

# 四种替代药剂对梨火疫病菌的抑制活性及其田间防效



李东旭<sup>1</sup> 于松涛<sup>1</sup> 张亚杰<sup>2</sup> 林彩霞<sup>2</sup> 李令蕊<sup>3</sup> 王树桐<sup>1\*</sup>

(1. 河北农业大学植物保护学院, 保定 071001; 2. 新疆生产建设兵团二师农科所, 铁门关 841005;

3. 河北省农业农村厅植保植检站, 石家庄 050011)

**摘要:** 为筛选农用链霉素替代药剂, 以其为对照药剂, 测定春雷霉素、中生菌素、噻霉酮和噻菌铜这4种常用细菌病害防治药剂对梨火疫病菌 *Erwinia amylovora* 的抑制活性、对梨火疫病的田间防效及不同药剂处理后梨中的农药残留, 并对这4种药剂的作物安全性进行评价。结果表明, 中生菌素、噻霉酮和春雷霉素对梨火疫病菌有抑制作用, 抑制中浓度EC<sub>50</sub>分别为1.60、6.64和60.57 mg/L, 中生菌素的抑制效果高于链霉素。在连续2年田间试验中, 中生菌素1 000倍液和春雷霉素400倍液对梨火疫病的保护效果和治疗效果均达90.33%以上, 噻霉酮500倍液和噻菌铜200倍液对梨火疫病的保护效果均达100.00%, 治疗效果均超过86.97%, 与对照药剂农用链霉素2 000倍液的效果相当。所有药剂处理后均未检出中生菌素、春雷霉素、高效氯氰菊酯和农用链霉素的农药残留, 而噻虫嗪、阿维菌素和矮壮素虽有检出, 但其残留量均低于国家限量标准。花期前后、幼果期和果实膨大期施药, 中生菌素、春雷霉素、噻霉酮和噻菌铜对梨花、叶片、枝梢及果实生长均无不良影响。综合来看, 中生菌素、春雷霉素、噻霉酮和噻菌铜均可作为农用链霉素的替代药剂, 用于防治梨火疫病。

**关键词:** 梨火疫病; 杀菌剂; 抑菌活性; 保护防效; 治疗防效; 农药残留; 安全性评价

## Antibacterial activity of four alternative bactericides and their field control efficacies against pear fire blight pathogen

Li Dongxu<sup>1</sup> Yu Songtao<sup>1</sup> Zhang Yajie<sup>2</sup> Lin Caixia<sup>2</sup> Li Lingrui<sup>3</sup> Wang Shutong<sup>1\*</sup>

(1. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, Hebei Province, China; 2. Agricultural Science Research Institute of the Second Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Tiemenguan 841005, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China; 3. Station of Plant Protection and Plant Quarantine of Hebei, Shijiazhuang 050011, Hebei Province, China)

**Abstract:** To screen alternative bactericides for streptomycin, four commonly used bactericides kasugamycin, mesosporin, benzothiazolinone and thiodiazole-copper were tested for their inhibitory effect against fire blight pathogen *Erwinia amylovora* *in vitro*, and their preventive and therapeutic effects to control pear fire blight in the field trials. The growth rate method and conventional spray method were used to determine the bacteriostatic activity, control efficacy, and pesticide residue of four bactericides, and their possible damage to crops were evaluated in field trials. The results showed that mesosporin, kasugamycin and benzothiazolinone all showed inhibitory effects on *E. amylovora*. The EC<sub>50</sub> values of mesosporin, kasugamycin and benzothiazolinone were 1.60, 6.64 and 60.57 mg/L, respectively, and the first two have more obvious antibacterial effects than streptomycin. In two consecutive years of field trials, the preventive and therapeutic effects of mesosporin with 1 000 fold and kasugamycin with 400 fold

基金项目: 新疆生产建设兵团科技发展专项资金(2018AB035), 新疆生产建设兵团农二师科技攻关资助项目(2019NYGG01), 河北省现代农业产业技术体系梨产业创新团队(HBCT2023120208)

\* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: bdstwang@163.com

收稿日期: 2022-09-12

dilution were more than 90.33%. Both the preventive effects of benzothiazolinone with 500 fold dilution and thiodiazole-copper with 200 fold dilution reached 100.00%, and the therapeutic effects of the two bactericides on pear fire blight were over 86.97%, which was close to that of streptomycin with 2 000 fold dilution treatment. The residues of mesosporin and kasugamycin in the tested pear fruits were not detected before harvest. Although thiamethoxam, avermectin, and cycocel were detected, their residual levels were all below the Chinese national limit standards. At the present study, the tested bactericides were applied at the beginning and ending of florescence, the young fruit and the fruit expansion stages. The results showed that the application of mesosporin, kasugamycin, benzothiazolinone and thiodiazole-copper within the concentration range of the experimental design at the tested growing stage, no adverse effects on the growth of pear flowers, leaves, branches and fruits were observed. To conclude, mesosporin, kasugamycin, benzothiazolinone and thiodiazole-copper can be used as alternative bactericides for streptomycin to control pear fire blight.

**Key words:** pear fire blight; bactericide; antagonistic activity; preventive effect; therapeutic effect; bactericides residue; crop safety evaluation

由解淀粉欧文氏菌 *Erwinia amylovora* 引起的梨火疫病可危害梨、苹果、山楂、李和杜梨等 40 余属 220 余种蔷薇科植物(尚琳琳等,2010; Arsova et al., 2017; Sharifazizi et al., 2017),被中国农业农村部列入《一类农作物病虫害名录》。香梨为火疫病的易感品种,病菌侵染树体后,花朵呈黑褐色萎蔫状,幼果僵化但不脱落,枝条呈深褐色并枯萎,叶片枯萎但不脱落,形似火烧状,病情严重时,从嫩梢迅速扩展到主干,直至根部,甚至整株死亡(Andersen et al., 2004; M'hamed et al., 2021; 杨金花等,2022)。2016 年我国新疆维吾尔自治区(简称新疆)开始发生梨火疫病,之后该病害快速蔓延,已经成为威胁库尔勒香梨产业发展的重大病害,因此对其进行防控迫在眉睫。

梨火疫病菌主要在病枝、溃疡处或者病僵果内越冬,春季变暖,细菌开始繁殖,在植物表面出现大量细菌渗出液,并在植株内迅速繁殖。目前,国内外对梨火疫病的防控手段主要包括植物检疫、种植抗病品种、化学防治、生物防治及农业防治等(Psallidas & Tsiantos, 2000; Steiner, 2000)。植物检疫是我国预防火疫病传入的主要措施,植物检疫对人为传播的火疫病病害有效外,而对雨水、风、昆虫和鸟类等其他传播媒介传播的火疫病效果甚微(Schachterle et al., 2019; Chen, 2020)。种植抗病品种是预防火疫病的重要手段,如李洪涛等(2019)在 21 种梨种质资源中发现晋酥和绿梨对火疫病表现为抗性,霍城冬黄梨、八月酥、库车阿木特和棉梨则对火疫病表现为耐病性,受品质和消费者接受度等因素影响,这些品种(系)距离商业化推广应用还相去甚远。荷兰植物保护局通过农业防控措施如铲除

感病植株、禁止种植易感病的寄主植物、加强果园的肥水管理等,使当地火疫病的发病率下降了 90% 以上(van Teylingen, 2002);在新疆库尔勒香梨产区,地方政府统一组织实施了刨除病树、清理果园病残体并销毁、增施菌肥和有机肥、生长季及时检查并疏除病枝病叶等农业防控措施,也取得了较好的控制效果,但这类防控技术对种植者的果园管理技术要求较高,而且投入人力多,人工成本高,保持这类较高强度管理措施的统一性和连续性较困难。因此,目前化学防治仍是控制新疆库尔勒香梨火疫病的主要措施。在化学防治中,链霉素是国际上应用最广、防效较好的药剂(Mendes et al., 2021; Slack et al., 2021)。在梨树萌芽前喷施波尔多液,在花期前后喷施链霉素对梨火疫病的防控效果良好(Reininger et al., 2017; Joshi et al., 2020),而且链霉素和氟美唑对火疫病的防效显著优于铜化合物(Tsiantos & Psallidas, 1993)。虽然链霉素对梨火疫病有良好防效,但前期研究发现在某些条件下农用链霉素会使香梨果面出现白斑,严重影响梨品质,降低其商品价值,并且该药剂已在我国禁止生产和使用(农办农(2011)63 号文)。因此,寻找安全有效的农用链霉素替代药剂来防治梨火疫病对我国梨产业发展至关重要。春雷霉素、中生菌素、噻霉酮和噻菌铜是 4 种常用于防控细菌性病害的药剂,但其对梨火疫病的防效尚不清楚。

本研究前期对梨火疫病菌进行了分离鉴定,在此基础上,以农用链霉素作为对照药剂,测定春雷霉素、中生菌素、噻霉酮和噻菌铜这 4 种药剂对梨火疫病菌的抑制活性、对梨火疫病的田间防效及不同药

剂处理后梨中的农药残留，并对这4种药剂的作物安全性进行评价，以期为筛选农用链霉素替代药剂提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试病原菌：分别于2018年4月和2019年5月在新疆维吾尔自治区库尔勒市农二师29团和30团采集梨火疫病样本，经本课题组分离培养、纯化获得梨火疫病菌单菌落，于-80℃保存。

供试培养基：LB(Luria-Bertani)液体培养基成分为酵母浸粉5 g、NaCl 10 g、蛋白胨10 g，蒸馏水定容至1 L；牛肉膏蛋白胨(beef extract peptone, BPM)培养基成分为牛肉粉3 g、NaCl 5 g、蛋白胨10 g、琼脂18 g，蒸馏水定容至1 L。

药剂：80%春雷霉素(kasugamycin)原药，湖北康宝泰精细化工有限公司；17.7%中生菌素(mesosporin)原药，福建凯立生物制品有限公司；3%噻霉酮(benzoithiazolinone)微乳剂，江苏辉丰生物农业股份有效公司；20%噻菌铜(thiodiazole-copper)悬浮剂，浙江龙湾化工有限公司；99%链霉素(streptomycin)原药，上海源叶生物科技有限公司；3%中生菌素(mesosporin)可湿性粉剂、2%春雷霉素(kasugamycin)水剂、72%农用链霉素(streptomycin)可湿性粉剂，华北制药河北华诺有限公司；2%几丁聚糖(chitosan)水剂，成都特普生物科技股份有限公司。

仪器：TCA0096型PCR仪，美国Thermo Fisher Scientific公司；RS232C型分光光度计，德国Eppendorf公司；SRX型生化培养箱，宁波江南仪器厂。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 不同药剂对梨火疫病菌抑制活性的测定

采用抑菌圈法(徐琳赟等，2021)测定不同药剂对梨火疫病菌的抑制活性。用灭菌接种环挑取纯化的梨火疫病菌单菌落置于LB液体培养基中，于27℃、160 r/min下振荡培养18~24 h，用无菌水将菌悬液浓度调制为 $1\times10^9$  CFU/mL。取100 mL BPM培养基，温度控制在45~50℃，按体积比10:1与梨火疫病菌菌悬液混匀，制成含菌平板。用80%丙酮分别将99%链霉素、80%春雷霉素和17.7%中生菌素原药溶解制备成母液，用无菌水将母液稀释成系列浓度，99%链霉素的系列浓度分别为720、360、180、90和45 mg/L，80%春雷霉素系列浓度分别为800、400、200、100和50 mg/L，17.7%中生菌素的系列浓度分别为80、40、20、10和5 mg/L，用直径为6 mm

的灭菌打孔器在含菌平板上打孔，每个药剂每个浓度取40 μL加入到孔中，以加入等体积丙酮为空白对照；用无菌水分别将3%噻霉酮微乳液和20%噻菌铜悬浮剂稀释为5个梯度浓度，3%噻霉酮的系列浓度分别为120、60、30、15和7.5 mg/L，20%噻菌铜的系列浓度分别为8 000、4 000、2 000、1 000和500 mg/L，用直径为6 mm的灭菌打孔器在含菌平板上打孔，每个药剂每个浓度取40 μL加入到孔中，以加入等体积无菌水为空白对照，每个浓度重复4次，接种后于27℃生化培养箱中培养48 h，采用十字交叉法测量各处理的抑菌圈直径，计算抑制率，抑制率=(对照组菌落平均直径-处理组菌落平均直径)/对照组菌落平均直径×100%。将抑制率根据反应率-概率值转换表换算成抑制概率值，以药剂浓度的对数为横坐标、以抑制概率值为纵坐标进行线性回归，获得各药剂对梨火疫病菌的毒力回归方程及相关系数，根据回归方程计算抑制中浓度EC<sub>50</sub>。

#### 1.2.2 不同药剂对梨火疫病保护效果的测定

于2019年和2020年在新疆生产建设兵团二师29团一连库尔勒香梨果园(85°N, 41°E)进行田间试验。果园种植面积1.8 hm<sup>2</sup>，种植品种为库尔勒香梨，株距3 m，行距4 m，共种植1 500棵香梨，肥水管理良好，该园于2017年开始发生火疫病，发生程度中等。2019年共设计9个处理，即清水(CK)、农用链霉素4 000倍液+几丁聚糖300倍液、农用链霉素4 000倍液+几丁聚糖500倍液、农用链霉素2 000倍液、农用链霉素4 000倍液、春雷霉素400倍液、春雷霉素800倍液、中生菌素1 000倍液和中生菌素2 000倍液。2020年增加了噻霉酮和噻菌铜2种药剂，共设13个处理，其中9个处理同2019年，其他4个处理分别为噻霉酮500倍液、噻霉酮1 000倍液、噻菌铜200倍液和噻菌铜400倍液，所有药剂均采用二次稀释法进行药剂配制。每年于梨树发病前喷药，2019年共喷药3次，2020年共喷药2次，喷药量均为2 700 L/hm<sup>2</sup>，每个处理重复4次。2019年施药时间分别为4月10日(开花前期)、4月18日(盛花期)和4月28日(落花后)，2020年施药时间分别为4月2日(开花前期)和4月23日(落花后)，因为果农认为盛花期喷药影响了授粉，所以2020年盛花期未喷药。

药剂处理后每隔7 d采用目测法调查发病枝数和主干溃疡斑情况。调查时每棵梨树分东、西、南、北、中5个方向各固定1个枝条，2019年农用链霉素2 000倍液、春雷霉素400倍液、中生菌素1 000倍液等高浓度处理的每17棵树为1个重复，其他处理均

为推荐浓度处理,每43棵为1个重复,对照每25棵为1个重复,每个处理重复4次。2020年农用链霉素2 000倍液、春雷霉素400倍液、中生菌素1 000倍液等高浓度处理的每17棵树为1个重复,其他农用链霉素处理、春雷霉素800倍液、中生菌素2 000倍液等推荐浓度处理的每43棵为1个重复,噻霉酮500倍液和噻菌铜200倍液每25棵为1个重复,噻霉酮1 000倍液和噻菌铜400倍液每23棵为1个重复,对照每25棵为1个重复,每个处理重复4次。参照Lee et al.(2010)方法确定病害等级:0级,无病枝;1级,0<发病枝条数占整树总枝条的比例≤10%,主干无溃疡斑;3级,10%<发病枝条数占整树总枝条的比例≤20%,主干无溃疡斑;5级,20%<发病枝条数占整树总枝条的比例≤35%,主干无溃疡斑;7级,35%<发病枝条数占整树总枝条的比例≤50%或主干有溃疡斑出现;9级,发病枝条数占整树总枝条的比例>50%或主干及砧木严重发病。根据病害等级计算病情指数,根据病情指数计算保护效果。病情指数=Σ(病级×该病级棵数)/(最高病级×调查棵数)×100;保护效果=(1-处理区终期病情×对照区初始病情)/(对照区终期病情×处理区初始病情))×100%。

### 1.2.3 不同药剂对梨火疫病治疗效果的测定

2019年共设9个处理,2020年共设13个处理,各处理同1.2.2。每年于梨树发病后进行喷药处理,2019年共喷药3次,2020年共喷药2次,喷药量均为2 700 L/hm<sup>2</sup>,每个处理重复4次。2019年喷药时间分别为5月27日(幼果期)、7月15日(果实膨大期)和8月2日(果实膨大期),2020年喷药时间分别为6月3日(幼果期)和7月2日(果实膨大期),病情调查方法、病情指数和治疗防效计算方法同1.2.2。

### 1.2.4 不同药剂处理后梨中农药残留的测定

2020年在1.2.3各处理的最后一次喷药后70 d

表1 5种药剂对梨火疫病菌的毒力回归方程

Table 1 Regression equation of toxicity of five bactericides against *Erwinia amylovora*

供试药剂 Fungicide	毒力回归方程 Regression equation of virulence	相关系数 Correlation coefficient	EC <sub>50</sub> / (mg/L)
链霉素 Streptomycin(CK)	y=4.831+0.304x	0.949	3.60
中生菌素 Mesospordin	y=4.934+0.322x	0.999	1.60
噻霉酮 Benzothiazolinone	y=4.356+0.783x	0.986	6.64
春雷霉素 Kasugamycin	y=3.797+0.675x	0.998	60.57
噻菌铜 Thiodiazole-copper	y=3.273+0.563x	0.990	1 168.14

x表示药剂浓度的对数值,y表示抑制概率值。x stands for logarithm of bactericides concentration, y stands for inhibition probability.

采摘梨,每个处理随机选择5棵树,每棵树自东、西、南、北、中5个方位各随机选取12个梨,委托中国农业科学院果树研究所对梨中阿维菌素、矮壮素、噻虫嗪和高效氯氟菊酯农药残留进行检测,委托西安国联质量检测技术股份有限公司对梨中中生菌素、春雷霉素和农用链霉素农药残留进行检测。食品中矮壮素、噻虫嗪、阿维菌素、高效氯氟菊酯、春雷霉素、中生菌素、农用链霉素农药残留限量标准分别为0.05、0.20、0.02、2.00、0.05、0.10和0.10 mg/kg。

### 1.2.5 不同药剂对梨的安全性评价

分别于1.2.2和1.2.3每次喷药后3 d和7 d采用五点取样法对喷药后梨树的安全性进行调查,调查梨花、叶片、枝梢和梨是否有药害发生,重点调查梨是否有果锈、畸形和白斑等药害特征。每个处理的每个重复取5个样点,每个样点调查3棵树。

### 1.3 数据分析

利用Microsoft Excel 2010软件对试验数据进行处理,使用SPSS 19.0软件对数据进行统计分析,采用Duncan氏新复极差法对试验数据进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同药剂对梨火疫病菌的抑制活性

中生菌素、春雷霉素和噻霉酮对梨火疫病菌有一定的抑制作用,且同一药剂的抑制效果随着药剂浓度的增加而增加,其中中生菌素对梨火疫病菌的抑制效果最好,EC<sub>50</sub>为1.60 mg/L,高于链霉素,噻霉酮和春雷霉素对梨火疫病菌的抑制作用次之,EC<sub>50</sub>分别为6.64 mg/L和60.57 mg/L,前者与链霉素的抑制作用相差不大,而噻菌铜对梨火疫病菌的抑制作用最差,EC<sub>50</sub>为1 168.14 mg/L(表1)。

## 2.2 不同药剂对梨火疫病的保护效果

2019年,农用链霉素仍是防控梨火疫病的最好药剂,其2 000倍液和4 000倍液对梨火疫病的保护效果均达到96.12%以上;其次,中生菌素和春雷霉素对梨火疫病的保护效果介于94.94%~96.84%之间,与农用链霉素保护效果相当(表2)。2020年,噻

霉酮500倍液和噻菌酮200倍液对梨火疫病的保护效果均达到100.00%,与农用链霉素4 000+几丁聚糖300倍液的保护效果相当,但噻霉酮和噻菌铜有较明显的剂量效应,其1 000倍液和400倍液对梨火疫病的保护效果分别为95.24%和93.65%,均较其500倍液和200倍液的保护效果明显下降(表2)。

表2 不同药剂对梨火疫病的保护效果

Table 2 Preventive effects of different bactericides on pear fire blight

处理 Treatment	2019		2020	
	病情指数 (第3次药后28 d) Disease index (28 d after the third spraying)	保护效果 Protection control effect/%	病情指数 (第2次药后28 d) Disease index (28 d after the second spraying)	保护效果 Protection control effect/%
农用链霉素2 000倍液 Streptomycin 2 000 dilution	0.40±0.96 a	96.12	0.40±0.40 a	94.78
农用链霉素4 000倍液 Streptomycin 4 000 dilution	0.13±0.13 a	98.74	0.39±0.07 a	94.91
农用链霉素4 000倍液+ 几丁聚糖300倍液 Streptomycin 4 000 dilution+ chitosan 300 dilution	0.26±0.15 a	97.47	0.00±0.00 a	100.00
农用链霉素4 000倍液+ 几丁聚糖500倍液 Streptomycin 4 000 dilution+ chitosan 500 dilution	0.40±0.96 a	96.12	0.32±0.06 a	95.75
春雷霉素400倍液 Kasugamycin 400 dilution	0.40±0.96 a	96.12	0.40±0.40 a	94.78
春雷霉素800倍液 Kasugamycin 800 dilution	0.32±0.16 a	96.84	0.65±0.39 a	91.51
中生菌素1 000倍液 Mesospordin 1 000 dilution	0.40±0.96 a	96.12	0.40±0.40 a	94.78
中生菌素2 000倍液 Mesospordin 2 000 dilution	0.52±0.11 a	94.94	0.78±0.11 a	89.81
噻霉酮500倍液 Benzothiazolinone 500 dilution	-	-	0.00±0.00 a	100.00
噻霉酮1 000倍液 Benzothiazolinone 1 000 dilution	-	-	0.36±0.23 a	95.24
噻菌铜200倍液T hiodiazole-copper 200 dilution	-	-	0.00±0.00 a	100.00
噻菌铜400倍液 Thiodiazole-copper 400 dilution	-	-	0.48±0.34 a	93.65
清水对照CK	10.22±1.27 b	0.00	7.61±1.81 b	0.00

-: 无该项数据或未开展该试验处理。表中数据为平均数±标准差。同列不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著( $P<0.05$ )。-: No such data or the treatment was not carried out. Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ( $P<0.05$ ).

## 2.3 不同药剂对梨火疫病的治疗效果

2019年,农用链霉素4 000倍液对梨火疫病的治疗效果为81.38%,加入几丁聚糖500倍液后,对梨火疫病的治疗效果提高到87.45%,而加入几丁聚糖300倍液后则对梨火疫病的治疗效果提高到96.75%,与农用链霉素2 000倍液的治疗效果相当;

而中生菌素1 000倍液和春雷霉素400倍液对梨火疫病的治疗效果均达到了90.33%,治疗效果介于农用链霉素4 000倍液和2 000倍液之间,但其2 000倍液和800倍液对梨火疫病的治疗效果明显下降,均低于79.00%(表3)。2020年,农用链霉素各处理对梨火疫病的治疗效果均高于92.55%;中生菌素

1 000 倍液、春雷霉素 400 倍液和噻霉酮 500 倍液及其 1 000 倍液对梨火疫病的治疗效果分别为 94.08%、94.08%、100.00% 和 92.46%，与农用链霉素 2 000 倍液处理的治疗效果接近；但中生菌素 2 000 倍

液、春雷霉素 800 倍液和噻菌铜 200 倍液及其 400 倍液对梨火疫病治疗效果较低，治疗效果介于 78.50%~86.97% 之间（表 3）。

表 3 不同药剂对梨火疫病的治疗效果

Table 3 Therapeutic effects of different bactericides on pear fire blight

处理 Treatment	2019		2020	
	病情指数 (第 3 次药后 35 d) Disease index (35 d after the third spraying)	治疗效果 Therapeutic effect/%	病情指数 (第 2 次药后 28 d) Disease index (28 d after the second spraying)	治疗效果 Therapeutic effect/%
农用链霉素 2 000 倍液 Streptomycin 2 000 dilution	0.40±0.40 a	96.75	0.79±0.46 ab	94.08
农用链霉素 4 000 倍液 Streptomycin 4 000 dilution	1.68±0.27 a	81.38	0.84±0.12 ab	92.55
农用链霉素 4 000 倍液+ 几丁聚糖 300 倍液 Streptomycin 4 000 dilution+ chitosan 300 dilution	0.40±0.40 a	96.75	0.79±0.46 ab	94.08
农用链霉素 4 000 倍液+ 几丁聚糖 500 倍液 Streptomycin 4 000 dilution+ chitosan 500 dilution	1.03±0.18 a	87.45	0.78±0.24 ab	95.59
春雷霉素 400 倍液 Kasugamycin 400 dilution	0.79±0.46 a	90.33	0.79±0.46 ab	94.08
春雷霉素 800 倍液 Kasugamycin 800 dilution	2.65±0.39 a	79.00	1.74±0.37 ab	83.61
中生菌素 1 000 倍液 Mesospordin 1 000 dilution	0.79±0.46 a	90.33	0.79±0.46 ab	94.08
中生菌素 2 000 倍液 Mesospordin 2 000 dilution	2.91±0.44 a	76.20	2.58±0.18 b	78.50
噻霉酮 500 倍液 Benzothiazolinone 500 dilution	-	-	0.00±0.00 a	100.00
噻霉酮 1 000 倍液 Benzothiazolinone 1 000 dilution	-	-	0.85±0.57 ab	92.46
噻菌铜 200 倍液 Thiodiazole-copper 200 dilution	-	-	1.39±1.39 a	86.97
噻菌铜 400 倍液 Thiodiazole-copper 400 dilution	-	-	1.45±0.59 a	84.91
清水对照 CK	16.44±4.80 b	0.00	18.00±2.13 c	0.00

-：无该项数据或未开展该试验处理。表中数据为平均数±标准差。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著 ( $P<0.05$ )。-：No such data or the treatment was not carried out. Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ( $P<0.05$ )。

## 2.4 不同药剂处理后梨中的农药残留

2020 年 13 个处理后的香梨中均未检出中生菌素、春雷霉素、高效氯氰菊酯和农用链霉素农药残留，而噻虫嗪、阿维菌素和矮壮素虽有检出，但其残留量均低于国家限量标准（表 4）。

## 2.5 不同药剂对梨的安全性

花期前后喷施中生菌素、春雷霉素、噻霉酮和噻菌铜后，梨花、叶片和枝梢生长安全，均未发生药害；

幼果期施药后，幼果期、果实膨大期和成熟期香梨果面均无果锈及畸形出现，但部分处理后香梨出现白斑果，其中 2019 年和 2020 年，农用链霉素 4 000 倍液+几丁聚糖 300 倍液处理后香梨的白斑果率分别为 0.51% 和 2.04%，农用链霉素 4 000 倍液处理后香梨白斑果率为 0.93% 和 0，农用链霉素 2 000 倍液处理后香梨的白斑果率分别为 1.94% 和 0.47%，而中生菌素 2 000 倍液、春雷霉素 400 倍液及其 800 倍液

处理后未见白斑果;2019年,中生菌素1 000倍液处理后香梨的白斑果率为1.10%,但清水对照处理后香梨的白斑果率为1.82%;2020年,只有农用链霉素4 000倍液+几丁聚糖300倍液和农用链霉素

2 000倍液2个处理后香梨出现白斑果,白斑果率也分别只有0.51%和0.47%,而中生菌素、春雷霉素、噻霉酮和噻菌铜和清水对照处理后香梨均未出现白斑果。

表4 2020年采收期梨中农药残留情况

Table 4 Pesticide residues in pears during harvesting in 2020

mg/kg

处理 Treatment	矮壮素 Chlormeq- uat	噻虫嗪 Thiametho- xam	阿维菌素 Avermectin	高效 氯氟菊酯 Cypermeth- rin	春雷霉素 Kasugamycin	中生菌素 Mesospordin	农用链霉素 Streptomy- cin
农用链霉素2 000倍液 Streptomycin 2 000 dilution	0.003 9	0.002 1	0.001 7	ND	ND	ND	ND
农用链霉素4 000倍液 Streptomycin 4 000 dilution	0.023 5	0.004 9	0.001 7	ND	ND	ND	ND
农用链霉素4 000倍液+ 几丁聚糖300倍液 Streptomycin 4 000 dilution+ chitosan 300 dilution	0.030 8	0.010 5	0.001 3	ND	ND	ND	ND
农用链霉素4 000倍液+ 几丁聚糖500倍液 Streptomycin 4 000 dilution+ chitosan 500 dilution	0.028 8	0.005 4	0.000 8	ND	ND	ND	ND
春雷霉素400倍液 Kasugamycin 400 dilution	0.005 2	0.002 9	0.000 7	ND	ND	ND	ND
春雷霉素800倍液 Kasugamycin 800 dilution	0.028 8	0.011 9	0.000 3	ND	ND	ND	ND
中生菌素1 000倍液 Mesospordin 1 000 dilution	0.006 0	0.006 3	0.001 5	ND	ND	ND	ND
中生菌素2 000倍液 Mesospordin 2 000 dilution	0.025 9	0.008 1	0.000 7	ND	ND	ND	ND
噻霉酮500倍液 Benzothiazolinone 500 dilution	0.006 5	0.004 5	0.000 7	ND	ND	ND	ND
噻霉酮1 000倍液 Benzothiazolinone 1 000 dilution	0.015 7	0.004 3	0.002 1	ND	ND	ND	ND
噻菌铜200倍液 Thiodiazole-copper 200 dilution	0.002 7	0.005 0	0.002 4	ND	ND	ND	ND
噻菌铜400倍液 Thiodiazole-copper 400 dilution	0.0174	0.0044	0.0024	ND	ND	ND	ND
清水对照CK	0.009 5	0.003 9	0.002 0	ND	ND	ND	ND

ND: 未检出。ND: Not detected.

### 3 讨论

本田间试验以供试药剂的推荐浓度作为低浓度处理,以推荐浓度的2倍作为高浓度处理,结果显示,中生菌素、春雷霉素、噻霉酮和噻菌铜4种药剂的高浓度和推荐浓度对梨火疫病均有保护作用和治疗作用;在高剂量施药条件下,中生菌素和春雷霉素可作

为农用链霉素的替代药剂,但在病害大发生年份其推荐浓度是否能够有效控制梨火疫病还需要进一步测试。在2019年供试药剂基础上,2020年增加了噻霉酮和噻菌铜2种药剂,其高浓度对梨火疫病的保护防效均达到了100.00%,但推荐的低浓度(噻霉酮1 000倍液和噻菌铜400倍液)的保护防效均有所下

降,分别为95.24%和93.65%,但与农用链霉素2 000倍液(对照药剂)的保护防效相当;噻霉酮500倍液的治疗防效为100.00%,但噻霉酮1 000倍液、噻菌铜200倍液和400倍液的治疗防效均明显下降,为84.91%~92.46%,低于农用链霉素2 000倍液(对照药剂)的治疗防效;但在室内毒力测定中,噻菌铜的抑菌效果很差,EC<sub>50</sub>仅为1 168.14 mg/L,与田间试验效果差异较大,其原因还有待进一步研究。

本研究结果显示,2019年和2020年农用链霉素4 000倍液的保护防效分别为98.74%和94.91%,治疗防效分别为81.38%和92.55%;中生菌素2 000倍液的保护防效分别为94.94%和89.81%,治疗防效分别为76.20%和78.50%;春雷霉素800倍液的保护防效分别为96.84%和91.51%,治疗防效分别为79.00%和83.61%。王泓力等(2022)以杜梨苗为试材测试了中生菌素、春雷霉素和农用链霉素等12种药剂对梨火疫病的防效,其中农用链霉素4 000倍液的保护防效为89.55%,治疗防效为72.50%;3%中生菌素400倍液的保护防效为78.25%,治疗防效为65.75%;2%春雷霉素500倍液的保护防效为80.33%,治疗防效为64.50%,在相近稀释倍数下这3种药剂的防效均低于本研究结果,究其原因可能与试验条件有关,本研究为田间试验,试验材料为香梨,香梨为自然发病,而王泓力等(2022)以杜梨苗为试验材料,采用人工接种病原菌。就本研究结果而言,2019年和2020年同种药剂相同稀释倍数下的防效也有一定差异,这可能与环境、气候等有关。2019年和2020年,在保护效果试验中清水对照的病情指数分别为10.22和7.61,而在治疗效果试验中清水对照的病情指数分别为16.44和18.00,表明总体发病程度都较轻,田间接种体数量相对较少,这可能是本研究中供试药剂防效较高的原因之一,而王泓力等(2022)的研究结果可作为田间高接种体数量条件下有关药剂防效的参考。

本研究自梨花前期至成熟期连续喷施中生菌素、链霉素、春雷霉素、噻霉酮和噻菌酮4~6次,各药剂处理后梨树生长均正常,梨叶片和枝梢均未出现不良影响,但由于生长季连续多次药剂处理,特别是幼果期施用后,2019年除中生菌素2 000倍液和春雷霉素400倍液及其800倍液处理后梨未出现白斑果实外,农用链霉素各处理后梨均出现白斑果实,白斑果率为0.93%~2.04%;2020年除农用链霉素4 000倍液+几丁聚糖300倍液和农用链霉素2 000倍液处理后白斑果率分别为0.51%和0.47%外,其他

各处理后香梨均未出现白斑果实,说明中生菌素、春雷霉素、噻霉酮和噻菌铜这4种药剂残留量更低,安全性更高。关于中生菌素、春雷霉素、噻霉酮和噻菌铜这4种药剂的安全性在其他作物上也有报道,如梁欢等(2020)发现3%噻霉酮可湿性粉剂对马铃薯软腐病有较好的防治效果,且对马铃薯安全;Li et al.(2020)研究表明春雷霉素对稻瘟病有较强的预防效果,在水稻破口前期至破口期喷施春雷霉素对水稻安全;郭安柱等(2020)发现于核桃授粉期基本结束后开始连续3次对核桃树喷施中生菌素后,核桃黑斑病被控制,且对核桃树安全性较好;冯爱卿等(2020)研究表明,20%噻菌铜水悬浮剂对水稻白叶枯病有较好的防效,对水稻安全,无不良影响。梨花柱头是病原菌侵染的主要器官(Thomson, 1986; Pusey & Wend, 2012),花期是预防梨火疫病菌侵染梨花柱头的最佳时期,但因为担心影响坐果率及发生药害,巴音郭楞蒙古自治州当地果农无花期喷药的习惯,该研究结果为花期喷药防治火疫病提供了理论依据。

因条件限制,本研究只测试了中生菌素、链霉素、春雷霉素、噻霉酮和噻菌酮这4种药剂对梨火疫病的保护效果和治疗效果。为了提高防治效果,降低抗药性风险,仍需继续筛选更多药剂,以便实现药剂轮换,建立全程防控技术,降低梨火疫病流行风险。本研究将链霉素与几丁聚糖进行混合喷施处理,其对梨火疫病的防效优于相同施药浓度的链霉素处理,但中生菌素、链霉素、春雷霉素、噻霉酮和噻菌酮这4种杀菌剂与几丁聚糖混用是否有增效效果还需要进一步研究。

## 参 考 文 献 (References)

- Andersen MC, Adams H, Hope B, Powell M. 2004. Risk analysis for invasive species: general framework and research needs. *Risk Analysis*, 24(4): 893~900
- Arsova J, Arsov E, Mitrev S. 2017. Present status of fire blight caused by *Erwinia amylovora* on quince trees in the republic of Macedonia. *Vegetosh*, 30(2): 30
- Chen GY. 2020. Bleeding canker of pear: an emerging devastating disease. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(4): 887~888
- Feng AQ, Chen S, Wang CY, Chen KL, Feng JQ, Yang JY, Zeng LX, Zhu XY. 2020. Evaluation on the control efficacy of seven fungicides against rice bacterial blight. *Plant Protection*, 46(4): 282~286 (in Chinese) [冯爱卿, 陈深, 汪聪颖, 陈凯玲, 封金奇, 杨健源, 曾列先, 朱小源. 2020. 7种杀菌剂对水稻白叶枯病防效评价. *植物保护*, 46(4): 282~286]
- Guo AZ, Zhang LY, Li Y, Zhu SY, Tang GH. 2020. Selection and field

- application of effective bactericides against walnut blight. Journal of Northwest Forestry University, 35(1): 177–182 (in Chinese) [郭安柱, 张力元, 李岩, 朱姝颖, 唐光辉. 2020. 防治核桃黑斑病药剂筛选及田间药效试验. 西北林学院学报, 35(1): 177–182]
- Joshi NK, Ngugi HK, Biddinger DJ. 2020. Bee vectoring: development of the Japanese orchard bee as a targeted delivery system of biological control agents for fire blight management. *Pathogens*, 9(1): 41
- Lee SA, Ngugi HK, Halbrendt NO, O'Keefe G, Lehman B, Travis JW, Sinn JP, McNellis TW. 2010. Virulence characteristics accounting for fire blight disease severity in apple trees and seedlings. *Phytopathology*, 100(6): 539–550
- Li HT, Zhang JW, Sheng Q, Tang ZH, Zhang XL, Zhang CZ, Luo M. 2019. Resistance evaluation of 20 pear varieties (germplasms) in China to foreign strains of *Erwinia amylovora*. *Journal of Fruit Science*, 36(5): 629–637 (in Chinese) [李洪涛, 张静文, 盛强, 唐章虎, 张祥林, 张春竹, 罗明. 2019. 我国20个梨品种(种质)对国外梨火疫病菌的抗病性评价. 果树学报, 36(5): 629–637]
- Li WX, Dai XF, Pu ET, Bian HT, Chen ZL, Zhang XY, Guo ZX, Li P, Li HD, Yong YH, et al. 2020. HLB-MCX-based solid-phase extraction combined with liquid chromatography – tandem mass spectrometry for the simultaneous determination of four agricultural antibiotics (kasugamycin, validamycin A, ningnanmycin, and polyoxin B) residues in plant-origin foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(47): 14025–14037
- Liang H, Xu J, Wang XN, Zhang T, Xu JS, Zhang H, Feng J. 2020. Control effects of eleven bactericides on potato soft rot. *Plant Protection*, 46(5): 309–315 (in Chinese) [梁欢, 徐进, 王晓宁, 张彤, 许景升, 张昊, 冯洁. 2020. 11种杀菌剂对马铃薯软腐病的防治效果. 植物保护, 46(5): 309–315]
- Mendes RJ, Regalado L, Luz JP, Tassi N, Teixeira C, Gomes P, Tavares F, Santos C. 2021. *In vitro* evaluation of five antimicrobial peptides against the plant pathogen *Erwinia amylovora*. *Biomolecules*, 11(4): 554
- M'hamed B, Boualem B, Sofiane B, Omar K. 2021. Isolation and efficacy of two bacterial strains antagonists of *Erwinia amylovora* and *Pectobacterium carotovorum*. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(1): 105
- Psallidas PG, Tsiantos J. 2000. Chemical control of fire blight.//Vansteene JL. 2000. Fire blight: the disease and its causative agent, *Erwinia amylovora*. UK: CABI Publishing, pp. 199–234
- Pusey PL, Wend C. 2012. Potential of osmoadaptation for improving *Pantoea agglomerans* E325 as biocontrol agent for fire blight of apple and pear. *Biological Control*, 62(1): 29–37
- Reininger V, Schöneberg A, Holliger E. 2017. Plant protection field trials against fire blight in Switzerland in 2015. *Journal of Plant Pathology*, 99: 131–136
- Schachterle JK, Zeng QA, Sundin GW. 2019. Three Hfq-dependent small RNAs regulate flagellar motility in the fire blight pathogen *Erwinia amylovora*. *Molecular Microbiology*, 111(6): 1476–1492
- Shang LL, Zhou GL, Qiu SH, Chen ZB, Xu DS, Yi JP. 2010. Detection of *Erwinia amylovora* in cherry fruits imported from USA by PCR. *Journal of Plant Protection*, 37(5): 441–446 (in Chinese) [尚琳琳, 周国梁, 仇书红, 陈仲兵, 徐殿胜, 易建平. 2010. 美国进口樱桃果实中梨火疫病菌的检测. 植物保护学报, 37(5): 441–446]
- Sharifzadeh M, Harighi B, Sadeghi A. 2017. Evaluation of biological control of *Erwinia amylovora*, causal agent of fire blight disease of pear by antagonistic bacteria. *Biological Control*, 104: 28–34
- Slack SM, Walters KJ, Outwater CA, Sundin GW. 2021. Effect of kasugamycin, oxytetracycline, and streptomycin on in-orchard population dynamics of *Erwinia amylovora* on apple flower stigmas. *Plant Disease*, 105(6): 1843–1850
- Steiner PW. 2000. Integrated orchard and nursery management for the control of fire blight.//Vanneste JL. 2000. Fire blight: the disease and its causative agent, *Erwinia amylovora*. UK: CABI Publishing, pp. 339–358
- Thomson SV. 1986. The role of the stigma in fire blight infections. *Phytopathology*, 76(5): 476
- Tsiantos J, Psallidas P. 1993. Chemical control of fire blight (*Erwinia amylovora*) under natural and artificial conditions. *Acta Horticulturae*, (338): 305–308
- van Teylingen M. 2002. Ornamental hosts of *Erwinia amylovora* and the effect of the fire blight control policy in the Netherlands. *Acta Horticulturae*, (590): 81–87
- Wang HL, Wang Y, Wu YF, Liu PF, Liu AH, Gao S, Lou BG. 2022. Prevention and control efficacies of 12 bactericides on fire blight of *Pyrus betulifolia* seedlings. *Plant Protection*, 48(6): 111–117, 178 (in Chinese) [王泓力, 王岩, 吴曰福, 刘朋飞, 刘爱华, 高山, 楼兵干. 2022. 2种杀菌剂对杜梨苗梨火疫病的预防与治疗效果测定. 植物保护, 48(6): 111–117, 178]
- Xu LY, Gulizire M, Han J, Jiang P, Huang W, Luo M. 2021. Screening of endophytic antagonistic bacteria from 'kuerlexiangli' pear and their biocontrol potential against fire blight disease. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 41(1): 132–141 (in Chinese) [徐琳赟, 古丽孜热·曼合木提, 韩剑, 蒋萍, 黄伟, 罗明. 2021. 香梨内生拮抗细菌的筛选及对梨火疫病的生防潜力. 西北植物学报, 41(1): 132–141]
- Yang JH, Xu YT, Zhang XL. 2022. Advances of fire blight in pear. *Molecular Plant Breeding*, 20(3): 1003–1013 (in Chinese) [杨金花, 徐叶挺, 张校立. 2022. 梨火疫病研究进展. 分子植物育种, 20(3): 1003–1013]

(责任编辑:张俊芳)