

梨和苹果种质对阿太菌果腐病菌的抗性评价 及其防治药剂筛选

贾晓辉^{1,2} 王文辉^{1*} 傅俊范^{2*} 杜艳民¹ 王 阳¹ 周如军²

(1. 中国农业科学院果树研究所, 辽宁 兴城 125100; 2. 沈阳农业大学植物保护学院, 沈阳 110866)

摘要: 为明确不同梨和苹果种质对阿太菌果腐病菌 *Athelia bombacina* 的抗性以及筛选防治其有效杀菌剂, 采用离体菌丝块有伤接种方法对40份梨种质和154份苹果种质进行病斑直径测定, 通过聚类分析法和平均病斑直径法对不同种质进行了抗病性分级, 并利用菌丝生长速率法测定了13种常用杀菌剂对阿太菌果腐病菌的毒力。结果表明, 根据聚类分析法和平均病斑直径法均可将梨和苹果种质划分为高抗、抗、中抗、感和高感5类。与平均病斑直径法相比, 梨和苹果种质分别以欧式距离为14和10作为最佳聚类分割点时进行聚类分析能够更加科学地划分类别, 从40份梨种质中筛选出金锤子梨1个高抗种质, 仅占总数的2.50%, 从154份苹果种质中筛选出垂丝海棠、莫斯科透明、新疆苹果、路边石、伏帅等32个高抗种质, 占总数的22.73%。药剂试验结果表明, 戊唑醇、腈菌唑、咯菌腈和噁唑酰胺对阿太菌果腐病菌菌丝生长的抑制效果较好, 抑制中浓度 EC_{50} 分别为0.027、0.048、0.054和0.095 mg/L。表明梨和苹果种质均可被阿太菌果腐病菌侵染, 但不同种质间抗病性差异明显, 戊唑醇是采前防治阿太菌果腐病菌菌丝生长的最佳药剂。

关键词: 梨和苹果种质; 阿太菌果腐病菌; 抗性评价; 药剂筛选

Evaluation of resistance to fruit rot pathogen *Athelia bombacina* for pear and apple germplasms and screening of fungicides

JIA Xiaohui^{1,2} WANG Wenhui^{1*} FU Junfan^{2*} DU Yanmin¹ WANG Yang¹ ZHOU Rujun²

(1. Research Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng 125100, Liaoning Province, China; 2. College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, Liaoning Province, China)

Abstract: In order to determine the resistance of different pear and apple germplasms to *Athelia bombacina* and the virulence of different fungicides to *Athelia bombacina*, 40 pear germplasms and 154 apple germplasms were inoculated *in vitro* with wounded mycelium, and the diameter of lesions was determined by cluster analysis and average lesion diameter method was used to classify the resistance of different germplasms, and mycelial growth rate method was used to determine the virulence of 13 commonly fungicides to *Artemisia* fruit rot fungi. The results showed that pear and apple germplasms could be classified into five categories: high resistance, resistance, moderate resistance, susceptibility and high susceptibility by cluster analysis and average lesion diameter method. Compared with the average lesion diameter method, pear and apple germplasms were divided into 14 and 10 European distances as the best clustering points, clustering analysis could classify pear germplasms more scientifically. Among 40 pear germplasms, Jinchuizi was selected as the high resistance germplasm, of which

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0400903-06), 国家现代农业(梨)产业技术体系建设专项(CARS-29-19), 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: wangwenhui@caas.cn, fujunfan@163.com

收稿日期: 2019-05-20

only 2.50% was high resistance, while 154 apple germplasms were screened out. Thirty-two high resistance germplasms, including Chuisihaitang, Mosiketouming, Xinjiangpingguo, Lubianshi, Fushuai and so on, accounted for more than 22.73% of them. *Athelia bombacina* hyphae were sensitive to triazole fungicides such as tebuconazole, myclobutanil, flusilazole and thifluzamide, the concentration for 50% of maximal effect (EC_{50}) were 0.027, 0.048, 0.054 and 0.095 mg/L, respectively. It was concluded that both pear and apple germplasms could be infected by fruit rot of *A. bombacina*, but there were obvious differences in resistance among different germplasms, and tebuconazole was the best agent to control the mycelial growth of fruit rot of *A. bombacina* before harvest.

Key words: pear and apple germplasms; *Athelia bombacina*; resistance; screening of fungicides

梨树是我国三大果树之一,据2019年中国农村统计年鉴统计,2018年我国梨树种植面积为94.34万 hm^2 ,产量1 607.8万t,其中,河北省作为梨主产区,无论种植规模还是贮藏量均居全国首位,其栽培品种主要有黄冠、鸭梨和雪花等。近年来,河北省贮藏期的黄冠梨发生一种新病害——阿太菌果腐病,给梨贮藏企业造成较严重的经济损失。经鉴定,该病害致病菌为阿太菌属病菌 *Athelia bombacina* (Jia et al., 2018)。目前,梨阿太菌果腐病仅在黄冠、库尔勒香梨以及红香酥等梨品种上被发现(Jia et al., 2018)。该菌多见用于生防菌剂开发,主要用作苹果黑星病(Heye & Andrews, 1983; Miedtke & Kennel, 1999; Carisse et al., 2000)和斑幕小潜叶蛾 *Phyllonorycter blancardella* 的生防菌株(Young & Andrews, 1990; Vincent et al., 2004)。然而,该菌是否侵染其它苹果品种以及不同苹果品种抗病性如何也尚未见报道。阿太菌果腐病虽发生在贮藏期,但该病害是否属于采前带菌所致,在果园中使用哪些杀菌剂可有效预防采后阿太菌果腐病的发生均需亟待解决。

抗病性鉴定和抗病种质资源筛选是品种合理利用和抗病育种工作的基础(张丽丽等, 2010)。在种质资源抗病性鉴定中,不同地点环境条件直接影响田间接种效果,同时大量的种质资源材料进行活体接种,存在费时、投入成本高等问题,而室内离体接种不仅可以保证接种条件的一致性,而且具有用时短、成本低等优点,因此,采用室内离体接种鉴定方法具有更好的应用前景(张丽丽等, 2010; 孙洁莹等, 2016)。孢子喷雾和菌丝块接种是果实接种病原菌2种常用方式,并以菌丝块接种方法应用更广泛。如田路明等(2011; 2013)通过生理落果期后梨接种菌饼的方法进行轮纹病的抗病性评价;张玉经等(2010)同样采用菌丝块离体接种方法对苹果种质资源抗轮纹病进行了鉴定;赵金梅等(2013)通过接种

离体果实筛选出抗梨轮纹病和炭疽病的品种。

为明确不同梨和苹果种质对阿太菌果腐病菌的抗病性以及不同杀菌剂对阿太菌果腐病菌的毒力情况,本研究采用平均病斑直径法和聚类分析法2种方法对40份梨种质和154份苹果种质进行了抗病性鉴定;采用菌丝生长速率法测定了13种杀菌剂对阿太菌果腐病菌的毒力,初步筛选出对梨阿太菌果腐病的防治药剂,以期为梨、苹果种质资源利用、栽培育种等提供重要信息,并为该病害的有效防控提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株及梨、苹果品种:阿太菌果腐病菌菌株由中国农业科学院果树研究所采后技术研究中心实验室保存,编号为HG-AB20170418。于果实成熟季从辽宁省兴城市国家梨、苹果种质资源圃分别采集40份梨种质和154份苹果种质。

药剂、培养基及仪器:430 g/L戊唑醇(tebuconazole)悬浮剂、10%苯醚甲环唑(fluorosilazole)水分散粒剂、10%多抗霉素(dan-triazole-ketone)可湿性粉剂,青岛翰生生物科技股份有限公司;44%三唑酮(clotrimazole)悬浮剂,江苏剑牌农化股份有限公司;40%腈菌唑(nitrile)可湿性粉剂、20%噻呋酰胺(azathiofuramide)悬浮剂,山东省联合农药工业有限公司;400 g/L氟硅唑(zinc)乳油,美国杜邦公司;50%多菌灵(carbendazim)可湿性粉剂,江阴福达农化股份有限公司;70%甲基硫菌灵(polyantimycin)可湿性粉剂,江苏无锡市锡南农药有限公司;40%百菌清(chlorothalonil)悬浮剂,江苏新河农用化工有限公司;80%代森锰锌(manganese)可湿性粉剂,江苏龙灯化学有限公司;80%克菌丹(dimethiconazole)可湿性粉剂,安道麦马克西姆有限公司;25 g/L咯菌腈(clotrimazole)悬浮种衣剂,先正达南通作物保护有

限公司;其中戊唑醇、三唑酮、腈菌唑、苯醚甲环唑、氟硅唑属于三唑类药剂,多菌灵、甲基硫菌灵属于苯并咪唑类药剂,百菌清、多抗霉素、克菌丹、代森锰锌以及咯菌腈属于广谱性药剂。马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar, PDA)培养基购于北京索莱宝科技有限公司,取46.0 g于1 000 mL蒸馏水中溶解,120℃高压灭菌20 min待用。MIR-254恒温培养箱,日本三洋公司;CX-300生物数码显微镜,日本奥林巴斯公司。

1.2 方法

1.2.1 梨、苹果果实离体接种

从阿太菌果腐病菌菌株中挑取少量菌丝,经活化复壮后接至PDA平板上培养5 d,在菌落边缘用打孔器打取直径为5 mm的菌饼备用。

选取大小一致、无机械伤和病虫害的梨、苹果果实,经70%酒精表面消毒后,用浓度为1%的次氯酸钠浸泡2 min,浸泡后取出用无菌水冲洗,自然晾干备用。在果实胴部用消毒后的接种针扎约深5 mm、直径0.5 mm的圆形伤口,将打取直径5 mm的菌饼,菌丝面向下接种至伤口位置,以接同等大小的PDA培养基作对照。根据果实大小确定接种点个数,其中大果设定3个接种点,小果设定1个接种点,每个处理10个果实。将接种好的果实放在塑料钵中,塑料钵内部垫有无菌水纱布,塑料钵上覆盖双层保鲜膜进行保湿,置于25℃、自然光照射下培养,定期观察病斑大小,第5天时统计发病情况并测量病斑直径。

1.2.2 梨、苹果种质对阿太菌属病菌抗性评价方法

采用平均病斑直径法和系统聚类分析法对果实的抗性等级进行划分。平均病斑直径法是根据接种第5天病斑直径大小进行等级划分,梨种质抗性等级划分标准:高抗(highly resistant, HR):0≤病斑直径≤2 mm;抗病(resistant, R):2 mm<病斑直径≤4 mm;中抗(moderately resistant, MR):4 mm<病斑直径≤5 mm;感病(susceptible, S):5 mm<病斑直径≤6 mm;高感(highly susceptible, HS):6 mm<病斑直径。苹果种质5个抗性等级的划分标准:高抗:0≤病斑直径≤4 mm;抗病:4 mm<病斑直径≤5 mm;中抗:5 mm<病斑直径≤6 mm;感病:6 mm<病斑直径≤7 mm;高感:7 mm<病斑直径。

系统聚类分析法(简称聚类法):在接种后第5天测定病斑直径,参考陈红梅等(2013)、胡军华等(2015)方法筛选出数据不转换、最长距离法作为聚类方法,对梨、苹果种质进行抗病性评价。根据聚类分

割点获得梨和苹果种质最佳欧式距离分别为14和10。

1.2.3 不同杀菌剂对病原菌的室内毒力测定

采用菌丝生长速率法测定13种常用杀菌剂对阿太菌果腐病菌的室内毒力。将灭菌后的PDA培养基冷却至50℃,配制成含不同杀菌剂浓度的含药培养基,浓度分别为1、10、100 mg/L。将阿太菌果腐病菌接至PDA平板上培养5 d,打取直径5 mm的菌饼置于含有以上不同药剂处理的PDA平板中央,25℃恒温培养7 d,以不加药剂的PDA培养基为对照,采用十字交叉法测量菌落直径,每个处理重复5次。计算抑菌率,抑菌率=(对照菌落直径-处理菌落直径)/对照菌落直径×100%。

根据菌株在不同杀菌剂PDA培养基上的菌丝生长情况,选择在有效含量为10 mg/L含杀菌剂PDA培养基上,抑菌率大于或等于80%的杀菌剂作为对病害防控的候选有效杀菌剂。然后观察阿太菌果腐病菌在不同浓度的含有效杀菌剂的PDA平板上菌丝生长情况,浓度分别为10、5、1、0.5、0.1、0.01 mg/L,培养第7天,采用十字交叉法测量菌落直径,每个处理重复5次。以浓度对数值 x 和抑制菌落生长百分率的概率值 y 求毒力回归方程,计算引起50%最大效应的抑制中浓度(the concentration for 50% of maximal effect, EC_{50})。

1.3 数据分析

采用SPSS 16.0软件进行统计分析和聚类分析,采用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 梨种质对阿太菌果腐病菌的抗病性比较

梨种质对病原菌的抗病性测定结果显示,病斑直径在1.10~6.85 mm之间。平均病斑直径法和聚类分析法均可将40份梨种质划分为高抗、抗、中抗、感和高感5类。平均病斑直径法分析结果显示,梨种质包括1份高抗种质、3份抗病种质、19份中抗种质、13份感病种质和4份高感种质,分别占总数的2.50%、7.50%、47.50%、32.50%和10.00%。聚类分析法分析结果显示,梨种质包括1份高抗种质、1份抗病种质、21份中抗种质、7份感病种质和10份高感种质,分别占总数的2.50%、2.50%、52.50%、17.50%和25.00%。在供试梨种质中,未发现对阿太菌果腐病菌免疫的种质,其中高抗、抗病种质分别为金锤子梨和红枝母秧,2种评价方法筛选出高抗种质所占比例均为2.50%(表1)。

表 1 梨种质对阿太菌果腐病菌 HG-AB20170418 的抗性测定结果

Table 1 Resistance response of pears varieties to *Athelia bombacina* HG-AB20170418

品种 Variety	平均病斑 直径 Mean lesion diameter/ mm	抗病性反应型 Resis- tance response type		品种 Variety	平均病斑 直径 Mean lesion diameter/ mm	抗病性反应型 Resis- tance response type	
		聚类分析 Clustering analysis	平均病斑 直径法 Average lesion diameter method			聚类分析 Clustering analysis	平均病斑 直径法 Average lesion diameter method
金锤子梨 Jinchuizi	1.10	HR	HR	雪花 Xuehua	4.78	MR	MR
红枝母秧 Hongzhimuyang	2.13	R	R	青皮钟 Qingpizhong	4.80	MR	MR
博山池 Boshanchi	3.21	MR	R	大宝珠 Dabaozhu	4.88	MR	MR
新梨 7 号 Xinli no. 7	3.45	MR	R	灌阳雪 9 号 Guanyangxue no. 9	5.08	S	S
尖把 Jianba	4.09	MR	MR	玉露香 Yuluxiang	5.17	S	S
P15 杂交 P15zajiao	4.15	MR	MR	早金香 Zaojinxiang	5.28	S	S
京白 Jingbai	4.19	MR	MR	五久香 Wujiuxiang	5.29	S	S
绿云 Lüyun	4.24	MR	MR	黄冠 Huangguan	5.30	S	S
黄县长把 Huangxianchangba	4.27	MR	MR	蜜酥 Misu	5.31	S	S
富源黄 Fuyuanhuang	4.40	MR	MR	桑美 Sangmei	5.39	S	S
花盖 Huagai	4.42	MR	MR	灌阳雪 Guanyangxue	5.56	HS	S
青梨 Qingli	4.45	MR	MR	丰水 Fengshui	5.75	HS	S
南果 Nanguo	4.55	MR	MR	安梨 Anli	5.78	HS	S
金水 Jinshui	4.59	MR	MR	鸭梨 Yali	5.84	HS	S
鲁沙 Lusha	4.63	MR	MR	华酥 Huasu	5.90	HS	S
蜜梨 Mili	4.63	MR	MR	秋月 Qiuyue	5.92	HS	S
红早酥 Hongzaosu	4.63	MR	MR	冬果梨 Dongguo	6.16	HS	HS
库尔勒香 Kuerlexiang	4.63	MR	MR	八月红 Bayuehong	6.36	HS	HS
早酥 Zaosu	4.67	MR	MR	粉红霄梨 Fenhongxiang	6.40	HS	HS
大凹凹梨 Daaoaoli	4.69	MR	MR	三季 Sanji	6.85	HS	HS

HR: 高抗; R: 抗病; MR: 中抗; S: 感病; HS: 高感。HR: Highly resistant; R: resistant; MR: moderately resistant; S: susceptible; HS: highly susceptible.

2.2 苹果种质对阿太菌果腐病菌的抗病性比较

苹果种质对病原菌的抗病性测定结果显示,病斑直径在 2.76~7.69 mm 之间。平均病斑直径法和聚类分析法均可将 154 份苹果种质划分为高抗、抗、中抗、感和高感 5 类(表 2)。

平均病斑直径法分析结果显示,苹果种质包括 32 份高抗种质、48 份抗病种质、40 份中抗种质、26 份感病种质和 8 份高感种质,分别占总数的 20.78%、31.17%、25.97%、16.88% 和 5.19%。聚类分析法结果显示,也可将苹果种质划分为 5 类,包括 35 份高抗种质、46 份抗病种质、36 份中抗种质、28 份感病种质和 9 份高感种质,分别占总数的 22.73%、29.87%、

23.38%、18.18% 和 5.84%。2 种鉴定方法筛选出高抗苹果种质为垂丝海棠、莫斯科透明、新疆苹果、路边石 1、伏帅、11G4、麻姑、HDM-11、冬甜、3029、史东好吉、沈农 2 号、路边石 21、3012、11-47、意大利早红、28009、青森短枝、夏力蒙、29013、3005、长红、2622、克里斯克、斯帕坦、锦红、26019、多一露、3018、27019、莱蒂和瑞林等 32 份,高感苹果种质为狮子山 2 号、南岔沙果 2、小砭山八棱、兴平、三道沟小五沟海棠、白卡维、酒泉楸子和新国光等 8 份。供试苹果种质中也未发现对阿太菌果腐病免疫的种质(表 2)。

表2 苹果种质对阿太菌果腐病菌的抗性测定结果

Table 2 Resistance response of apples varieties to *Athelia bombacina* HG-AB20170418

品种 Variety	平均病斑直径 Mean lesion diameter/mm	抗病性反应型 Resistance response type		品种 Variety	平均病斑直径 Mean lesion diameter/mm	抗病性反应型 Resistance response type	
		聚类分析 Clustering analysis	直径法 Average lesion diameter method			聚类分析 Clustering analysis	直径法 Average lesion diameter method
垂丝海棠 Chuisihaitang	2.76	HR	HR	3033	4.98	R	R
莫斯科透明 Mosiketouming	2.90	HR	HR	秋力蒙 Qiulimeng	4.98	R	R
新疆苹果 Xinjiangpingguo	2.98	HR	HR	3010	5.00	R	R
路边石 1 Lubianshi 1	3.05	HR	HR	西蒙飞 Ximengfei	5.02	R	MR
伏帅 Fushuai	3.16	HR	HR	巴 4 Ba 4	5.08	MR	MR
11G4	3.17	HR	HR	29015	5.09	MR	MR
麻姑 Magu	3.20	HR	HR	HDM-16	5.10	MR	MR
HDM-11	3.22	HR	HR	秦光 Qinguang	5.11	MR	MR
冬甜 Dongtian	3.27	HR	HR	倭锦 Weijin	5.12	MR	MR
3029	3.39	HR	HR	石家磨楸子 Shijiamoqiuzi	5.14	MR	MR
史东好吉 Shidonghaoji	3.40	HR	HR	27015	5.14	MR	MR
沈农 2 号 Shennong no. 2	3.40	HR	HR	初秋 Chuqiu	5.17	MR	MR
路边石 21 Lubianshi 21	3.41	HR	HR	热碾子 Regunzi	5.17	MR	MR
3012	3.41	HR	HR	27007	5.18	MR	MR
11-47	3.48	HR	HR	东花园冷果子 Donghuayuanlengguozi	5.20	MR	MR
意大利早红 Yidalizaohong	3.53	HR	HR	凤凰卵海棠 Fenghuangluanhaitang	5.22	MR	MR
28009	3.56	HR	HR	垂枝国光 Chuizhiguoguang	5.25	MR	MR
青森短枝 Qinsenduanzhi	3.57	HR	HR	新冬 Xindong	5.26	MR	MR
夏力蒙 Xialimeng	3.60	HR	HR	2580	5.29	MR	MR
29013	3.63	HR	HR	红乔王 Hongqiaowang	5.29	MR	MR
3005	3.67	HR	HR	青香蕉 Qingxiangjiao	5.29	MR	MR
长红 Changhong	3.70	HR	HR	新倭锦 Xinweijin	5.30	MR	MR
2622	3.72	HR	HR	澳洲青苹 Aozhouqingping	5.38	MR	MR
克里斯克 Kelisike	3.74	HR	HR	26014	5.39	MR	MR
斯帕坦 Sipatan	3.81	HR	HR	华脆 Huacui	5.39	MR	MR
锦红 Jinhong	3.84	HR	HR	斯塔克矮生 Sitakeaisheng	5.42	MR	MR
26019	3.84	HR	HR	向阳村秋果 Xiangyangcunqiuguo	5.47	MR	MR
多一露 Duoyilu	3.85	HR	HR	GS58	5.49	MR	MR
3018	3.89	HR	HR	山岛富士 Shandaofushi	5.54	MR	MR
27019	3.92	HR	HR	华月 Huayue	5.55	MR	MR
莱蒂 Laidi	3.95	HR	HR	吉尔吉斯 Jierjisi	5.56	MR	MR
瑞林 Ruilin	3.98	HR	HR	艾达红 Aidahong	5.57	MR	MR
海棠 2 Haitang 2	4.01	HR	R	卡蒂纳 Kadina	5.64	MR	MR
考特兰德 Kaodelante	4.02	HR	R	海棠花 Haitanghua	5.65	MR	MR
敦煌红肉 Dunhuanghongrou	4.05	HR	R	锡金海棠 Xijinhaitang	5.72	MR	MR
五月 Wuyue	4.13	R	R	瑞拉 Ruila	5.73	MR	MR
冷海棠 Lenghaitang	4.18	R	R	森马兰 Senmalan	5.74	MR	MR
美尔塔什 Meiertashi	4.20	R	R	皮诺瓦 Pinuowa	5.77	MR	MR
奈子 Naizi	4.21	R	R	金冠优系 Jinguanyouxi	5.77	MR	MR
金红 Jinhong	4.29	R	R	紫倭锦 Ziweijin	5.82	MR	MR

续表 2 Continued

品种 Variety	平均病斑直径 Mean lesion diameter/mm	抗病性反应型 Resistance response type		品种 Variety	平均病斑直径 Mean lesion diameter/mm	抗病性反应型 Resistance response type	
		聚类分析 Clustering analysis	直径法 Average lesion diameter method			聚类分析 Clustering analysis	直径法 Average lesion diameter method
贝尔普斯 Beierpusi	4.29	R	R	丹顶 Danding	5.90	S	MR
满堂红 Mantanghong	4.30	R	R	三块石海棠 1 号 Sankuaishihaitang no. 1	5.92	S	MR
白罗斯马林 Bailuosimalin	4.32	R	R	五月金 Wuyuejin	6.00	S	MR
新红 Xinhong	4.33	R	R	槟子 Binzi	6.01	S	S
3013	4.35	R	R	铁力建设营沙果 Tielijiansheyingshaguo	6.01	S	S
心里美 Xinlimei	4.36	R	R	华富 Huafu	6.02	S	S
俄 3 号 E no. 3	4.41	R	R	红勋 2 号 Hongxun no. 2	6.06	S	S
3002	4.42	R	R	宁光 Ningguang	6.07	S	S
青冠 Qingguan	4.55	R	R	日之丸 Rizhiwan	6.08	S	S
丹霞 Danxia	4.56	R	R	Generos	6.13	S	S
优金 Youjin	4.58	R	R	克洛登 Keluodeng	6.13	S	S
K9	4.60	R	R	恩七 Enqi	6.14	S	S
宁丰 Ningfeng	4.64	R	R	本所特号	6.14	S	S
俄 12 E12	4.65	R	R	本所金冠优系	6.17	S	S
龙红 Longhong	4.69	R	R	华金 Huajin	6.17	S	S
库洛那 Kuluona	4.69	R	R	花红 Huahong	6.19	S	S
布科卡 Bukeka	4.69	R	R	伦巴瑞 Lunbarui	6.19	S	S
胡思维提 Husiweiti	4.74	R	R	红国光 Hongguoguang	6.20	S	S
29019	4.75	R	R	波 5 Bo 5	6.20	S	S
26025	4.76	R	R	中阳县武家村乡野苹果	6.22	S	S
				Zhongyangxianwujiacunxiangyepingguo			
路边石 3 Lubianshi 3	4.76	R	R	苏维埃 Suweiai	6.25	S	S
锦玉 Jinyu	4.79	R	R	嵌合体国光 Qianhetiguoguang	6.30	S	S
乙女 Yinv	4.81	R	R	金色洛索普 Jinseluosuoshan	6.39	S	S
29009	4.83	R	R	俄 11 号 E no. 11	6.44	S	S
伏锦 Fujin	4.85	R	R	高井 5 号 Gaojing no. 5	6.55	S	S
新苹 1 号 Xinpingle no. 1	4.87	R	R	南岔沙果 1 Nanchashaguo 1	6.60	S	S
克拉普 Kelapu	4.88	R	R	西蜀海棠 Xishuhaitang	6.66	S	S
向阳村大果林檎	4.88	R	R	千秋 Qianqiu	6.71	S	S
Xiangyangcundaguolinqin							
新疆野苹果	4.89	R	R	大陆 52 号 Dalu no. 52	6.95	HS	S
Xinjiangyepingguo							
胜利红冠 Shenglihongguan	4.91	R	R	狮子山 2 号 Shizishan no. 2	7.03	HS	HS
昆麻斯 Kunmasi	4.92	R	R	南岔沙果 2 Nanchashaguo 2	7.12	HS	HS
28011	4.92	R	R	小砭山八棱 Xiaofanshanbaleng	7.13	HS	HS
俄 13 E13	4.93	R	R	兴平 Xingping	7.16	HS	HS
1465	4.95	R	R	三道沟小五沟海棠	7.21	HS	HS
				Sandaogouxiaowugouhaitang			
金冠 Jinguan	4.96	R	R	白卡维 Baikawei	7.37	HS	HS
酒泉沙果 Jiuquanshaguo	4.96	R	R	酒泉楸子 Jiuquanqiuzi	7.66	HS	HS
捷 15 Jie 15	4.97	R	R	新国光 Xinguoguang	7.69	HS	HS

HR: 高抗; R: 抗病; MR: 中抗; S: 感病; HS: 高感。HR: Highly resistant; R: resistant; MR: moderately resistant; S: susceptible; HS: highly susceptible.

2.3 杀菌剂对阿太菌果腐病菌菌丝生长的抑制效果

13 种常用杀菌剂对阿太菌果腐病菌菌丝生长的抑制效果具有差异性。杀菌剂浓度为 100 mg/L 时, 抑菌率达到 100.00% 的杀菌剂有戊唑醇、咯菌腈、腈菌唑、噻呋酰胺、代森锰锌、氟硅唑和苯醚甲环唑; 浓度为 10 mg/L 时, 抑菌率为 100.00% 的杀菌剂仅有戊唑醇, 咯菌腈、腈菌唑、噻呋酰胺、代森锰锌、氟硅唑和苯醚甲环唑的抑菌率分别为 87.18%、85.01%、83.26%、83.24%、81.14% 和 81.00%; 浓度为 1 mL 时, 多抗霉素、多菌灵和百菌清对菌丝不仅无

抑制作用, 与对照相比, 百菌清甚至促进了菌丝生长; 其它杀菌剂的抑制率均低于 64.56%。总体上看, 戊唑醇、腈菌唑、苯醚甲环唑、氟硅唑以及三唑酮等三唑类杀菌剂对阿太菌果腐病菌菌丝生长抑制效果较好, 多菌灵和甲基硫菌灵等苯并咪唑类以及百菌清、克菌丹等广谱性杀菌剂对菌丝生长无明显抑制作用(表 3)。因此, 筛选出戊唑醇、咯菌腈、腈菌唑、噻呋酰胺、代森锰锌、氟硅唑和苯醚甲环唑 7 种杀菌剂进行药剂毒力回归方程计算。

表 3 不同杀菌剂对阿太菌果腐病原菌菌丝的抑制率

Table 3 The inhibition rate of different fungicides to the mycelium growth of <i>Athelia bombacina</i>				%
供试药剂 Fungicide	不同浓度下的抑制率 Inhibition rate of different concentrations			
	100 mg/L	10 mg/L	1 mg/L	
戊唑醇 Tebuconazole	100.00±0.00 a	100.00±0.00 a	64.56±7.04 c	
咯菌腈 Fludioxonil	100.00±0.00 a	87.18±2.31 b	81.21±3.41 a	
腈菌唑 Myclobutanil	100.00±0.00 a	85.01±1.93 b	51.82±3.76 d	
噻呋酰胺 Thifluzamide	100.00±0.00 a	83.26±2.44 b	75.72±4.78 b	
代森锰锌 Mancozeb	100.00±0.00 a	83.24±3.16 b	41.39±2.36 e	
氟硅唑 Fluorosilazole	100.00±0.00 a	81.14±3.01 b	49.11±2.18 de	
苯醚甲环唑 Difenoconazole	100.00±0.00 a	81.00±2.19 b	57.39±1.99 cd	
克菌丹 Dimethiconazole	83.44±1.34 b	67.55±3.01 c	12.58±0.22 g	
三唑酮 Triadimefon	77.87±5.47 bc	50.37±1.04 d	20.01±0.69 f	
多抗霉素 Dan-triazole-ketone	33.99±2.01 c	1.54±0.01 f	-2.31±0.01 h	
甲基多菌灵 Polyantimycin	17.67±0.02 d	13.17±0.79 e	3.92±0.04 h	
多菌灵 Carbendazim	2.63±0.01 f	0.04±0.00 g	-2.44±0.01 h	
百菌清 Chlorothalonil	0.99±0.01 e	-2.60±0.00 h	-4.28±0.13 h	
对照 Control	0	0	0	

表中数据为平均数±标准差。同列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant differences at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

2.4 7 种杀菌剂对阿太菌果腐病菌的 EC_{50}

本试验所筛选出的 7 种杀菌剂中对阿太菌果腐病菌菌丝抑制效果最佳的为戊唑醇、腈菌唑、咯菌腈和噻呋酰胺, EC_{50} 分别为 0.027、0.048、0.054、

0.095 mg/L; 对菌丝的抑制效果相对较弱的杀菌剂为氟硅唑和苯醚甲环唑, EC_{50} 分别为 0.290 mg/L 和 0.384 mg/L; 对菌丝抑制效果最弱的是代森锰锌, EC_{50} 为 4.102 mg/L(表 4)。

表 4 不同杀菌剂抑制病原菌菌丝生长 EC_{50}

Table 4 Effect of different fungicides on the growth toxicity of pathogenic mycelium				
杀菌剂 Fungicide	回归方程 Virulence regression equation	相关系数 Correlation coefficient	EC_{50} /(mg/L)	置信区间/(mg/L) Confidence interval
戊唑醇 Tebuconazole	$y=0.635x+0.998$	0.956	0.027	0.016-2.031
腈菌唑 Myclobutanil	$y=0.379x+0.449$	0.952	0.048	0.012-0.112
咯菌腈 Fludioxonil	$y=0.969x+1.229$	0.999	0.054	0.034-0.079
噻呋酰胺 Thifluzamide	$y=0.586x+0.598$	0.993	0.095	0.049-0.163
氟硅唑 Fluorosilazole	$y=0.528x+0.284$	0.955	0.290	0.160-0.518
苯醚甲环唑 Difenoconazole	$y=0.481x+0.200$	0.975	0.384	0.205-0.744
代森锰锌 Mancozeb	$y=0.312x-0.192$	0.957	4.102	1.331-8.530

3 讨论

本研究通过室内人工接种培养条件一致的菌饼进行抗病性评价,避免了病原菌本身以及自然条件所造成的差异,保证了抗病性评价的稳定性和准确性(刘荣萍,2013;张美鑫,2014)。所选梨、苹果种质既包含了广泛种植的栽培品种,也包括了野生品种等,从较宽范围内对抗病种质进行筛选。

本试验结果显示,平均病斑直径法和聚类分析法2种评价方法均可将梨和苹果种质划分为高抗、抗、中抗、感和高感等5类,与平均病斑直径法相比,其中以欧式距离为14和10作为最佳聚类分割点时采用聚类分析法分析的结果更加科学、合理。聚类分析是从数量方面对植物的抗病性及其它性状进行分类,欧式距离是聚类分析中一种应用较广泛的聚类距离法(陈红梅等,2012)。本研究中采用聚类分析法得到的抗、感种质个数均衡,而病斑直径是进行聚类分析的前提条件,因此,通过病斑直径结合聚类分析,使不同种质对阿太菌果腐病菌的抗病性评价体系更加严谨、完善,这与胡军华等(2015)的不同柑橘种质抗柑橘褐斑病菌的评价结论一致。总体上看,梨抗病种质较少,高抗种质仅占2.50%,而苹果高抗病种质所占比率达到22.73%。本研究筛选出的1份梨高抗材料和35份苹果高抗材料,可为果实与阿太菌果腐病菌间的互作机制研究以及未来抗病育种提供理论依据。

室内药剂试验结果表明,戊唑醇、腈菌唑、苯醚甲环唑、氟硅唑以及三唑酮等三唑类杀菌剂对阿太菌果腐病菌菌丝生长均有较好的抑制作用,甲基硫菌灵、多菌灵等苯并咪唑类以及克菌丹、百菌清等广谱性杀菌剂对阿太菌果腐病菌菌丝生长抑制效果较差。刘传德等(2005)和魏松红等(2016)认为噻呋酰胺具有内吸传导性和长持效性,对担子菌引起的病害具有较好的防效,与本研究结果一致。本研究结果表明,对阿太菌果腐病菌菌丝抑制效果较好的杀菌剂有戊唑醇、腈菌唑、咯菌腈和噻呋酰胺,EC₅₀均小于1 mg/L。在毒力回归方程中,斜率反映病原菌对杀菌剂的敏感性,斜率越大则越敏感(赵金梅等,2013)。本研究结果显示以咯菌腈的斜率最高,为0.969,说明咯菌腈对阿太果腐病菌最敏感,其次为戊唑醇。采前有效药剂的使用对于在贮藏期预防该病害的发生具有重要意义。目前,多菌灵、代森锰锌等广谱类杀菌剂仍为梨园普遍使用的杀菌剂,采前

使用戊唑醇、腈菌唑、咯菌腈以及噻呋酰胺等杀菌剂可有效防控采后阿太菌果腐病。本试验仅测定杀菌剂的室内毒力,果园防效还需开展田间药效试验。作为采后病害,可通过贮藏环境温度、湿度的精准控制、诱导抗病以及生物防治等非化学防控技术研发来进一步优化阿太菌果腐病的防控方案。

致谢:国家果树种质兴城梨、苹果圃提供梨、苹果种质,特此致谢!

参 考 文 献 (References)

- CARISSE O, PHILION V, ROLLAND D, BERNIER J. 2000. Effect of fall application of fungal antagonists on spring ascospore production of the apple scab pathogen, *Venturia inaequalis*. *Phytopathology*, 90(1): 31–37
- CHEN HM, LI JH, CHAI ZX, GUO C, WANG D. 2012. Resistance evaluation of 35 potato varieties to the dominant pathogens of potato *Fusarium dry rot*. *Journal of Plant Protection*, 39(4): 308–314 (in Chinese) [陈红梅, 李金花, 柴兆祥, 郭成, 王蒂. 2012. 35个马铃薯品种对镰刀菌干腐病优势病原的抗病性评价. *植物保护学报*, 39(4): 308–314]
- HEYE CC, ANDREWS JH. 1983. Antagonism of *Athelia bombacina* and *Chaetomium globosum* to the apple scab pathogen, *Venturia inaequalis*. *Phytopathology*, 73: 650–654
- HU JH, LIU RP, WANG XL, ZHOU N, HONG QB, YAO TS, LI TS, JIANG D, CAO L, LI HJ. 2015. Evaluation of citrus germplasm resistance to *Alternaria alternata*. *Journal of Fruit Science*, 32(4): 672–680 (in Chinese) [胡军华, 刘荣萍, 王雪莲, 周娜, 洪棋斌, 姚廷山, 李太盛, 江东, 曹立, 李鸿筠. 2015. 不同柑橘属种质对柑橘褐斑病菌的抗性评价. *果树学报*, 32(4): 672–680]
- JIA XH, FU JF, WANG WH, CUI JC, DU YM, ZHOU RJ, SUN PP. 2018. First report of *Athelia bombacina* causing postharvest fruit rot on pear. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(11): 2596–2599
- LIU CD, WANG PS, WANG JQ, GONG BY, YIN GX. 2005. Research advances in triazole fungicides and used to control wheat diseases. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science*, 36(1): 157–160 (in Chinese) [刘传德, 王培松, 王继秋, 宫本义, 尹国香. 2005. 三唑类杀菌剂及其在小麦病害防治中的应用研究进展. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 36(1): 157–160]
- LIU RP, HU JH, YAO TS, WANG XL, ZUO PP, WANG YJ, LI HJ. 2013. A rapid laboratory evaluation method of citrus brown spot caused by *Alternaria alternata*. *Journal of Fruit Science*, 30(5): 889–892 (in Chinese) [刘荣萍, 胡军华, 姚廷山, 王雪莲, 左佩佩, 王延杰, 李鸿筠. 2013. 柑橘褐斑病室内快速评价方法的研究. *果树学报*, 30(5): 889–892]
- MIEDTKE U, KENNEL W. 1990. *Athelia bombacina* and *Chaetomium globosum* as antagonists of the perfect stage of the apple scab pathogen (*Venturia inaequalis*) under field conditions. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 97(1): 24–32
- SUN JY, CHEN CX, GU C, YIN H, QI KJ, ZHANG SL, WU J. 2016.

- The anthracnose-resistance identification and screening of pear cultivar resources. *Journal of Fruit Science*, 33(S): 184–195 (in Chinese) [孙洁莹, 陈出新, 谷超, 殷豪, 齐开杰, 张绍铃, 吴俊. 2016. 梨品种资源抗炭疽病鉴定与筛选. *果树学报*, 33(S): 184–195]
- TIAN LM, DONG XG, CAO YF, ZHOU ZS, WU YX. 2011. Evaluation of resistance to fruit ring rot for pear cultivars. *Journal of Plant Genetic Resources*, 12(5): 796–800 (in Chinese) [田路明, 董星光, 曹玉芬, 周宗山, 吴玉星. 2011. 梨品种资源果实轮纹病抗性的评价. *植物遗传资源学报*, 12(5): 796–800]
- TIAN LM, DONG XG, ZHOU ZS, XU CN, ZHANG Y, CAO YF. 2013. Evaluation of resistance to fruit ring rot for pear cultivars. *Liaoning Agricultural Sciences*, (3): 15–17 (in Chinese) [田路明, 董星光, 周宗山, 徐成楠, 张莹, 曹玉芬. 2013. 梨品种果实人工接种轮纹病的抗性评价. *辽宁农业科学*, (3): 15–17]
- VINCENT C, RANCOURT B, CARISSE O. 2004. Apple leaf shredding as a non-chemical tool to manage apple scab and spotted tentiform leafminer. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104: 595–604
- WEI SH, WANG HN, HU JX, LIU AD, LI PS, LIU ZH. 2016. Sensitive baseline of *Rhizoctonia solani* to thifluzamide in Jilin Province. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 47(3): 278–282 (in Chinese) [魏松红, 王海宁, 胡积祥, 刘安迪, 李平生, 刘志恒. 2016. 吉林地区水稻纹枯病菌对噻呋酰胺药物的敏感基线探讨. *沈阳农业大学学报*, 47(3): 278–282]
- YOUNG CS, ANDREWS JH. 1990. Recovery of *Athelia bombacina* from apple leaf litter. *Phytopathology*, 80: 530–535
- ZHANG LL, CHANG YH, LIN J, DING FB, LIU YZ, CHEN ZY. 2010. Resistance of different pear varieties to *Botryosphaeria berengeriana* f. *piricola* isolates. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 26(2): 440–442 (in Chinese) [张丽丽, 常有宏, 蔺经, 丁芳兵, 刘卹洲, 陈志谊. 2010. 不同梨品种果实对梨轮纹病菌的抗性. *江苏农业学报*, 26(2): 440–442]
- ZHANG MX, ZHAI LF, HU HJ, ZHANG BX, HONG N, WANG GP. 2014. Laboratory evaluation for the resistance of *Pyrus* germplasm accession to *Valsa* canker. *Acta Horticulturae Sinica*, 41(7): 1297–1306 (in Chinese) [张美鑫, 翟立峰, 胡红菊, 张本贤, 洪霓, 王国平. 2014. 梨种质资源对腐烂病抗性的室内评价. *园艺学报*, 41(7): 1297–1306]
- ZHANG YJ, WANG K, WANG Y, HAN ZH, GAO Y, XU XF, ZHANG XZ. 2010. Evaluation of resistance to fruit ring rot for apple germplasms. *Acta Horticulturae Sinica*, 37(4): 539–546 (in Chinese) [张玉经, 王昆, 王忆, 韩振海, 高源, 许雪峰, 张新忠. 2010. 苹果种质资源果实轮纹病抗性的评价. *园艺学报*, 37(4): 539–546]
- ZHAO JM, GAO GT, GU LJ, SUN XY, XUE M, GENG PF, LEI YS. 2013. Identification and pharmaceutical screening of brown spot disease on *Actinidia chinensis*. *Scientia Agricultura Sinica*, 46(23): 4916–4925 (in Chinese) [赵金梅, 高贵田, 谷留杰, 孙翔宇, 薛敏, 耿鹏飞, 雷玉山. 2013. 中华猕猴桃褐斑病原鉴定及抑菌药剂筛选. *中国农业科学*, 46(23): 4916–4925]

(责任编辑:王璇)