

苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感性分析

常翠莲 朱旭飞 冯浩* 黄丽丽*

(西北农林科技大学植物保护学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为明确苹果树腐烂病菌 *Valsa mali* 对乙蒜素的敏感性, 采用菌丝生长速率法, 测定了来自中国 7 个省份和 7 个不同年份的 108 株腐烂病菌对乙蒜素的敏感性, 并建立了敏感基线。结果表明, 供试菌株对乙蒜素的 EC₅₀ 分布范围为 3.602 3~55.728 3 μg/mL, 敏感性频率分布呈连续性单峰曲线。经 K-S 法检验符合正态分布, 未发现敏感性显著下降的抗性群体, 平均 EC₅₀ (17.242 1±0.929 2) μg/mL, 可作为苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感基线。分析发现, 不同地理来源的菌株对乙蒜素敏感性存在一定差异, 来自河南省的菌株敏感性最高, 山西省的菌株敏感性最低; 不同年份供试菌株的敏感性未呈现随年份变化的明显规律, 推测苹果树腐烂病菌对乙蒜素仍处于敏感种群阶段。研究结果为乙蒜素的科学应用提供参考。

关键词: 苹果黑腐皮壳菌; 乙蒜素; EC₅₀; 抗药性

中图分类号: S763.19

文献标识码: A

文章编号: 2097-5279(2025)04-0014-07

Sensitivity analysis of *Valsa mali* to ethylicin

CHANG Cuilian ZHU Xufei FENG Hao* HUANG Lili*

(College of Plant Protection, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: To confirm the sensitivity of *Valsa mali* to ethylicin, the sensitivity baseline was established by measuring the mycelial growth of 108 isolates collected from seven provinces of China in seven different years on the media supplemented with series of ethylicin concentrations. The results indicated that 50% effective concentration (EC₅₀) values ranged from 3.602 3 to 55.728 3 μg/mL. Sensitivity frequency distribution showed a continuous single peak curve, presenting a normal distribution. No resistant strain to ethylicin was found in the tested isolates, and the average EC₅₀ value (17.242 1±0.929 2) μg/mL could be the sensitivity baseline of *V. mali* to ethylicin based on analyzed results by K-S method. The isolates collected from different regions showed different sensitivities. The sensitivity of *V. mali* from Henan Province was the highest, while that from Shanxi Province was the lowest. The sensitivity of tested strains in different years did not show an obvious pattern of change with the years, suggesting that *V. mali* is still in a sensitive population stage to ethylicin. The results provide important guidance for the scientific application of ethylicin.

Keywords: *Valsa mali* Miyabe & G. Yamada; ethylicin; EC₅₀; fungicide resistance

苹果树腐烂病 (Apple Valsa canker) 是由苹果黑腐皮壳菌 *Valsa mali* Miyabe & G. Yamada 引起的苹果重大枝干病害 (Wang et al., 2020)。该病害最初于 1903 年在日本发现, 由日本学者最早将其病原菌命名为 *Valsa mali* Miyabe & G. Yamada (Togashi, 1925)。在田间, 该病害主要危害苹果树的主枝和主干等部位, 造成树皮组织大面积腐解溃烂, 严重影响果树健康生长, 导致果实产量和品质下降, 严重时甚至会死树毁园, 给果农带来巨大的经济损失 (曹克强等, 2009)。

由于该病原菌侵染途径复杂, 且具有潜伏侵染特性, 导致该病害防控较为困难, 成为制约苹果产业健康发展的重要因素 (刘福昌等, 1979)。

传统的苹果树腐烂病防控技术主要是刮除病斑后在伤口处涂抹化学药剂。近年来, 随着对苹果树腐烂病菌传播侵染规律的不断深入研究, 发现病菌分生孢子能够全年产生和传播, 花期至幼果期是传播的高峰期 (杜战涛等, 2013)。据此研发出戊唑醇或吡唑醚菌酯等化学药剂, 在病菌传播和侵染高峰

收稿日期: 2025-08-17; 修回日期: 2025-09-19。

基金项目: 陕西省科技重大专项 (2020zdzx03-03-01)。

*通信作者: 冯浩 (E-mail: xiaosong04005@163.com), 教授。

黄丽丽 (E-mail: huanglili@nwsuaf.edu.cn), 教授。

期于树皮表面喷淋,可高效防治病害(焦浩等,2015;王帅等,2019)。然而,长期单一、过量或不合理地使用化学药剂,不仅会影响生态环境安全,还容易导致病菌产生抗药性。有研究表明,苹果树腐烂病菌对甲基硫菌灵等化学药剂的敏感性已经发生变化(周建波等,2016;薛应钰等,2019)。因此,寻找更安全、有效的杀菌剂成为当前迫切需求。

乙蒜素是1960年由我国自主开发的一种高效、低毒和低残留的有机硫杀菌剂,是植物仿生杀菌剂类中具有代表性的高效、无公害杀菌剂。目前,已登记的乙蒜素主要制剂有20%乙蒜素乳油(Emulsifiable Concentrate, EC)、30%乙蒜素 EC、32%乙蒜素 EC、80%乙蒜素 EC以及95%乙蒜素原药,主要用于防控棉花枯萎病、水稻稻瘟病、苹果褐斑病、苹果叶斑病、油菜霜霉病等多种病害。研究表明,80%乙蒜素 EC可以有效防治水稻多种病害,对叶瘟病防治效果达89.40%,穗瘟病防治效果达87.30%,兼治水稻穗褐变病,防治效果达90%(赵永敬等,2006);80%乙蒜素 EC对棉花枯萎病菌的抑菌率达88.28%,田间防治效果显著高于30%噁霉灵水剂(AS)和1000亿/g枯草芽孢杆菌可湿性粉剂(WP)(柳自清等,2021)。重要的是,80%乙蒜素 EC对感染苹果树腐烂病菌的离体枝条的保护效果达82.20%,治疗效果达74.73%。田间应用后,2个试验果园的新增病株率均显著下降,防治效果分别为69.17%和62.64%(苏晓州等,2024)。然而,苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感性水平还未见系统的研究报道。因此,本研究通过测定来自中国7个省份的108株苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感性,并比较不同地理来源及不同年份的菌株敏感性差异,旨在明确病菌对该药剂的敏感性现状,为乙蒜素科学应用于苹果树腐烂病防控提供重要依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌株

采自陕西、山西、山东、甘肃、河南、新疆和辽宁7个省份的108株苹果树腐烂病菌。其中,陕西省23株、山西省36株、山东省11株、甘肃省10株、河南省9株、新疆维吾尔自治区9株和辽宁省10株。所有供试菌株均采用低温短期(4℃,PDA斜面)和低温长期(4℃,25%甘油)保存。上述菌株均由西北农林科技大学植物保护学院果树病害研究团队提供。

1.1.2 供试药剂与浓度

95%乙蒜素原药由海南正业中农高科股份有限公司提供,供试浓度分别设置为5、15、25、35、45和55 μg/mL。

1.2 方法

1.2.1 含药培养基制备

将乙蒜素原药溶于经0.22 μm微孔滤膜过滤除菌的二甲基亚砜中,制成100 μg/mL母液,将母液置于4℃冰箱中备用。用无菌水稀释母液,按照预设浓度加入PDA培养基中,充分混匀,配制成不同质量浓度的乙蒜素含药平板。

1.2.2 苹果树腐烂病菌对乙蒜素敏感性测定

参考刘娟等(2019)的方法进行苹果树腐烂病菌对乙蒜素敏感性的测定。具体步骤如下:被测菌株于PDA平板上25℃培养3d,用直径5mm的灭菌打孔器打取菌饼,并将菌丝面朝下接种至含药平板中心。每个浓度重复3次,以不加药的PDA平板作为对照。将样品置于25℃恒温培养箱中,在黑暗条件下培养3d。培养结束后,采用十字交叉法测量不同浓度含药培养基的菌落直径,计算菌丝生长抑制率,计算公式为:

$$\text{菌丝生长抑制率(\%)} = \frac{(\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径})}{(\text{对照菌落直径} - \text{菌饼直径})} \times 100 \quad (1)$$

以药剂质量浓度的对数值(X)为自变量,抑制率对应的几率值(Y)为因变量,进行回归分析,得到毒力回归方程 $Y = a + bX$ 以及相关系数 r ,并计算乙蒜素对苹果树腐烂病菌的抑制中浓度(median effect concentration, EC_{50})。

1.3 数据统计与分析

采用Microsoft Excel 2021和SPSS 16.0对试验数据进行处理,用GraphPad Prism 8.4分析作图。对 EC_{50} 进行Kolmogorov-Smirnov正态性检验,参照刘娟等(2019)的方法获得苹果树腐烂病菌群体对乙蒜素的敏感性频率分布图,建立对乙蒜素的敏感基线。采用Duncan氏新复极差法对不同地区、不同年份的平均 EC_{50} 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 苹果树腐烂病菌对乙蒜素敏感性基线的建立

采用菌丝生长速率法,共测定2007—2020年采集于陕西、山西、山东、甘肃、河南、新疆和辽宁7个省份的108株腐烂病菌对乙蒜素的敏感性。结果显示,乙蒜素对病菌 EC_{50} 分布范围为3.6023~55.7283 μg/mL,平均 EC_{50} 值为(17.2421±0.9292) μg/mL,

所检测菌株对药剂具有较高的敏感性,未发现敏感性显著下降的抗性群体。但最大值是最小值的 15.47 倍, EC_{50} 跨度范围比较大,表明群体内不同菌株间对

乙蒜素的敏感性差异较大(表 1)。所有菌株对乙蒜素的敏感性频率分布呈连续单峰曲线(图 1),平均 EC_{50} 值可作为苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感基线。

表 1 108 株苹果树腐烂病菌菌株对乙蒜素的敏感性

Tab. 1 Sensitivity of 108 *V. mali* isolates to ethylclicin

菌株 Isolates	采集时间 Years	采集地点 Locations	抑制中浓度/ $(\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1})$ EC_{50}	决定系数 R^2 Coefficient of determination	毒力回归方程 Toxicity regression equation
314	2007	山西万荣	3.602 3	0.934 6	$Y=1.123 8X+4.374 5$
974	2014	山东牟平	3.770 4	0.998 5	$Y=1.057 2X+4.390 7$
661	2010	陕西铜川	4.508 4	0.996 2	$Y=1.311 6X+4.142 2$
915	2014	河南三门峡	4.517 3	0.925 6	$Y=1.038 4X+4.320 0$
y-66-p-5	2020	新疆伊犁66团	5.122 8	0.884 0	$Y=1.152 7X+4.182 2$
987	2014	山东烟台	5.306 0	0.969 8	$Y=1.293 9X+4.062 2$
318	2007	山西运城	6.047 9	0.852 3	$Y=1.282 7X+3.997 4$
980	2014	山东烟台	7.166 3	0.988 1	$Y=1.043 0X+4.108 0$
298	2007	山西万荣	7.458 8	0.932 8	$Y=1.135 1X+4.009 4$
596	2009	陕西延安	7.497 5	0.986 4	$Y=1.242 4X+3.913 0$
569	2009	陕西咸阳	7.868 9	0.980 1	$Y=1.523 9X+3.634 7$
181	2007	山东招远	8.167 4	0.895 1	$Y=1.448 2X+3.679 2$
y-62-p-1	2020	新疆伊犁62团	8.707 3	0.956 7	$Y=1.258 7X+3.817 0$
663	2010	陕西铜川	9.053 3	0.997 1	$Y=1.943 1X+3.140 8$
563	2009	陕西咸阳	9.291 5	0.993 2	$Y=1.593 7X+3.457 1$
561	2009	陕西咸阳	9.298 8	0.966 7	$Y=1.507 3X+3.540 3$
910	2014	河南三门峡	9.335 0	0.959 0	$Y=1.229 3X+3.807 5$
416	2007	辽宁葫芦岛	9.359 9	0.966 5	$Y=1.342 1X+3.696 4$
981	2014	山东烟台	9.471 2	0.998 4	$Y=0.967 5X+4.055 3$
897	2014	河南三门峡	9.602 0	0.972 3	$Y=1.493 4X+3.533 0$
890	2014	甘肃天水	9.748 0	0.941 3	$Y=1.812 5X+3.207 5$
982	2014	山东烟台	9.937 6	0.994 6	$Y=1.141 8X+3.861 3$
930	2014	河南三门峡	10.164 4	0.972 1	$Y=1.339 3X+3.651 2$
302	2007	山西万荣	10.316 8	0.961 2	$Y=0.982 9X+4.003 8$
753	2011	山西运城	10.371 9	0.973 9	$Y=1.320 2X+3.658 8$
465	2009	陕西咸阳	10.438 4	0.980 1	$Y=2.261 3X+2.696 5$
y-p-61-3	2020	新疆伊犁61团	10.605 2	0.963 2	$Y=1.542 9X+3.417 7$
891	2014	甘肃天水	10.936 9	0.977 5	$Y=1.391 7X+3.554 2$
321	2007	山西运城	10.963 5	0.961 9	$Y=2.017 2X+2.902 2$
305	2007	山西万荣	11.127 1	0.985 3	$Y=1.354 6X+3.582 6$
875	2011	山西运城	11.774 8	0.878 5	$Y=0.895 8X+4.040 7$
406	2007	辽宁葫芦岛	11.967 5	0.972 6	$Y=1.563 2X+3.314 9$
4-4-2	2019	山西吉县	11.973 3	0.915 2	$Y=2.008 8X+2.834 1$
983	2014	山东烟台	12.063 3	0.988 9	$Y=1.302 1X+3.591 8$
6-1-1	2019	山西吉县	12.110 4	0.922 8	$Y=1.481 3X+3.395 5$
y-p-61-1	2020	新疆伊犁61团	12.120 4	0.956 5	$Y=1.583 0X+3.284 8$
461	2009	陕西咸阳	12.278 4	0.976 4	$Y=1.376 2X+3.501 2$
490	2009	陕西延安	12.362 5	0.999 7	$Y=0.691 1X+4.245 2$
509	2009	陕西咸阳	12.649 9	0.963 3	$Y=1.767 7X+3.051 9$
323	2007	山西运城	12.768 2	0.905 8	$Y=1.411 1X+3.439 1$
193	2007	山东烟台	12.844 9	0.944 0	$Y=1.504 7X+3.331 6$
929	2014	河南三门峡	12.886 8	0.924 1	$Y=1.261 8X+3.599 2$
313	2007	山西万荣	12.965 5	0.981 4	$Y=1.532 6X+3.294 5$
a-9-7	2020	新疆阿克苏9团	13.090 6	0.914 6	$Y=1.719 8X+3.079 1$
918	2014	河南三门峡	13.240 9	0.991 9	$Y=1.192 0X+3.662 7$
418	2007	辽宁葫芦岛	13.326 2	0.972 1	$Y=1.582 8X+3.219 8$

续表 1 Continued

菌株 Isolates	采集时间 Years	采集地点 Locations	抑制中浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) EC ₅₀	决定系数R ² Coefficient of determination	毒力回归方程 Toxicity regression equation
413	2007	辽宁葫芦岛	13.523 4	0.909 4	Y=1.028 2X+3.837 0
296	2007	山西万荣	14.031 0	0.965 4	Y=1.599 8X+3.164 9
306	2007	山西万荣	14.159 5	0.942 3	Y=1.404 8X+3.383 0
426	2007	辽宁葫芦岛	14.184 0	0.977 3	Y=1.773 1X+2.957 8
752	2011	山西运城	14.228 3	0.988 8	Y=2.361 6X+2.276 7
10G	2019	山西临汾	14.364 3	0.994 2	Y=1.082 8X+3.746 9
411	2007	辽宁葫芦岛	14.541 4	0.937 9	Y=1.486 4X+3.271 9
5-L	2019	甘肃天水	14.864 7	0.926 8	Y=0.958 8X+3.876 1
10F	2019	山西临汾	15.777 8	0.975 5	Y=1.215 5X+3.543 8
419	2007	辽宁葫芦岛	16.353 4	0.988 0	Y=1.411 0X+3.287 5
566	2009	陕西咸阳	16.860 7	0.973 4	Y=1.611 8X+3.022 5
294	2007	山西万荣	16.892 6	0.987 0	Y=1.428 6X+3.246 1
762	2011	山西运城	17.031 9	0.997 0	Y=1.598 4X+3.032 0
906	2014	河南三门峡	17.078 8	0.999 4	Y=1.297 6X+3.400 8
y-p-62-3	2020	新疆伊犁62团	17.127 8	0.974 3	y=0.946 7x+3.832 0
5-K	2019	甘肃天水	17.240 6	0.982 7	Y=2.019 6X+2.502 6
4-3-4	2019	山西吉县	17.357 3	0.944 9	Y=2.153 8X+2.330 4
472	2009	陕西咸阳	17.529 2	0.972 9	Y=1.572 1X+3.044 7
315	2007	山西运城	17.550 1	0.987 9	Y=1.579 1X+3.035 1
a-9-17	2020	新疆阿克苏9团	17.957 9	0.931 0	Y=2.092 1X+2.376 0
469	2009	陕西咸阳	18.035 6	0.957 8	Y=1.576 8X+3.019 3
894	2014	河南三门峡	18.257 5	0.937 2	Y=1.193 9X+3.494 0
4-4-3	2019	山西吉县	18.410 9	0.958 9	Y=1.853 7X+2.654 9
475	2009	陕西咸阳	18.470 4	0.991 2	Y=1.891 4X+2.604 6
03-8	2009	陕西咸阳	18.565 7	0.943 6	Y=1.512 4X+3.081 2
184	2007	山东招远	18.603 8	0.986 3	Y=0.983 2X+3.751 7
a-9-19	2020	新疆阿克苏9团	19.045 5	0.976 2	Y=1.093 6X+3.600 5
6-E	2019	甘肃天水	19.164 8	0.970 6	Y=1.757 4X+2.746 1
467	2009	陕西咸阳	19.598 6	0.879 8	Y=2.584 8X+1.659 9
516	2009	陕西咸阳	19.653 7	0.955 2	Y=1.745 7X+2.742 1
755	2011	山西运城	19.855 1	0.993 9	Y=1.245 6X+3.383 4
422	2007	辽宁葫芦岛	20.028 5	0.993 7	Y=1.028 6X+3.661 2
578	2009	陕西延安	20.082 4	0.986 0	Y=1.504 0X+3.040 6
6-F	2019	甘肃天水	20.083 4	0.985 4	Y=1.279 5X+3.333 0
347	2007	山西运城	20.222 9	0.982 9	Y=1.284 2X+3.323 0
473	2009	陕西咸阳	20.240 6	0.927 2	Y=1.902 9X+2.514 4
917	2014	河南三门峡	20.422 4	0.970 6	Y=0.995 8X+3.695 4
583	2009	陕西延安	20.435 0	0.959 7	Y=2.080 2X+2.274 1
5-C	2019	甘肃天水	20.599 7	0.976 7	Y=1.373 9X+3.194 9
6-D	2019	甘肃天水	20.677 8	0.993 2	Y=1.592 9X+2.904 5
420	2007	辽宁葫芦岛	21.803 8	0.995 7	Y=1.765 7X+2.636 6
y-62-p-7	2020	新疆伊犁62团	22.198 6	0.988 0	Y=1.423 6X+3.083 3
312	2007	山西万荣	24.036 5	0.978 9	Y=1.335 7X+3.155 5
423	2007	辽宁葫芦岛	24.167 1	0.954 5	Y=1.236 8X+3.289 2
5-M	2019	甘肃天水	24.542 1	0.967 8	Y=1.573 8X+2.812 5
468	2009	陕西咸阳	24.757 2	0.963 6	Y=1.023 6X+3.573 5
4-2-4	2019	山西吉县	24.989 8	0.977 1	Y=1.157 3X+3.382 4
322	2007	山西运城	25.251 1	0.984 6	Y=1.363 6X+3.087 8
349	2007	山西运城	25.546 1	0.940 1	Y=1.088 6X+3.468 1
477	2009	陕西咸阳	26.149 8	0.965 4	Y=1.284 3X+3.179 6
348	2007	山西运城	27.907 6	0.969 7	Y=1.559 2X+2.745 8

续表 1 Continued

菌株 Isolates	采集时间 Years	采集地点 Locations	抑制中浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) EC ₅₀	决定系数R ² Coefficient of determination	毒力回归方程 Toxicity regression equation
6-C	2019	甘肃天水	30.018 4	0.997 1	$Y=1.180 0X+3.256 7$
344	2007	山西运城	30.295 8	0.910 7	$Y=0.819 0X+3.786 7$
176	2007	山东招远	30.630 9	0.942 1	$Y=0.917 1X+3.637 0$
5-2-4	2019	山西吉县	33.623 6	0.967 0	$Y=2.035 2X+1.893 0$
5-2-1	2019	山西吉县	33.670 1	0.984 1	$Y=1.533 6X+2.657 8$
786	2011	山西运城	33.778 6	0.995 9	$Y=0.843 3X+3.710 9$
316	2007	山西运城	36.539 6	0.903 1	$Y=1.357 4X+2.878 7$
760	2011	山西运城	45.060 1	0.889 3	$Y=0.833 0X+3.622 5$
346	2007	山西运城	49.406 9	0.974 2	$Y=0.992 4X+3.319 1$
195	2007	山东烟台	52.753 9	0.909 0	$Y=0.950 5X+3.363 0$
568	2009	陕西咸阳	55.728 3	0.890 9	$Y=0.711 5X+3.757 6$

注: 按照EC₅₀值从小到大进行排序。

Notes: The arrangement is according to the EC₅₀ value in an ascending order.

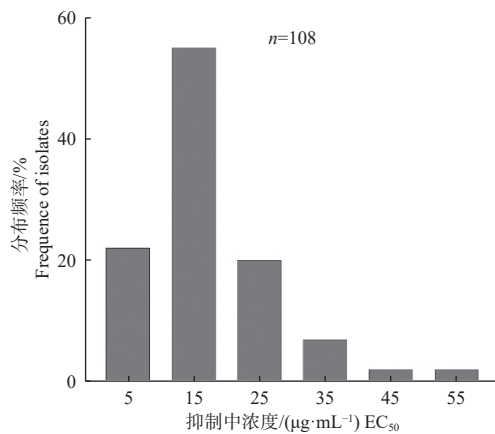


图 1 108 株苹果树腐烂病菌菌株对乙蒜素敏感性的频率分布

Fig. 1 Frequencies distribution of sensitivity to ethylcin for 108 isolates of *V. mali*

2.2 不同地理来源的苹果树腐烂病菌菌株对乙蒜素的敏感性

通过分析采自不同省份的腐烂病菌对乙蒜素的敏感性,发现不同地理来源的苹果树腐烂病菌菌株对乙蒜素的敏感性存在一定差异(表 2)。其中,最

敏感的是来自河南的菌株, EC₅₀ 平均值为(12.833 9±1.68) $\mu\text{g}/\text{mL}$; 最不敏感的是来自山西的菌株, 其 EC₅₀ 平均值为(19.763 0±1.79) $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。山西、陕西、山东的菌株群体内部个体对乙蒜素的敏感性差异较大; 河南、新疆、山东、辽宁、陕西、甘肃、山西等 7 个省份的菌株在 $P=0.05$ 水平上差异不显著。

2.3 不同年份的苹果树腐烂病菌菌株对乙蒜素的敏感性

通过分析不同年份采集的苹果树腐烂病菌菌株对乙蒜素的敏感性,发现不同年份间病菌对乙蒜素的敏感性存在一定差异。其中,采自 2010 年的病菌对乙蒜素的敏感性最高, EC₅₀ 平均值为(6.780 9±0.95) $\mu\text{g}/\text{mL}$; 采自 2011 年的菌株敏感性最低, EC₅₀ 平均值为(21.728 7±1.02) $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。此外,同一年份内采集的苹果树腐烂病菌菌株对乙蒜素的敏感性存在很大差异。虽然年份样本量及采集地点存在一定的局限性,但整体来看,不同年份的供试菌株对乙蒜素的敏感性未呈现随年份明显变化的规律(表 3)。

表 2 不同地理来源苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感性

Tab. 2 Ethylcin sensitivity of *V. mali* field isolates from different locations

地区 Regions	菌株/个 Isolates	EC ₅₀ 值分布范围/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) Range of EC ₅₀ values	EC ₅₀ 平均值/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) Average of EC ₅₀ values
山西	36	3.602 3~49.406 9	19.763 0±1.79 a
甘肃	10	9.748 0~30.018 4	18.787 6±1.91 a
陕西	23	4.508 4~55.728 3	17.015 4±2.14 a
辽宁	10	9.359 9~24.167 1	15.925 5±1.47 a
山东	11	3.770 4~52.753 9	15.519 6±4.35 a
新疆	9	5.122 8~22.198 6	13.997 3±1.83 a
河南	9	4.517 3~20.422 4	12.833 9±1.68 a

注: 同列数据后相同的小写字母 a 表示经 Duncan 氏新复极法检验后, 在 $P=0.05$ 水平下差异不显著。

Notes: The same lowercase letter a after the same column of data indicate no significant differences at the $P=0.05$ level after being tested by Duncan's new multiple range test.

表3 不同年份苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感性

Tab. 3 Ethylcin sensitivity of *V. mali* field isolates in different years

年份 Years	菌株/个 Isolates	频率/% Frequency	EC ₅₀ 值分布范围/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) Range of EC ₅₀ values	EC ₅₀ 平均值/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) Average of EC ₅₀ values
2010	2	1.85	4.508 4~9.053 3	6.780 9 \pm 0.95 b
2014	17	15.74	3.770 4~20.422 4	10.817 9 \pm 2.70 ab
2020	9	8.33	5.122 8~22.198 6	13.997 3 \pm 0.35 ab
2009	21	19.44	7.497 5~55.728 3	17.990 1 \pm 2.29 ab
2007	35	32.41	3.602 3~52.753 9	18.838 5 \pm 1.88 ab
2019	17	15.74	11.973 3~33.670 1	20.557 0 \pm 1.73 ab
2011	7	6.48	10.371 9~45.060 1	21.728 7 \pm 1.02 a

注: 同列数据后不同小写字母a和b表示经Duncan氏新复极法检验后, 在 $P<0.05$ 水平下差异显著。

Notes: Different lowercase letters a and b after the same column of data indicate significant differences at the $P<0.05$ level after being tested by Duncan's new multiple range test.

3 讨论

在应用杀菌剂防治某种植物病害之前, 建立敏感性基线对评价其抗药性风险和制定未来抗药性治理策略制定具有重要意义(Yin et al., 2023)。乙蒜素作为一种植物源仿生型杀菌剂, 是高效且无公害的植物源农药的代表产品。董代幸等(2025)研究发现, 乙蒜素能够显著抑制三叶青炭疽病菌菌丝生长, 其抑菌活性高于对照化学药剂吡唑醚菌酯。翟艳青等(2024)对苹果斑点落叶病原菌 *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler(鹿世晋等, 1984)的室内毒力测定表明, 80%乙蒜素乳油对其分生孢子萌发的EC₅₀值为7.75 mg/L, 显著优于对照药剂70%甲基硫菌灵(EC₅₀=217.43 mg/L)。前期研究已证实, 乙蒜素在室内和田间对苹果树腐烂病均表现出良好的防治效果(苏晓州等, 2024), 在苹果树腐烂病防控中同样表现出高效性。但是苹果树腐烂病菌对其敏感性水平目前尚不明确。

本研究采用菌丝生长速率法, 检测了来自中国7个省份的108株苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感性。结果表明, 腐烂病菌对乙蒜素的敏感性频率分布呈连续单峰曲线, 近似于正态分布, 表明我国苹果主产区的苹果树腐烂病菌处于野生敏感种群阶段。因此, 可以将EC₅₀平均值(17.242 1 \pm 0.929 2) $\mu\text{g}/\text{mL}$ 作为中国苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感性基线。该基线可用于监测田间苹果树腐烂菌群体对乙蒜素敏感性的变化, 为评价其抗药性风险提供参考。

为进一步明确乙蒜素在实际应用中的潜在价值, 将其与当前防治苹果树腐烂病的主流药剂进行敏感性对比发现: 三唑类药剂作为目前田间首选药剂, 敏感性显著高于乙蒜素, 其中戊唑醇对该病菌的EC₅₀平均值为0.040 mg/L, 苯醚甲环唑的EC₅₀平均值为0.028 mg/L(潘子豪等, 2024), 均远低于乙蒜素。然而, 长期使用单一化学药剂, 田间抗性风险不断增加。据报道, 田间已经出现了甲基硫菌灵、戊唑醇等抗

性菌株(薛应钰等, 2019; 刘向阳, 2020)。由此可见, 乙蒜素对苹果树腐烂病菌的敏感性处于“中等水平”, 因其与三唑类药剂无交互抗性(周建波等, 2016), 在抗性治理中具有重要价值。

虽然乙蒜素在我国苹果生产中的应用时间和用量不多, 但就本研究所涉及的样本来看, 不同区域的苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感性存在差异, 且不同年份间苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感性无明显规律, 同一地区、同一年份间采集的菌株敏感性也差异很大。这可能与供试样本数量、不同地区的果树种植年限、果园管理水平、环境条件、病害发生历史、用药措施和病菌本身的遗传特性、生理生化差异及群体组成等因素有关(Lucas et al., 2015; Yang et al., 2021)。因此, 为了延缓腐烂病菌对乙蒜素抗药性的产生, 应通过轮换使用不同作用机制的药剂, 使腐烂病菌对乙蒜素的敏感性处于低抗性频率阶段, 以延长农药的使用寿命。

4 结论

本研究测定了来自中国7个省份、7个不同年份的108株苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感程度。结果表明, 这些菌株对乙蒜素的EC₅₀分布范围为3.602 3~55.728 3 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 敏感性频率分布符合正态分布, 未发现敏感性显著下降的抗性群体, 因此其EC₅₀平均值(17.242 1 \pm 0.929 2) $\mu\text{g}/\text{mL}$ 可作为苹果树腐烂病菌对乙蒜素的敏感基线。此外, 不同地理来源的菌株对乙蒜素的敏感性存在差异, 其中河南省菌株最为敏感, 而山西省菌株的敏感性最弱。然而, 菌株的敏感性并未随采集年份呈现明显变化的规律, 推测该病菌对乙蒜素仍处于敏感种群阶段。

参 考 文 献

曹克强, 国立耘, 李保华, 等. 2009. 中国苹果树腐烂病发生和防治情况调查[J]. 植物保护, 35(2): 114-117.

- Cao K Q, Guo L Y, Li B H, *et al.* 2009. Investigations on the occurrence and control of apple canker in China[J]. *Plant Protection*, 35(2): 114–117. (in Chinese)
- 董代幸, 毛程鑫, 孙泉良, 等. 2025. 7种生物药剂对三叶青炭疽病的室内生物活性及田间防效初探[J/OL]. *农药*, 64(9): 1–5. (2025-09-24). <https://link.cnki.net/urlid/21.1210.TQ.20250923.1612.002>.
- Dong D X, Mao C X, Sun Q L, *et al.* 2025. Bioactivity and field efficacy of 7 biopesticides against anthracnose on *Tetrastigma hemsleyanum*[J/OL]. *Agrochemicals*, 64(9): 1–5. (2025-09-24). <https://link.cnki.net/urlid/21.1210.TQ.20250923.1612.002>. (in Chinese)
- 杜战涛, 李正鹏, 高小宁, 等. 2013. 陕西省苹果树腐烂病周年消长及分生孢子传播规律研究[J]. *果树学报*, 30(5): 819–822.
- Du Z T, Li Z P, Gao X N, *et al.* 2013. Study on the conidia dispersal and the disease dynamics of apple tree canker caused by *Valsa mali* var. *mali* in Shaanxi[J]. *Journal of Fruit Science*, 30(5): 819–822. (in Chinese)
- 焦浩, 范艳云, 高小宁, 等. 2015. 8种药剂对苹果树腐烂病的田间防效评价[J]. *河南农业科学*, 44(10): 95–99.
- Jiao H, Fan Y Y, Gao X N, *et al.* 2015. Control efficacy of eight fungicides on apple *Valsa* canker[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 44(10): 95–99. (in Chinese)
- 刘福昌, 陈策, 史秀琴, 等. 1979. 苹果树腐烂病菌(*Valsa mali* miyabe et Yamada)潜伏侵染研究[J]. *植物保护学报*, 6(3): 1–8.
- Liu F C, Chen C, Shi X Q, *et al.* 1979. Studies on the latent infection of the causal organism of *Valsa* canker of apple[J]. *Acta Phytopythologica Sinica*, 6(3): 1–8. (in Chinese)
- 刘娟, 冯浩, 王帅, 等. 2019. 苹果树腐烂病菌对苯醚甲环唑的敏感性[J]. *植物保护*, 45(1): 170–173.
- Liu J, Feng H, Wang S, *et al.* 2019. Sensitivity of *Valsa mali* to difenoconazole in China[J]. *Plant Protection*, 45(1): 170–173. (in Chinese)
- 鹿世晋, 巩振仪, 栾同珉. 1984. 苹果斑点落叶病发生及防治研究初报[J]. *中国果树*(1): 38–43.
- Lu S J, Gong Z Y, Luan T M. 1984. A preliminary study on the incidence and management of apple alternaria leaf spot [J]. *China Fruits*, (1): 38–43. (in Chinese)
- 刘向阳. 2020. 苹果腐烂病菌对3种杀菌剂抗药性与敏感性检测[J]. *落叶果树*, 52(1): 11–13.
- Liu X Y. 2020. Detection of resistance and sensitivity of apple rot fungus to three fungicides[J]. *Deciduous Fruits*, 52(1): 11–13. (in Chinese)
- 柳自清, 张博然, 顾爱星. 2021. 几种杀菌剂对棉花枯萎病的田间防效评价[J]. *农业与技术*, 41(9): 21–26.
- Liu Z Q, Zhang B R, Gu A X. 2021. Evaluation of field control effect of several fungicides on cotton *Fusarium* wilt[J]. *Agriculture and Technology*, 41(9): 21–26. (in Chinese)
- 潘子豪, 张义智, 刘朋飞, 等. 2024. 7种杀菌剂对3种林木腐烂病菌的毒力测定及活性评价[J]. *植物保护*, 50(2): 338–349.
- Pan Z H, Zhang Y Z, Liu P F, *et al.* 2024. Toxicity and field control efficacy of seven fungicides on three pathogens of *Valsa* canker disease[J]. *Plant Protection*, 50(2): 338–349. (in Chinese)
- 苏晓州, 常翠莲, 高承宇, 等. 2024. 乙蒜素对苹果树腐烂病的防治效果与其作用机理[J]. *植物保护学报*, 51(4): 863–874.
- Su X Z, Chang C L, Gao C Y, *et al.* 2024. Control efficacy and action mechanism of ethylcin on apple *Valsa* canker[J]. *Journal of Plant Protection*, 51(4): 863–874. (in Chinese)
- 王帅, 刘召阳, 高小宁, 等. 2019. 10种生物源杀菌剂对苹果树腐烂病菌的室内活性评价[J]. *西北林学院学报*, 34(1): 150–156.
- Wang S, Liu Z Y, Gao X N, *et al.* 2019. Antifungal activity of 10 biological fungicides against *Valsa mali*[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 34(1): 150–156. (in Chinese)
- 薛应钰, 李发康, 赵娜, 等. 2019. 甘肃省苹果树腐烂病菌对甲基硫菌灵的抗药性测定[J]. *中国果树*(5): 50–53, 73.
- Xue Y Y, Li F K, Zhao N, *et al.* 2019. Fungicide resistance determination of *Valsa mali* causing apple tree canker to thiophanate-methyl in Gansu Province[J]. *China Fruits*, (5): 50–53, 73. (in Chinese)
- 翟艳青, 郑果, 李继平, 等. 2024. 12种生物源药剂对苹果斑点落叶病(*Alternaria alternata*)的防控效果[J]. *西北农业学报*, 33(8): 1559–1566.
- Zhai Y Q, Zheng G, Li J P, *et al.* 2024. Prevention and control effect of twelve biological pesticides on apple leaf spot disease (*Alternaria alternata*)[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 33(8): 1559–1566. (in Chinese)
- 赵永敬, 张伟, 孙立明, 等. 2006. 群科(80%乙蒜素乳油)防治水稻病害试验研究[J]. *垦殖与稻作*, 36(3): 51–52.
- Zhao Y J, Zhang W, Sun L M, *et al.* 2006. Experiment research of qunke on preventing and control of rice diseases[J]. *Reclaiming and Rice Cultivation*, 36(3): 51–52. (in Chinese)
- 周建波, 任璐, 殷辉, 等. 2016. 苹果树腐烂病菌对甲基硫菌灵、苯醚甲环唑和啞菌酯的敏感性及其交互抗性[J]. *农药*, 55(11): 854–858.
- Zhou J B, Ren L, Yin H, *et al.* 2016. Sensitivity and cross-resistance to thiophana-methyl, azoxystrobin and difenoconazole in *Valsa mali*[J]. *Agrochemicals*, 55(11): 854–858. (in Chinese)
- Lucas J A, Hawkins N J, Fraaije B A. 2015. The evolution of fungicide resistance[J]. *Advances in Applied Microbiology*, 90: 29–92.
- Togashi K. 1925. Some studies on a Japanese apple canker and its causal fungus, *Valsa mali*[J]. *Journal of the College of Agriculture*, 12(3): 265–324.
- Wang X L, Shi C M, Gleason M L, *et al.* 2020. Fungal species associated with apple *Valsa* canker in East Asia[J]. *Phytopathology Research*, 2(1): 35.
- Yang L N, Nkurikiyimfura O, Pan Z C, *et al.* 2021. Plant diversity ameliorates the evolutionary development of fungicide resistance in an agricultural ecosystem[J]. *Journal of Applied Ecology*, 58(11): 2566–2578.
- Yin Y N, Miao J Q, Shao W Y, *et al.* 2023. Fungicide resistance: Progress in understanding mechanism, monitoring, and management[J]. *Phytopathology*, 113(4): 707–718.