

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2023.03.003

7 种杀菌剂与拮抗菌 SJ1606 发酵代谢物配合 对苹果树腐烂病菌的抑制活性

王 猛, 段海明*, 李之硕, 孟祥涛, 陆文杰

(安徽科技学院农学院, 安徽 凤阳 233100)

摘要:[目的]明确 7 种杀菌剂和拮抗菌 SJ1606 对苹果树腐烂病菌防治效果、筛选出高效混配剂,为传统化学杀菌剂的减量增效使用提供参考方向。[方法]采用菌丝生长速率法测定了 7 种杀菌剂和拮抗菌 SJ1606 发酵代谢物以及新型混剂对苹果树腐烂病菌的抑制效果。[结果]苹果树腐烂病菌对咪鲜胺、戊唑醇、丙环唑、多菌灵、苯醚甲环唑表现为高度敏感,以上 5 种化学杀菌剂对病原菌的 EC_{50} 分别为 0.12、0.33、0.57、0.64、1.14 $\mu\text{g}/\text{mL}$;对吡唑醚菌酯表现为中度敏感 EC_{50} 为 6.92 $\mu\text{g}/\text{mL}$;对福美双表现为不敏感, EC_{50} 为 149.99 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。SJ1606 发酵上清液和脂肽粗提物对病菌的 EC_{50} 分别为 40.36、14.75 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 。采用体积混配方法,脂肽粗提物对部分化学药剂表现出较强的增效作用,其中与多菌灵混配以 7:3 增效最为明显,毒性比达 1.72;与吡唑醚菌酯以 6:4 的毒性比最高为 1.58,与咪鲜胺混配以 6:4 的混配毒性比最高为 1.50;与丙环唑混配以 5:5 毒性比最高为 1.48。[结论]成功筛选出脂肽粗提物对化学杀菌剂混配增效比例,这对后续生防菌 SJ1606 的开发利用、杀菌剂的减量使用以及新型混剂的创制提供技术支持。

关键词:苹果树腐烂病;拮抗菌;杀菌剂;脂肽

中图分类号:S436.611.11 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2023)03-0015-06

Inhibitory Activity of Seven Fungicides Combined with Fermentation Metabolites of Antagonistic Bacteria SJ1606 Against *Valsa mali*

WANG Meng, DUAN Haiming*, LI Zhishuo, MENG Xiangtao, LU Wenjie

(College of Agriculture, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100, China)

Abstract:[Objective] The aim was to clarify the control effect of seven fungicides and antagonistic bacteria SJ1606 on *Valsa mali*, screen out efficient mixed fungicides, and provide reference for the reduction and synergistic use of traditional chemical fungicides. [Method] The inhibitory effects of seven fungicides and antagonistic bacteria SJ1606 fermentation metabolites and new mixtures on *Valsa mali* were determined by mycelial growth rate method. [Result] The results showed that *V. mali* was highly sensitive to prochloraz, tebuconazole, propiconazole, carbendazim and difenoconazole. The EC_{50} values of the above five chemical fungicides were 0.12, 0.33, 0.57, 0.64, 1.14 $\mu\text{g}/\text{mL}$, respectively. The EC_{50} of moderate sensitivity to pyraclostrobin was 6.92 $\mu\text{g}/\text{mL}$. It was insensitive to thiram, and the EC_{50} was 149.99 $\mu\text{g}/\text{mL}$. The EC_{50} of SJ1606 fermentation supernatant and lipopeptide crude extract were 40.36, 14.75 $\mu\text{L}/\text{mL}$, respectively. The crude extract of lipopeptide showed a strong synergistic effect on some chemical agents by volume mixing method, and the synergistic effect was the most obvious when mixed with carbendazim at 7:3, with a toxicity ratio of 1.72. The highest toxicity ratio with pyraclostrobin at 6:4 was 1.58, and the highest toxicity ratio with prochloraz at 6:4 was 1.50. The highest toxicity ratio was 1.48 when mixed with propiconazole at 5:5. [Conclusion] The synergistic ratio of lipopeptide crude extract

收稿日期:2023-05-04

基金项目:安徽省自然科学基金资助项目(2308085mc90);安徽省高校自然科学基金项目(KJ2017A510、KJ2019A0814);作物抗逆育种与减灾国家地方联合工程实验室开放基金(NELCOF20190102);安徽省财政农业科技成果转化项目(2022ZH015);安徽省重点研究与开发计划项目(202104a06020001);大学生创新训练计划(X202210879040)。

作者简介:王猛(1999—),男,安徽灵璧人,硕士研究生,主要研究方向:植物病害综合防治, e-mail: m19856985009@163.com。

***通信作者:**段海明(1982—),男,山东蒙阴人,副教授,博士,主要研究方向:生物农药, e-mail: duanhm@ahstu.edu.cn。

to chemical fungicides was successfully screened out, which provided technical support for the development and utilization of biocontrol bacteria SJ1606, the reduction of fungicides and the creation of new mixtures.

Keywords: *Valsa mali*; antagonistic bacteria; fungicide; lipopeptide

0 引言

中国是世界上最大的苹果生产国,苹果种植面积和产量均占世界 50% 以上^[1]。苹果树腐烂病是由苹果黑腐皮壳菌(*Valsa mali* Miyabe et Yamada) 侵染导致,会造成枝干腐烂,久而不治引起死树的风险极高^[2]。加强土壤、肥料和水分等农业管理措施是防治苹果树腐烂病的根本途径,同时还要防止冬季冻伤对苹果树的危害^[3]。在生产中,防治苹果树腐烂病的最主要的方式依然是使用化学杀菌剂^[4-5],但由于化学杀菌剂的不合理使用对环境造成污染、危害人畜健康,诱导病菌产生抗药性,导致危害更加严重^[6-7]。因此病害防治应由传统的化学防治方法向绿色、安全防治方向转变。当下利用微生物以菌治菌防治病害,不仅可以有效降低化学杀菌剂的大量使用所产生的危害,还是当前逐步实现生态农业的途径之一^[8]。刘欣等^[9]筛选出的贝莱斯芽孢杆菌 DM3-29、萎缩芽孢杆菌 DM3-18 在离体枝条上对苹果树腐烂病菌防效均在 64% 之上,并且这 2 种生防菌还具有广谱抑菌性;李恩琛等^[10]研究发现枯草芽孢杆菌 B1 发酵原液对苹果树腐烂病菌的抑制率为 80.41%,枯草芽孢杆菌 B1 与多粘类芽孢杆菌 FS-1206 的发酵菌液以体积比 2:1 进行复配对苹果树腐烂病菌的抑制率为 86.64%,二者混配显示出较好的增效活性。目前,生物防治和化学防控配合使用也有较多报道,二者结合可以使生防的环境友好特性和化学药剂的速效性得以有效结合,最终达到杀菌剂减量和病害高效防控的目的。李雪晴等^[11]利用 1 亿 CFU/g 贝莱斯芽孢杆菌 NT35 与多菌灵(1:1)复配使用对人参锈腐病(*Ilyonectria* spp.)防治效果高于多菌灵单剂,并可减少多菌灵 50% 的用量;刘淑娟等^[12]利用 4 种芽孢杆菌在肉汁胨斜面培养基培养 24~48 h 后,加无菌水摇匀制备的菌悬液与 1.0 mg/L 的甲基硫菌灵混配增强对茄腐镰孢菌(*Fusarium solani*)抑制效果,比甲基硫菌灵单用的防效提高了 14%~19%。综上所述,利用生防菌和化学药剂对苹果树腐烂病防治的研究较多,而从微生物源发酵上清液中提取的脂肽类物质对苹果树腐烂病菌的抑制活性以及脂肽和化学杀菌剂配合对苹果树腐烂病菌的抑制活性研究还鲜见报道。因此,本研究采用菌丝生长速率法测定了 7 种化学杀菌剂、拮抗菌

SJ1606 发酵上清液、脂肽粗提物以及脂肽粗提物和杀菌剂配合对苹果树腐烂病菌的抑制效果,旨在为化学杀菌剂的科学使用、拓宽生防菌产脂肽的利用范围和苹果树腐烂病的可持续防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试杀菌剂、拮抗菌和病原菌

97.5% 吡唑醚菌酯原药(青岛瀚生生物科技股份有限公司)、95.7% 丙环唑原油(江苏丰登作物保护股份有限公司)、96% 咪鲜胺原药和 98.6% 戊唑醇原药(山东华阳科技股份有限公司)、95.2% 苯醚甲环唑原药(山东寿光双星化工厂)采用丙酮溶解配成母液备用;50% 福美双可湿性粉剂(江苏南通宝叶化工有限公司)和 80% 多菌灵可湿性粉剂(江阴市农药二厂有限公司)均用灭菌水溶解现配现用。

苹果黑腐皮壳菌(*Valsa mali* Miyabe et Yamada)和解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*) SJ1606 由安徽科技学院农学院植物病害生物防治实验室保存并提供。

1.2 供试培养基

PDA 培养基、NA 培养基、NB 培养基参照方中达的方法配制^[13]。

1.3 方法

1.3.1 7 种化学杀菌剂对苹果树腐烂病菌的毒力测定

7 种化学杀菌剂分别设置 6 个质量浓度梯度,如表 1 所示。采用菌丝生长速率法^[14]测定 7 种化学杀菌剂对苹果树腐烂病菌的抑制效果。分别吸取不同浓度的杀菌剂药液 5 mL 加入 45 mL PDA 培养基混匀,以加无菌水为对照,均匀倒 3 个平板,待平板内培养基凝固后,在平板中心接种培养 96 h 的苹果树腐烂病菌菌饼(直径 7 mm)。然后置于 26 °C 恒温恒湿培养箱中培养 96 h 后测量菌落直径,采用 SPSS 25.0 软件求出 7 种化学杀菌剂对病菌的毒力回归方程、 EC_{50} 值、95% 置信限和 r^2 。

1.3.2 生防菌 SJ1606 发酵上清液对苹果树腐烂病菌的抑制活性测定

将菌株 SJ1606 划线培养 48 h,挑取菌苔接入 8 mL NB 培养基中培养 12 h 后,以 10% (体积比, V/V) 的接种量接入到 8 mL NB 培养基中培养 8 h 获得种

表1 不同杀菌剂浓度梯度设置

杀菌剂	质量浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)
咪鲜胺	0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.10, 0.20
丙环唑	0.05, 0.10, 0.20, 0.40, 0.80, 1.60
戊唑醇	0.05, 0.10, 0.20, 0.40, 0.80, 1.60
吡唑醚菌酯	0.50, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 12.00
苯醚甲环唑	0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25
多菌灵	0.10, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1.20
福美双	80, 100, 120, 160, 200, 400

子液,将种子液以5%(V/V)接种量接入50 mL NB培养基中培养96 h获取发酵液,然后以10 000 r/min, 4℃离心10 min取上清液。将上清液稀释10、20、30、40、50和60倍,参照1.3.1的方法测定不同稀释倍数发酵上清液对苹果树腐烂病菌的抑制活性。

1.3.3 脂肽粗提物对苹果树腐烂病菌的抑制活性测定

参照邓建良等^[15]的方法,将培养96 h的发酵上清液用酸沉醇提的方法制得脂肽粗提物。将脂肽粗提物分别稀释40、60、80、100和120倍。参照

1.3.1的方法测定不同稀释倍数脂肽粗提物对苹果树腐烂病菌的抑制活性,计算脂肽粗提液对病菌的 EC_{50} 。

1.3.4 脂肽粗提物和化学杀菌剂混配的毒性比率测定

以脂肽粗提物和化学杀菌剂对苹果树腐烂病菌的 EC_{50} 为基础,采用陈福良等^[16]的方法设计脂肽粗提物和化学杀菌剂混配试验,得出实际抑菌率与毒性比率。

2 结果与分析

2.1 7种杀菌剂对苹果树腐烂病菌的毒力

如表2所示, $EC_{50}<5\ \mu\text{g}/\text{mL}$ 为高度敏感, $5\ \mu\text{g}/\text{mL}<EC_{50}<20\ \mu\text{g}/\text{mL}$ 为中度敏感, $EC_{50}>20\ \mu\text{g}/\text{mL}$ 为不敏感^[17]。保护性杀菌剂福美双的抑制效果较差, EC_{50} 为149.99 $\mu\text{g}/\text{mL}$;内吸性杀菌剂中抑制效果最佳的咪鲜胺 EC_{50} 为0.12 $\mu\text{g}/\text{mL}$,其次是戊唑醇、丙环唑、多菌灵、苯醚甲环唑, EC_{50} 分别为0.33、0.57、0.64、1.14 $\mu\text{g}/\text{mL}$,吡唑醚菌酯抑制效果中等, EC_{50} 为6.92 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

表2 不同杀菌剂对苹果树腐烂病菌的毒力测定

杀菌剂	毒力回归方程	$EC_{50}/(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$	95%置信限	r^2
咪鲜胺	$y=0.98x+0.91$	0.12	0.10~0.14	0.97
戊唑醇	$y=1.25x+0.60$	0.33	0.29~0.38	0.96
丙环唑	$y=0.95x+0.23$	0.57	0.46~0.73	0.95
多菌灵	$y=6.03x+1.15$	0.64	0.62~0.67	0.99
苯醚甲环唑	$y=0.56x-0.32$	1.14	0.73~1.52	0.95
吡唑醚菌酯	$y=0.63x-0.57$	6.92	5.28~9.77	0.96
福美双	$y=1.83x-3.98$	149.99	139.03~164.89	0.97

2.2 生防菌SJ1606发酵上清液对苹果树腐烂病菌的抑制活性

从表3可知,SJ1606发酵上清液浓度从16.67 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 增至100.00 $\mu\text{L}/\text{mL}$,抑制率稳步增加,上清液稀释50倍和60倍对病菌的抑菌率小于30%,上清液稀释10倍和20倍对病菌的抑制率分别为71.26%和61.00%。经SPSS25.0软件分析可知,发酵上清液对病菌的 EC_{50} 为40.36 $\mu\text{L}/\text{mL}$,说明菌株SJ1606发酵上清液对苹果树腐烂病菌具有较好的抑制效果,如图1所示。

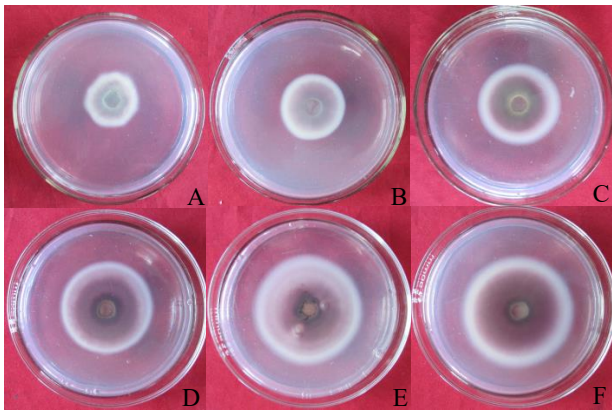
2.3 生防菌SJ1606产脂肽粗提物对病菌的抑制活性

由表4可知,SJ1606产脂肽粗提物浓度从8.33 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 增至25.00 $\mu\text{L}/\text{mL}$,其对苹果树腐烂病菌的抑

表3 不同稀释倍数的发酵上清液对苹果树腐烂病菌的抑制率

稀释倍数	上清液浓度/($\mu\text{L}\cdot\text{mL}^{-1}$)	抑制率(平均值 \pm 标准误差)/%
10.00	100.00	71.26 \pm 1.72 a
20.00	50.00	61.00 \pm 1.23 b
30.00	33.33	49.37 \pm 1.00 c
40.00	25.00	38.22 \pm 1.51 d
50.00	20.00	27.26 \pm 0.99 e
60.00	16.67	23.03 \pm 0.91 f

注:不同小写字母表示在0.05水平上差异有统计学意义。



注:A、B、C、D、E、F、分别对应上清液浓度 100.0、50.00、33.33、25.00、20.00 和 16.67 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 。

图 1 不同稀释倍数发酵上清液对苹果树腐烂病菌的抑制效果

制率从 21.50% 增至 83.52%, 脂肽粗提物稀释 40 倍对苹果树腐烂病菌的抑制率达 83.52%, 对病菌 EC_{50} 为 14.75 $\mu\text{L}/\text{mL}$, 高浓度的脂肽粗提物对苹果树腐烂病菌抑制效果较好。生防菌产脂肽粗提物与发酵上清液相比对病原菌的防治效果更加突出, 下一步探究其与化学杀菌剂混配对苹果树腐烂病菌的抑制效果。

表 4 不同稀释倍数的脂肽粗提物对苹果树腐烂病菌的抑制率

稀释倍数	脂肽粗提物浓度/ ($\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}$)	抑菌率(平均值 \pm 标准误差)/%
120	8.33	21.51 \pm 0.75 d
100	10.00	25.53 \pm 0.90 d
80	12.50	36.10 \pm 1.03 c
60	16.67	50.94 \pm 0.87 b
40	25.00	83.52 \pm 1.44 a

注:不同小写字母表示在 0.05 水平上差异有统计学意义。

2.4 脂肽粗提物和化学杀菌剂混配的毒性测定

从表 5~6 可见, 7 种化学杀菌剂与脂肽粗提物按照不同体积比混配对苹果树腐烂病菌均存在抑菌增效组合。苯醚甲环唑与脂肽混配以 5:5 的比例混配毒性比最高为 1.14, 体积比为 9:1 时表现出拮抗作用, 其他的体积比例混配主要表现为相加作用; 吡唑醚菌酯与脂肽混配主要表现为增效作用, 其中以 6:4 的比例混配毒性比最高为 1.58; 丙环唑与脂肽混配体积比为 1:9 表现为相加作用, 其他比例均

表现为增效作用, 在 5:5 比例时毒性比最高为 1.48; 多菌灵与脂肽混配主要表现为增效作用, 7:3 比例的毒性比最高达 1.72。福美双与脂肽混配均表现为增效作用在 6:4 的比例毒性比最高, 毒性比为 1.45; 咪鲜胺与脂肽混配均表现为增效作用, 其中以 6:4 的比例混配毒性比最高为 1.50; 戊唑醇与脂肽体积比为 6:4 的毒性比最高为 1.30 具有增效作用。

3 讨论与结论

苹果树腐烂病作为我国苹果树重大病害之一, 严重发生时, 将产生不可估量的影响, 研究其新型应对措施具有重要意义^[18]。马荣等^[19]研究发现萎缩芽孢杆菌 XW2 产发酵滤液对苹果树腐烂病菌防效为 52.4%; 王宁等^[20]利用娄彻氏链霉菌 (*Streptomyces rochei*) A144 发酵滤液对苹果树腐烂病菌抑制率为 85.06%, 脂肽粗提物对病原菌抑制效果为 81.44%。本研究的解淀粉芽孢杆菌 SJ1606 发酵上清液稀释 10 倍时和 SJ1606 代谢产物脂肽稀释 40 倍时对苹果树腐烂病菌抑制率分别为 71.26%、83.52%。由此可以看出, 解淀粉芽孢杆菌 SJ1606 对苹果树腐烂病的防治方面具有潜在的应用价值。脂肽类物质主要由丰原素 (Fengycin)、伊枯草菌素 (Iturin) 和表面活性素 (Surfactin) 3 种化合物组成^[21]。其中表面活性素可使菌丝体裂解, 而丰原素、伊枯草菌素影响病原菌细胞膜表面张力, 导致细胞膜表面形成孔洞, 膜内重要电解质离子外泄, 使细胞丧失活性^[22]。细胞膜具有孔洞的同时也可使化学杀菌剂更加容易作用到细胞内部, 达到更加高效的抑菌效果。殷辉等^[23]利用枯草芽孢杆菌 LF17 菌悬液和甲基硫菌灵复配剂对苹果树腐烂病菌的抑制率为 81.36%, 同等防效下减少了 60% 甲基硫菌灵的使用量。杨阿丽等^[24]研究发现多粘芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌粉剂分别与咪鲜胺混配对苹果树腐烂病抑制率都达到 100%, 本研究发解淀粉芽孢杆菌产脂肽粗提物和咪鲜胺复配使用增效效果也很显著, 说明咪鲜胺和生防菌联合使用在防治苹果树腐烂病方面具有重要意义, 除此之外, 脂肽粗提物对丙环唑、吡唑醚菌酯和多菌灵 3 种化学杀菌剂也具有较弱的增效活性。本文虽探明脂肽粗提物与化学杀菌剂之间的增效复配比, 但生防菌代谢产物协同化学杀菌剂防治植物病害的增效机制尚不清晰。混配剂在室内对病原菌具有较好的防治效果, 但仍需开展田间试验验证防治效果。

表5 苯醚甲环唑、吡唑醚菌酯、丙环唑与SJ1606脂肽粗提取物复配对苹果树腐烂病原菌的毒性比率

V(化学杀菌剂): V(脂肽粗提取物)	实际抑菌率/%			理论抑菌率/%			毒性比率		
	苯醚甲环唑	吡唑醚菌酯	丙环唑	苯醚甲环唑	吡唑醚菌酯	丙环唑	苯醚甲环唑	吡唑醚菌酯	丙环唑
0:10	54.14	55.71	50.84	54.14	55.71	50.84	1.00	1.00	1.00
1:9	55.19	78.28	52.58	53.55	55.68	50.70	1.03	1.41	1.04
2:8	54.55	81.70	61.71	52.96	55.65	50.57	1.03	1.47	1.22
3:7	58.72	85.65	57.29	52.37	55.62	50.44	1.12	1.54	1.14
4:6	56.91	87.29	70.02	51.78	55.59	50.30	1.10	1.57	1.39
5:5	58.49	86.63	74.18	51.19	55.56	50.17	1.14	1.56	1.48
6:4	55.19	87.73	71.45	50.6	55.54	50.03	1.09	1.58	1.43
7:3	54.92	85.34	63.50	50.01	55.51	49.90	1.10	1.54	1.27
8:2	52.57	84.16	60.89	49.42	55.48	49.77	1.06	1.52	1.22
9:1	43.13	76.93	61.64	48.83	55.45	49.63	0.88	1.39	1.24
10:0	48.24	55.42	49.50	48.24	55.42	49.50	1.00	1.00	1.00

表6 多菌灵、福美双、咪鲜胺、戊唑醇与SJ1606脂肽粗提取物复配对苹果树腐烂病原菌的毒性比率

V(化学杀菌剂): V(脂肽粗提取物)	实际抑菌率/%				理论抑菌率/%				毒性比率			
	多菌灵	福美双	咪鲜胺	戊唑醇	多菌灵	福美双	咪鲜胺	戊唑醇	多菌灵	福美双	咪鲜胺	戊唑醇
0:10	51.16	51.68	50.84	50.95	51.16	51.68	50.84	50.95	1.00	1.00	1.00	1.00
1:9	66.62	61.43	64.39	50.28	50.92	51.71	50.92	51.31	1.31	1.18	1.26	0.98
2:8	66.51	66.80	71.08	52.93	50.69	51.73	51.00	51.66	1.31	1.29	1.39	1.02
3:7	58.26	67.96	76.04	50.08	50.45	51.76	51.07	52.02	1.15	1.31	1.49	0.96
4:6	65.22	70.54	71.27	55.98	50.21	51.78	51.15	52.37	1.30	1.36	1.39	1.06
5:5	57.69	69.92	76.06	64.12	49.98	51.81	51.22	52.73	1.15	1.35	1.48	1.21
6:4	45.90	75.06	76.71	68.89	49.74	51.83	51.30	53.08	0.92	1.45	1.50	1.30
7:3	85.47	69.61	76.10	48.66	49.51	51.86	51.38	53.44	1.72	1.34	1.48	0.91
8:2	65.48	66.36	71.66	47.90	49.27	51.89	51.45	53.79	1.33	1.28	1.39	0.89
9:1	62.90	59.53	72.37	56.30	49.04	51.91	51.53	54.15	1.28	1.15	1.40	1.04
10:0	48.80	51.94	51.61	54.50	48.80	51.94	51.61	54.50	1.00	1.00	1.00	1.00

参考文献:

- [1] 刘璐,王景红,屈振江,等.陕西省苹果单产非线性预测模型研究[J].中国农学通报,2012,28(25):248-251.
- [2] 王树桐,王亚南,曹克强.近年我国重要苹果病害发生概况及研究进展[J].植物保护,2018,44(5):13-25+50.
- [3] 牛军强,马明,刘兴禄,等.甘肃陇东苹果树腐烂病的发生规律与防治技术[J].中国果树,2011,148(2):53-55.
- [4] 韩玉红,张树武,毛维兴,等.不同杀菌剂对苹果树腐烂病防治效果研究[J].中国果树,2019,197(3):77-80.
- [5] 惠娜娜,郭建明,李继平,等.6种杀菌剂对苹果树腐烂病菌的毒力测定及田间防治效果[J].中国果树,2018,194(6):54-56.
- [6] 刘召阳,王帅,高宇琪,等.2株不同地理来源的苹果树腐烂病菌对甾醇生物合成抑制剂类杀菌剂的交互抗药性及生物适合度分析[J].西北林学院学报,2020,35(2):119-124.
- [7] 刘娟,冯浩,王帅,等.苹果树腐烂病菌对苯醚甲环唑的敏感性[J].植物保护,2019,45(1):170-173.
- [8] 邱德文.生物农药的发展现状与趋势分析[J].中国生物防治学报,2015,31(5):679-684.
- [9] 刘欣,马强,宿静瑶,等.苹果树腐烂病拮抗菌株的分离、筛选和鉴定[J].中国果树,2022,223(5):50-56+61.
- [10] 李恩琛,张树武,徐秉良,等.3株生防细菌间亲和性测定及其对苹果树腐烂病菌的抑制作用[J].甘肃农业大学学报,2020,55(5):94-100.
- [11] 李雪晴,时昕彤,韩林成,等.生物菌剂与化学药剂对人参锈腐病菌的联合生物活性增效筛选及防病效果[J].农药,2022,61(12):910-915.
- [12] 刘淑娟,陈秀蓉,袁宏波,等.芽孢杆菌(*Bacillus spp.*)与甲基硫菌灵混配对茄腐镰孢菌(*Fusarium solani*)的抑制作用[J].植物保护,2008,196(5):149-152.
- [13] 方中达.植病研究方法[M].北京:中国农业出版社,1998:46-50.
- [14] 李东平,龙建友,胡兆农,等.放线菌LDP-18发酵液杀菌活性研究[J].西北农业学报,2005,14(1):102-105.
- [15] 邓建良,刘红彦,刘玉霞,等.解淀粉芽孢杆菌YN-1抑制植物病原真菌活性物质鉴定[J].植物病理学报,2010,40(2):202-209.
- [16] 陈福良,郑斐能,王仪.农药混配室内毒力测定的一种实验技术[J].农药科学与管理,1997(4):30-34.
- [17] 秦虎强,陈芳颖,付鼎程,等.油菜菌核病菌对10种杀菌剂的敏感性及不同药剂田间防效[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011,39(7):117-122.
- [18] 薛应钰,李兴昱,李发康,等.苹果树腐烂病生防真菌Z-12A的鉴定及其生防效果[J].微生物学通报,2021,48(1):57-69.
- [19] 马荣,王敏,蔡桂芳,等.萎缩芽孢杆菌XW2对苹果树腐烂病的室内防效评价[J].新疆农业大学学报,2020,43(2):108-112.
- [20] 王宁,黄伟,鲁致远,等.苹果树腐烂病生防链霉菌A144的鉴定及其代谢产物的抑菌活性[J].西北农业学报,2023,32(3):440-449.
- [21] CAULIER S, NANNAN C, GILLIS A, et al. Overview of the antimicrobial compounds produced by members of the *Bacillus subtilis* group[J]. Front Microbiol, 2019(10): 302.
- [22] KASPAR F, NEUBAUER P, GIMPEL M. Bioactive secondary metabolites from *Bacillus subtilis*: a comprehensive review[J]. J Nat Prod, 2019, 82(7): 2038-2053.
- [23] 殷辉,周建波,吕红,等.枯草芽孢杆菌LF17与甲基硫菌灵协同防治苹果树腐烂病的效果研究[J].中国果树,2021,207(1):28-32.
- [24] 杨阿丽,陈佰鸿,毛娟,等.生物药剂和化学药剂对苹果树腐烂病菌的抑制效应[J].中国农学通报,2015,31(16):173-181.