

几种药剂对烟草赤星病的防治效果

李自林¹, 秦娜^{2*}, 赵宇霞^{3,4}, 刘瑞瑞⁴, 王春雷¹ (1. 云南省烟草公司丽江市公司华坪县分公司, 云南丽江 674800; 2. 云南农业大学大数据学院, 云南昆明 650201; 3. 玉溪市农业科学研究院, 云南玉溪 653100; 4. 云南农业大学烟草学院, 云南昆明 650201)

摘要 为探究云南烟区最有效的烟草赤星病防治药剂, 提升烟叶品质及质量。采用随机区组试验设计方法, 研究 30% 苯醚甲环唑、40% 菌核净、80% 代森锰锌对“云烟 87”赤星病的防治效果。结果表明, 施用 80% 代森锰锌有利于烟株生长; 喷施 40% 菌核净及 80% 代森锰锌对烟草赤星病防治效果较好; X2F、C3F 等级烟叶喷施 40% 菌核净及 80% 代森锰锌有利于烟叶化学成分合成, B2F 等级烟叶施用 80% 代森锰锌有利于烟叶化学成分合成。

关键词 烤烟; 农药; 防治效果

中图分类号 S435.72 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)06-0125-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.06.029

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of Several Pesticides on Tobacco Brown Spot Disease

LI Zi-lin¹, QIN Na², ZHAO Yu-xia^{3,4} et al (1. Yunnan Tobacco Company Lijiang City Branch Huaping County Branch, Lijiang, Yunnan 674800; 2. Big Data College of Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201; 3. Yuxi Academy of Agricultural Sciences, Yuxi, Yunnan 653100; 4. Tobacco College, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201)

Abstract In order to explore the most effective tobacco brown spot prevention and control agents in Yunnan tobacco areas, improve the quality of tobacco leaves, a randomized block trial design method was used to study the effects of 30% difenoconazole, 40% sclerotium, and 80% mancozeb on “Yunyan 87” brown spot disease. The results showed that the application of 80% mancozeb was beneficial to tobacco plant growth; spraying 40% sclerotium and 80% mancozeb had better control effect on tobacco brown spot; spraying 40% sclerotia for X2F and C3F grade tobacco leaves and 80% mancozeb was conducive to the synthesis of chemical components of tobacco leaves, and the application of 80% mancozeb to B2F grade tobacco leaves was conducive to the synthesis of chemical components of tobacco leaves.

Key words Flue-cured tobacco; Pesticides; Control effect

烟草赤星病是由半知菌亚门真菌引起的病害^[1], 又称褐斑病、赤斑病^[2], 具有潜育期短、暴发快、流行广、危害大等特点。在烟叶近成熟时危害叶片, 形成黄褐色病斑, 后焦枯, 病菌主要通过气流和雨水传播^[3]。赤星病是较严重的烟叶成熟期叶斑病害, 烟叶采收期为赤星病发病高峰期, 导致烟叶烘烤损失过多^[4-5]。赤星病 1916 年在北京首次发现, 1963 年在河南、山东烟区大肆传播, 1990 年后迅速在全国各烟区发展传播, 我国烟区造成的病害损失居第 2 位^[6]。在烤烟实际生产中, 烟草赤星病防治措施有选育抗病品种、农业防治、生物防治、化学防治^[7-8]。不同烟草品种对烟草赤星病的感病性不同, 我国烟区菌核净和多抗霉素长期大量使用, 导致烟草赤星病菌产生抗药性, 部分烟区已表现出赤星病防治效果降低现象^[9-10]。近年来, 不同类型农药肆意大量施用, 造成烟草病害产生较强抗药性, 同时农药残留较高, 大大影响了烟叶品质的提高。笔者探究几种农药对云烟赤星病的防治效果, 筛选最有防治效果的药剂, 降低烟草赤星病病害损失, 提高烟叶产量, 提升烟叶质量。

1 材料与与方法

1.1 试验地概况 2018 年 1—10 月在云南省永胜县永北镇兴营村 22 小组(100°56'E, 26°48'N, 海拔 1 920 m)进行。试验地块缓坡地, 主要土壤类型为黄壤土, 年平均气温 16.9 °C, 年降水量 580 mm, 适宜种植水稻、烤烟等农作物。兴营村位于云南省丽江市永胜县永北镇辖区, 年平均气温 18.9 °C, 年

降雨量 650 mm。永北镇 2018 年种植烤烟约 1 333.33 hm², 面积约占全县种植总面积的 39.8%。近年来, 农药不合理施用, 烤烟成熟期降雨加重, 导致烟区烟叶病害加重, 烟草赤星病逐年加重, 严重影响烤烟质量。

1.2 试验药剂 30% 苯醚甲环唑, 青岛利尔农化(集团)研制开发有限公司; 80% 代森锰锌, 青岛杜邦化工集团有限公司; 40% 菌核净, 山东济兴医化有限责任公司。

1.3 试验设计 烤烟品种为“云烟 87”, 烟草基肥为烟草专用复合肥(12-12-24), 氮肥用量为 450 kg/hm²; 追肥为烟草专用追肥(12.5-0-33.5), 施用 375 kg/hm²; 钾肥为硫酸钾(K₂O≥52%)作追施, 施用 300 kg/hm²; 各处理纯氮、纯磷、纯钾施用量相同, 追肥均对水浇施, 3 次浇施完。

采取随机区组试验设计, 膜上壮苗移栽, 2018 年 4 月 28 日移栽, 试验小区面积为 1 200 m², 株行距为 120 cm×50 cm, 四周设保护行。设置 3 个处理和对照(喷清水), 每个处理 3 重复, 烤烟生产管理措施均相同。试验设计: T1, 烟草专用复合肥(450 kg/hm²) + 烟草专用追肥(375 kg/hm²) + 硫酸钾(300 kg/hm²) + 30% 苯醚甲环唑; T2, 烟草专用复合肥(450 kg/hm²) + 烟草专用追肥(375 kg/hm²) + 硫酸钾(300 kg/hm²) + 40% 菌核净; T3, 烟草专用复合肥(450 kg/hm²) + 烟草专用追肥(375 kg/hm²) + 硫酸钾(300 kg/hm²) + 80% 代森锰锌; CK, 烟草专用复合肥(450 kg/hm²) + 烟草专用追肥(375 kg/hm²) + 硫酸钾(300 kg/hm²) + 清水。

30% 苯醚甲环唑 400~500 倍液叶面均匀喷施, 用量 300 g/hm², 喷雾; 40% 菌核净稀释 800~1 000 倍液叶面均匀

作者简介 李自林(1991—), 男, 云南丽江人, 硕士, 从事烟草栽培、烟草生理生化、土壤肥力评价研究。* 通信作者, 从事农业大数据分析研究。

收稿日期 2021-07-07

喷施,用量 600 g/hm²;80%代森锰锌用量 1 800 g/hm²,加水 750~1 500 L,发病初期均匀喷雾。3种药剂均隔 10 d 喷 1 次,连喷 3~4 次。

1.4 指标测定与方法

1.4.1 农艺性状。在烤烟生长的团棵期、旺长期、成熟期各选取烟株 20 株,测定其株高、有效叶片数、茎围、最大叶片长、最大叶片宽、节距^[11]。

1.4.2 烟草赤星病发病率。采用 SPSS 23.0 0 软件对试验数据进行单因素方差分析,并采用 Tukey's HSD 法进行多重比较,显著性差异水平 $P < 0.05$ 。主要调查烟草赤星病,调查总株数为 100 株。烟草赤星病病害等级:0 级,全叶无病;1 级, <1%;3 级,2%~5%;5 级,6%~10%;7 级,11%~20%;9 级, >21%。

烟株发病率 = 病株数 / 调查总株数 × 100%

病情指数 = $[\sum(\text{各级病株数} \times \text{相对病级值}) / (\text{调查总株数} \times \text{最高级值})] \times 100$

1.4.3 化学成分。分别取各处理 X2F、C3F、B2F 3 个等级烟叶各 2 kg,分别测定初烤烟叶中总氮、总糖、烟碱、氯、钾、还

原糖等指标,采用连续流动法进行^[12]测定。优质烟叶化学成分含量:总氮 1.5%~3.5%,总糖 18%~20%,烟碱 1.5%~3.5%,氯 <1%,钾 ≥2%,还原糖 16%~18%。

1.5 数据处理 采用 Microsoft Excel 2013 和 SPSS 23.0 软件进行数据处理与统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同化学药剂对烤烟农艺性状的影响 由表 1 可知,烤烟生长的团棵期,各处理农艺性状指标无显著差异。T3 处理(80%代森锰锌)烟株农艺性状表现较好,叶宽、茎围、节距均较大;T1 处理(30%苯醚甲环唑)能较好促进烟株株高、叶长的生长,CK 处理农艺性状表现较差。烤烟生长旺长期,T3 处理(80%代森锰锌)烟株农艺性状表现较好,株高、最大叶长、最大叶宽、茎围、节距均最大;CK 处理农艺性状较差。烤烟生长成熟期,T3 处理(80%代森锰锌)田间农艺性状表现较佳,株高、最大叶长、最大叶宽、茎围、有效叶片数均最大,CK 处理农艺性状各项指标表现均较低。综合烤烟农艺性状,T3 处理(80%代森锰锌)利于烟株大田生长,CK 处理(不施用农药)对烤烟农艺性状不利。

表 1 不同处理烤烟农艺性状

Table 1 Agronomic characteristics of flue-tobacco under different treatments

生长期 Growth period	处理 Treatment	株高 Plant height cm	最大叶长 Maximum leaf length//cm	最大叶宽 Maxmum leaf width//cm	茎围 Stem circumference cm	节距 Pitch cm	有效叶片数 Number of effective blades//片
团棵期 Cluster period	T1	15.47 a	32.50 a	17.43 a	5.07 a	4.60 a	8.67 a
	T2	14.93 a	31.93 a	17.47 a	5.23 a	4.40 a	9.00 a
	T3	14.67 a	32.47 a	17.73 a	5.27 a	4.63 a	8.33 a
	CK	14.10 a	31.93 a	17.43 a	5.23 a	4.37 a	8.33 a
旺长期 Prosperous growth term	T1	56.67 a	48.33 b	26.40 a	8.93 ab	5.07 a	11.67 a
	T2	57.67 a	49.33 a	26.20 a	8.87 ab	5.13 a	11.67 a
	T3	58.00 a	49.57 a	27.20 a	9.20 a	5.23 a	11.00 a
	CK	57.33 a	47.93 b	26.87 a	8.37 b	5.00 a	11.33 a
成熟期 Maturity period	T1	117.00 a	59.20 a	30.20 a	11.87 a	6.40 a	19.33 a
	T2	116.83 a	60.73 a	28.87 a	11.83 a	6.07 a	19.33 a
	T3	118.67 a	60.80 a	31.27 a	11.87 a	5.67 a	20.00 a
	CK	116.67 a	59.13 a	27.93 a	11.53 a	6.03 a	18.67 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P < 0.05$)

2.2 不同化学药剂对烤烟赤星病病情的影响 赤星病发病规律呈前期发病率低、后期发病率高的现象^[13]。由表 2 可知,烤烟生长的团棵期、旺长期、成熟期 CK 处理烟草赤星病发病率、病情指数均最高,表明烤烟生长期不施用化学农药明显加重烟草赤星病发病率。烤烟生长团棵期发病较轻,病情等级 5 级以下,T3 处理(80%代森锰锌)全株无病的占比最高。烤烟旺长期 T2 处理(40%菌核净)发病率、病情指数均最低;T3 处理(80%代森锰锌)3 级、5 级占比最低;烤烟生长旺长期喷施 40%菌核净及 80%代森锰锌能有效防治烟草赤星病。烤烟生长成熟期,T2 处理(40%菌核净)烤烟赤星病发病率、病情指数均最低;T3 处理(80%代森锰锌)全株无病占比最高,1 级、3 级、9 级占比最低;烤烟生长成熟期喷施 40%菌核净、80%代森锰锌对烟草赤星病防治效果相对较好。综上所述,烤烟生育期内 T2 处理(40%菌核净)、T3 处理

(80%代森锰锌)对烟草赤星病防治效果较好。

2.3 不同药剂对初烤烟叶化学成分的影响 由表 3 可知,X2F、C3F、B2F 等级烟叶各处理总氮含量均低于优质烟叶总氮含量标准;X2F、C3F、B2F 等级烟叶各处理总糖、还原糖含量均高于优质烟叶总糖、还原糖含量标准;X2F、C3F、B2F 等级烟叶各处理烟碱含量、氯含量、钾含量均达到优质烟叶烟碱、氯、钾含量标准。不同等级烟叶 CK 处理初烤烟叶氯含量均最高。X2F 等级烟叶 T3 处理(80%代森锰锌)总糖、钾含量最高,T2 处理(40%菌核净)烟碱、还原糖含量最高,CK 处理总氮、烟碱、钾、还原糖含量最低,但 CK 烟叶氯含量最高。C3F 等级烟叶 T3 处理(80%代森锰锌)除氯含量外,其余各指标均最高,CK 处理不利于 C3F 等级烟叶化学成分合成。B2F 等级烟叶 T3 处理(80%代森锰锌)总糖、烟碱、还原糖含量均最高;T1 处理(30%苯醚甲环唑)不利于烟叶化学成分

形成。由此可知,X2F、C3F 等级烟叶 T2 处理(40%菌核净)、叶 T3 处理(80%代森锰锌)利于烟叶化学成分合成。T3 处理(80%代森锰锌)利于烟叶化学成分合成,B2F 等级烟

表 2 不同药剂对烟株病害的影响

Table 2 Effects of different pesticides on tobacco plant diseases

生长期 Growth period	处理 Treatment	病情级数占比 Proportion of disease level//%						发病率 Incidence rate//%	病情指数 Disease indx
		0 级	1 级	3 级	5 级	7 级	9 级		
团棵期 Cluster period	T1	97.67 a	2.33 b	0	0	0	0	7.78 b	0.26 a
	T2	98.33 a	1.67 b	0	0	0	0	4.44 b	0.15 a
	T3	98.57 a	1.35 b	0.08	0	0	0	4.36 b	0.13 a
	CK	95.67 b	4.00 a	0.33	0	0	0	14.45 a	0.56 a
旺长期 Prosperous growth period	T1	93.99 b	3.01 a	2.00 a	1.00 a	0	0	20.00 ab	1.55 a
	T2	95.33 ab	2.67 a	1.33 a	0.67 a	0	0	10.00 b	0.63 b
	T3	96.33 a	2.67 a	1.00 a	0 b	0	0	13.33 ab	0.67 b
	CK	93.01 c	3.02 a	2.30 a	1.00 a	0.67	0	23.33 a	2.19 a
成熟期 Maturity period	T1	87.33 b	4.33 b	3.67 a	2.34 ab	1.33 a	1.00 ab	42.22 ab	5.04 ab
	T2	90.00 a	4.67 b	2.67 b	1.33 b	0.67 a	0.66 bc	23.33 b	2.63 b
	T3	91.00 a	3.33 b	2.34 b	2.00 ab	1.33 a	0 c	30.00 b	3.30 b
	CK	82.66 c	7.00 a	4.00 a	3.00 a	1.67 a	1.67 a	57.78 a	6.74 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P < 0.05$)

表 3 不同药剂对烟叶化学成分的影响

Table 3 Effects of different medicaments on the chemical composition of tobacco leaves

烟叶等级 Tobacco grade	处理 Treatment	总氮 Total nitrogen	总糖 Total sugar	烟碱 Nicotine	氯 Chlorine	钾 Potassium	还原糖 Reducing sugar
X2F	T1	1.09 b	34.28 b	2.26 a	0.61 a	2.75 c	28.08 a
	T2	1.16 ab	35.38 ab	2.35 a	0.61 a	2.99 b	28.17 a
	T3	1.19 a	36.33 a	2.32 a	0.59 a	3.12 a	27.95 a
	CK	1.08 b	36.22 ab	2.16 a	0.65 a	2.28 d	27.79 a
C3F	T1	1.15 ab	36.29 ab	2.48 a	0.63 a	3.19 a	28.19 ab
	T2	1.15 ab	36.55 a	2.48 a	0.68 a	3.07 a	28.21 ab
	T3	1.21 a	36.62 a	2.52 a	0.64 a	3.33 a	28.33 a
	CK	1.09 b	35.70 b	2.37 a	0.72 a	2.30 b	28.11 b
B2F	T1	1.15 b	35.45 d	2.57 a	0.56 a	3.13 a	27.56 c
	T2	1.22 a	36.23 b	2.41 a	0.63 a	3.24 a	28.17 b
	T3	1.22 a	36.34 a	2.64 a	0.61 a	3.23 a	28.28 a
	CK	1.12 b	36.10 c	2.49 a	0.64 a	2.41 b	28.12 b

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant difference between different treatments ($P < 0.05$)

3 讨论

我国烤烟产区主要施用菌核净防治烟草赤星病,李宏光等^[14]研究表明,施用 40% 菌核净 500~800 倍液对烟草赤星病的防治效果较高,且药效较稳定。彭世逞等^[15]研究认为 10% 多抗霉素、40% 菌核净对烟草赤星病原菌的抑制率较高,10% 多抗霉素对烟草赤星病原菌的抑制率较低。许灵杰等^[16]研究得出竹醋液与菌核净复配剂能够较好地防治烟草赤星病且能有效减少农药残留。曾超宁^[17]研究表明 40% 菌核净可湿性粉剂、70% 甲基托布津可湿性粉剂对烟草赤星病防治效果较明显。卢江等^[18]研究认为多抗霉素 1 000 倍液+40% 氟硅唑乳复配剂对赤星病防治效果佳。综合以上研究得出,在烟草赤星病防治常见农药中,40% 菌核净 500~800 倍液、40% 菌核净配施其他农药可以达到较好的防治效果。该研究探究 30% 苯醚甲环唑、40% 菌核净、80% 代森锰锌对“云烟 87”赤星病的防治效果,筛选最有防治效果的

药剂,降低烟叶病害损失,提高烟叶质量。该研究与上述研究结论略有差异,其原因为研究区域不同,生态气候、土壤、种植制度、耕作模式、肥水管理等方面均存在一定差异。另外,研究年限、样品采集方法、数据采集时间、试验方法等也不尽相同,都会影响结果。今后烤烟病害研究中需继续加大研究深度、力度、广度,探索最有效的烟草赤星病防治方法,实现烟草产业绿色、生态、优质、特色、安全^[19-20]。

4 结论

烤烟生长的团棵期,T3 处理(80%代森锰锌)烟株农艺性状较好;旺长期 T3 处理(80%代森锰锌)烟株农艺性状表现最好;成熟期 T3 处理(80%代森锰锌)田间农艺性状表现最佳。由此可知,T3 处理(80%代森锰锌)利于烟株生长,CK 处理不利于烟株生长。

烤烟生长期 CK 处理烟草赤星病发病率、病情指数均最高。团棵期发病较轻,T3 处理在烤烟团棵期能有效防治赤

星病的发生。旺长期喷施 40% 菌核净及 80% 代森锰锌能有效防治烟草赤星病。成熟期喷施 40% 菌核净、80% 代森锰锌对烟草赤星病防治效果较好。

X2F 等级烟叶 T3 处理(80%代森锰锌)总氮、总糖、钾含量最高,T2 处理(40%菌核净)烟碱、还原糖含量最高,CK 处理总氮、烟碱、钾、还原糖含量最低,但 CK 烟叶氯含量最高。C3F 等级烟叶 T3 处理(80%代森锰锌)除氯含量外,其余各项化学指标均最高,CK 处理不利于 C3F 等级烟叶化学成分合成。B2F 等级烟叶 T3 处理(80%代森锰锌)总糖、烟碱、钾、还原糖含量均最高;T1 处理(30%苯醚甲环唑)不利于烟叶化学成分形成。

参考文献

- [1] 陈杰,李六英,高敏,等.烟草赤星病室内防治药剂筛选及田间防治效果[J].中国烟草科学,2017,38(1):73-77.
- [2] 连海,申昌优,钟善良,等.赣州烟区烟草赤星病防治药剂筛选[J].安徽农业科学,2020,48(22):148-149,165.
- [3] 朱宇航,黄思洋,陈华保,等.烟草赤星病防治药剂的筛选[J].烟草科技,2019,52(5):14-19.
- [4] 宋莉莎,司世飞,龙友华,等.烟草赤星病生防芽孢杆菌的筛选鉴定及其生长条件研究[J].河南农业科学,2019,48(1):84-89.
- [5] 杨梅.烟草赤星病的发生及综合防治研究进展[J].现代农业科技,2019(1):120,122.
- [6] 王佩,欧雅珊,张强,等.烟草赤星病研究进展[J].安徽农业科学,2018,

46(21):33-36.

- [7] 胡晓莉,蒋彩虹,耿锐梅,等.山东部分地区烟草赤星病原菌的形态学与分子生物学鉴定[J].江苏农业科学,2018,46(11):82-86.
- [8] 杨春元,王志红,孔德均,等.烤烟抗赤星病种质资源的农艺性状及烤后烟叶化学成分分析[J].南方农业学报,2018,49(5):839-847.
- [9] 耿莉娜,帅红,赵敏,等.重庆巫溪烟区烟草赤星病原菌鉴定[J].江苏农业科学,2016,44(8):181-183.
- [10] 杨志晓,薛刚,丁燕芳,等.烟草赤星病胁迫对不同抗性品种光合特性和渗透调节的影响[J].中国烟草学报,2015,21(3):82-87.
- [11] 刘建香,曹卫东,郭云周,等.红壤翻压绿肥对烟草农艺性状及线虫危害的影响[J].中国土壤与肥料,2015(4):123-127,130.
- [12] 王宁.气相色谱、流动分析仪在烟草分析中的应用[J].科技创新与应用,2016(14):172.
- [13] 杨志晓,丁燕芳,张小全,等.赤星病胁迫对不同抗性烟草品种光合作作用和叶绿素荧光特性的影响[J].生态学报,2015,35(12):4146-4154.
- [14] 李宏光,周志成,钟权,等.7种药剂防治烟草赤星病的田间药效试验[J].湖南农业科学,2012(16):28-29.
- [15] 彭世逞,吴昊,朱陈曾,等.几种药剂对烟草赤星病菌的抑制作用[J].西昌学院学报(自然科学版),2015,29(3):1-3.
- [16] 许灵杰,曲振飞,韦斌,等.竹醋液与菌核净复配剂对烟株大田生长及烟草赤星病防治的影响[J].贵州农业科学,2020,48(5):64-68.
- [17] 曾超宁.不同诱抗剂对烟草赤星病的诱导抗病作用[J].安徽农业科学,2015,43(13):115-116,281.
- [18] 卢江,李长权,刘文通,等.烟草赤星病绿色防控技术研究[J].现代农业科技,2020(4):102-103.
- [19] 李自林,陆亚春,赵磊峰,等.靖西市植烟土壤肥力适宜性综合评价[J].作物杂志,2021(3):155-160.
- [20] 陆亚春,李自林,年夫照,等.不同有机肥对烤烟生长及产质量的影响[J].江西农业学报,2020,32(9):102-106.

(上接第 124 页)

间、减轻病害发生程度。3 个菌株组合处理防病效果最佳,能够延迟发病时间 8~10 d,在田间发病程度较轻的情况下,防病效果达 50% 以上。与该研究结果一致,多种有益微生物组合或合成菌群在控制植物青枯病方面比单一菌株更有效^[17-18],表明微生物之间的相互作用和协同效应是至关重要的。需要指出的是,生防菌及其组合在发病程度较重的烟田防治效果显著下降,暗示生防菌对轻至中度发生的病害更为有效。此外,随着病情的发展,中生菌素防效下降较生防菌组合更为显著,说明生防菌处理有助于提高土壤持久抗病能力。

该试验结果进一步表明,基于烟草根际核心微生物组筛选获得的黄色假单胞菌 FGD5-2、韩国假单胞菌 HCH2-3 和霍氏假单胞菌 MTD4-1 组合对轻至中度发生的烟草青枯病具有较好的防治效果,同时对烟株还表现出很好的促生作用。但随着生育期延长和病害发生加重,防病效果逐渐减低,如何提高生防菌的持续发病能力有待进一步研究。

参考文献

- [1] RAAIJMAKERS J M, WELLER D M. Natural plant protection by 2,4-diacetylphloroglucinol-producing *Pseudomonas* spp. in take-all decline soils [J]. Mol Plant Microbe Interact, 1998, 11(2): 144-152.
- [2] MENDES R, KRUIJT M, DE BRUIJN I, et al. Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria [J]. Science, 2011, 332(6033): 1097-1100.
- [3] WEI Z, YANG X M, YIN S X, et al. Efficacy of *Bacillus*-fortified organic fertiliser in controlling bacterial wilt of tomato in the field [J]. Appl Soil Ecol, 2011, 48(2): 152-159.
- [4] GUO Q, SHI M D, CHEN L, et al. The biocontrol agent *Streptomyces pactum* increases *Pseudomonas koreensis* populations in the rhizosphere by enhancing chemotaxis and biofilm formation [J/OL]. Soil Biol Biochem, 2020, 144 [2021-03-25]. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107755>.

- [5] NION Y A, TOYOTA K. Suppression of bacterial wilt and *Fusarium* wilt by a *Burkholderia nodosa* strain isolated from Kalimantan soils, Indonesia [J]. Microb Environ, 2008, 23(2): 134-141.
- [6] BOUKAEW S, CHUENCHIT S, PETCHARAT V. Evaluation of *Streptomyces* spp. for biological control of *Sclerotium* root and stem rot and *Ralstonia* wilt of chili pepper [J]. BioControl, 2011, 56(3): 365-374.
- [7] LEBEIS S L. The potential for give and take in plant-microbiome relationships [J]. Front Plant Sci, 2014, 5: 1-6.
- [8] BAHRAM M, PÖLME S, KÖLJALG U, et al. A single European aspen (*Populus tremula*) tree individual may potentially harbour dozens of *Cenococcium geophilum* ITS genotypes and hundreds of species of ectomycorrhizal fungi [J]. FEMS Microbiol Ecol, 2011, 75(2): 313-320.
- [9] DOPHEIDE A, LEAR G, HE Z L, et al. Functional gene composition, diversity and redundancy in microbial stream biofilm communities [J]. PLoS One, 2015, 10: 1-21.
- [10] SURRIDGE C. Plant-microbe interactions: Microbiome remote control [J]. Nat Plants, 2015, 1: 1.
- [11] ZHENG Y F, HAN X B, ZHAO D L, et al. Exploring biocontrol agents from microbial keystone taxa associated to suppressive soil: A new attempt for a biocontrol strategy [J]. Front Plant Sci, 2021, 12: 1-13.
- [12] VAN DER HEIJDEN M G A, HARTMANN M. Networking in the plant microbiome [J]. PLoS Biol, 2016, 14(2): 1-9.
- [13] HARTMANN M, FREY B, MAYER J, et al. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming [J]. ISME J, 2016, 9: 1177-1194.
- [14] DE VRIES F T, GRIFFITHS R I, BAILEY M, et al. Soil bacterial networks are less stable under drought than fungal networks [J]. Nat Commun, 2018, 9(1): 1-12.
- [15] BANERJEE S, WALDER F, BÜCHI L, et al. Agricultural intensification reduces microbial network complexity and the abundance of keystone taxa in roots [J]. ISME J, 2019, 13(7): 1722-1736.
- [16] BANERJEE S, SCHLAEPI K, VAN DER HEIJDEN M G A. Keystone taxa as drivers of microbiome structure and functioning [J]. Nat Rev Microbiol, 2018, 16(9): 567-576.
- [17] HU J, WEI Z, FRIMAN V P, et al. Probiotic diversity enhances rhizosphere microbiome function and plant disease suppression [J]. mBio, 2016, 7: e01790-e01716.
- [18] JIANG G F, WEI Z, XU J, et al. Bacterial wilt in China: History, current status, and future perspectives [J]. Front Plant Sci, 2017, 8: 1-10.