, 采用中生菌素喷淋护根, 降低了青枯病菌入侵伤口的几率。芝麻进入初花期后, 植株处于旺长阶段, 根系会产生大量自然裂缝, 再次喷施中生菌素, 有效抵御了病菌从裂缝入侵。生石灰与中生菌素协同作用, 实现了对芝麻青枯病的减施增效防控。本研究结果对于拓展中生菌素在芝麻、花生等高密度栽培作物青枯病防治中的高效应用, 具有十分重要的指导意义。后续将开展生石灰土壤处理与中生菌素喷雾对芝麻根际土壤微生物菌群结构、芝麻抗病相关基因表达的影响研究, 以期探明微生态和基因调控机制。

参 考 文 献

- [1] 华菊玲, 胡白石, 李湘民, 等. 芝麻细菌性青枯病原菌及其生化变种鉴定[J]. 植物保护学报, 2012, 39(1): 39-44.
- [2] 徐进, 冯洁. 植物青枯菌遗传多样性及致病基因组学研究进展[J]. 中国农业科学, 2013, 46(14): 2902-2909.
- [3] Li X S, Huang X M, Chen G Y, et al. Complete genome sequence of the sesame pathogen *Ralstonia solanacearum* strain SEPPX 05[J]. Genes and Genomics, 2018, 40(6): 657-668.
- [4] Salanoubat M, Genin S, Artiguenave F, et al. Genome sequence of the plant pathogen *Ralstonia solanacearum*[J]. Nature, 2002, 415(6871): 497-502.
- [5] Wicker E, Grassart L, Coranson-Beaudu R, et al. *Ralstonia solanacearum* strains from Martinique (French West Indies) exhibiting a new pathogenic potential[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2007, 71(21): 6790-6801.
- [6] 付丽军, 王永存, 王向东, 等. 6种杀菌剂对姜青枯病的防治效果[J]. 植物保护, 2019, 45(1): 216-220.
- [7] 赵华, 吴珉, 何红梅, 等. 高效液相色谱法测定噻唑唑在水、土壤及黄瓜中的残留[J]. 农药学报, 2017, 19(2): 217-222.
- [8] 张忠启, 茆彭, 于东升, 等. 近 25 年来典型红壤区土壤 pH 变化特征——以江西省余江县为例[J]. 土壤学报, 2018, 55(6): 1545-1553.
- [9] Wei Z, Gu Y, Friman V P, et al. Initial soil microbiome composition and functioning predetermine future plant health[J]. Science Advances, 2019, 5(9): eaaw0759.
- [10] 郑世燕, 陈弟军, 丁伟, 等. 烟草青枯病发病烟株根际土壤营养分析[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(4): 57-64.
- [11] 郑雪芳, 刘波, 朱育菁, 等. 设施番茄连作障碍土壤修复及其对青枯病害的防治效果[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(1): 117-123.
- [12] 伍朝荣, 黄飞, 高阳, 等. 土壤生物消毒对番茄青枯病的防控、土壤理化特性和微生物群落的影响[J]. 生态学杂志, 2017, 36(7): 1933-1940.
- [13] Sharma J P, Kumar S. Management of *Ralstonia* wilt through soil disinfectant, mulch, lime and cakes in tomato (*Lycopersicon esculentum*)[J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2013, 70(1): 17-19.
- [14] Overbeek L V, Runia W, Kastelein P, et al. Anaerobic disinfestation of tare soils contaminated with *Ralstonia solanacearum* biovar 2 and *Globodera pallida*[J]. European Journal of Plant Pathology, 2014, 138(2): 323-330.
- [15] 杨佩文, 杨群辉, 倪明, 等. 烟草青枯病流行气象因素分析及土壤调理防控技术[J]. 西南农业学报, 2017, 30(5): 1104-1108.
- [16] 郑世燕, 丁伟, 陈弟军, 等. 根际土壤调控对连作烟田青枯病的控制作用[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(1): 47-52.
- [17] Liu L J, Sun C L, Liu X X, et al. Effect of calcium cyanamide, ammonium bicarbonate and lime mixture, and ammonia water on survival of *Ralstonia solanacearum* and microbial community[J]. Scientific Reports, 2016(6): 19037.
- [18] 孙建, 饶月亮, 乐美旺, 等. 干旱胁迫对芝麻生长与产量性状的影响及其抗旱性综合评价[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(4): 525-533.
- [19] 李信申, 黄小梅, 魏林根, 等. 芝麻青枯病发生特点及药剂防治技术[J]. 中国油料作物学报, 2019, 41(6): 932-937.

- [20] Rousk J, Baath E, Brookes P C, *et al.* Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil[J]. *The ISME Journal*, 2010(4): 1340-1351.
- [21] Li S, Liu Y, Wang J, *et al.* Soil acidification aggravates the occurrence of bacterial wilt in south China[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2017, 8: 703.
- [22] She S Y, Niu J J, Zhang C, *et al.* Significant relationship between soil bacterial community structure and incidence of bacterial wilt disease under continuous cropping system[J]. *Archives of Microbiology*, 2017(199): 267-275.
- [23] 朱昌雄, 蒋细良, 孙东园, 等. 新农用抗生素: 中生菌素[J]. *精细与专用化学品*, 2002(16): 14-17.
- [24] 蒋细良, 王劲波, 王慧敏, 等. 中生菌素对水稻悬浮细胞过氧化物酶基因转录表达的影响[J]. *中国生物防治*, 2006, 22(3): 207-210.
- [25] 胡小梅, 徐进, 毛连刚, 等. 7种杀菌剂对姜瘟病菌 Z-AQ-2 菌株的抑菌活性[J]. *植物保护*, 2016, 42(6): 208-214.
- [26] 龙厚茹, 谢德龄. 中生菌素对马铃薯青枯病菌的溶菌作用[J]. *中国生物防治*, 1999, 15(2): 95-96.
- [27] 王梅, 尹显慧, 龙友华, 等. 几种杀菌剂对番茄青枯病菌的毒力测定及田间药效[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(4): 151-153.
- [28] 周开拓, 蒋承耿, 王秋萍, 等. 中生菌素对贵州烟区烟草青枯病的毒力测定及田间防效试验[J]. *农业科技与装备*, 2017(11): 14-16.
- [29] 朱志刚, 胡洪涛, 石丽桥, 等. 生姜青枯病防治药剂室内筛选及评价[J]. *植物保护*, 2017, 43(6): 202-206.
- [30] 龙友华, 罗德勇. 3%中生菌素可湿性粉剂防治番茄青枯病的效果初探[J]. *中国蔬菜*, 2009(6): 63-66.