果 树 学 报 2026,43(3):616-625
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250316

库尔勒香梨梨火疫病发生发展的影响因素分析

何家静[1,2,3,4],马许洋[1,3,4],孙渝钦[1,3,4],刘振亚[1,3,4],刘慧敏[1,3,4],
但红侠[1,3,4],李亚鹏[1,3,4],贺 哲[1,3,4],张王斌[1,2,3,4*]

([1]塔里木大学,新疆阿拉尔 843300;[2]南疆特色果树高效优质栽培与深加工技术国家地方联合工程实验室,新疆阿拉尔 843300;[3]南疆农业有害生物综合治理兵团重点实验室,新疆阿拉尔 843300;[4]农业农村部阿拉尔作物有害生物科学观测实验站,新疆阿拉尔 843300)

摘 要:【目的】探明外界因素对库尔勒香梨火疫病发生与发展的影响规律,为综合防治梨火疫病提供重要的理论依据。**【方法】**采用室内模拟试验方法,测定不同侵入途径[自然孔口(气孔)、擦伤、剪口、刺伤]、叶龄叶片(3、7、15、30、45 d)、温度(15、20、25、30、35 ℃)、湿度(25%~35%、>35%~45%、55%~65%、75%~85%、>85%~100%)和细菌浓度(OD_{600}=0.4、0.8、1.0、1.2、1.6)条件下离体叶片、枝条、花朵和幼果接种梨火疫病菌后的发病率和病情指数。**【结果】**同一环境条件下,接种梨火疫病菌的花朵和幼果较叶片和枝条更易被侵染。叶片叶龄越短发病越快,3 d叶龄的叶片发病最快。与自然孔口相比,机械损伤(擦伤、剪口、刺伤)更易发病。机械损伤的7 d叶龄的叶片在接菌后72 h发病率达到71.14%~100%,发病率是自然孔口的3.2~4.5倍。当温度为25~30 ℃、湿度75%~85%和接种浓度为OD_{600} = 1.2时,梨火疫病菌发病最快,并且菌液浓度越高病情发展越快。**【结论】**库尔勒香梨花朵最易感病,其次是幼果、叶片和枝条;侵入途径、不同器官、叶龄变化、温湿度变化和病菌浓度均对库尔勒香梨火疫病病斑扩展具有一定的影响,其相互作用决定了病菌在寄主体内的扩散速度。鉴于此,在库尔勒香梨生产中应根据温湿度变化做好发病前期和发病期的防治工作。

关键词:库尔勒香梨;梨火疫病菌;环境条件;侵入途径;病程发展

中图分类号:S661.2;S436.612 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2026)03-0616-10

Analysis of influencing factors on the pathogenesis and development of fire blight on Kuerlexiangli pear

HE Jiajing[1,2,3,4], MA Xuyang[1,3,4], SUN Yuqin[1,3,4], LIU Zhenya[1,3,4], LIU Huimin[1,3,4], DAN Hongxia[1,3,4], LI Yapeng[1,3,4], HE Zhe[1,3,4], ZHANG Wangbin[1,2,3,4*]

([1]Tarim University, Alar 843300, Xinjiang, China; [2]The National Land Local Joint Engineering Laboratory of High Efficiency and Superior-quality Cultivation and Fruit Deep Processing Technology of Characteristic Fruit Trees in South Xinjiang, Alar 843300, Xinjiang, China; [3]Key Lab of Xinjiang Production and Construction Corps in Comprehensive Agricultural Pest Management in Southern Xinjiang, Alar 843300, Xinjiang, China; [4]Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests in Alar, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Alar 843300, Xinjiang, China)

Abstract:【Objective】Fire blight (*Erwinia amylovora*), a highly destructive bacterial disease, has posed a serious threat to the yield and quality of Kuerlexiangli pears. This study aims to explore the influence patterns of external factors on the occurrence and development of fire blight in Kuerlexiangli pears, thereby providing an important theoretical basis for the comprehensive prevention and control of this disease.【Methods】An indoor simulation experiment was conducted to determine the disease incidence and disease index of detached leaves, branches, and young fruit after inoculation with *E. amylovora*. The experiment was designed from six perspectives: 1) infection routes (natural openings, friction wounds, incisions, and punctures); 2) Different isolated organs: flowers, leaves, branches, and young

收稿日期:2025-06-13 **接受日期:**2025-09-11

基金项目:兵团财政科技计划资助(2018AB038):南疆枝枯病动态监测及防控关键技术集成研究

作者简介:何家静,女,在读硕士研究生,研究方向为植物病害防治。E-mail:1486135382@qq.com

***通信作者** Author for correspondence. E-mail:zwbzky@163.com

fruits.3) leaf ages (3, 7, 15, 30, and 40 d); 4) temperatures (15 ℃, 20 ℃, 25 ℃, 30 ℃, and 35 ℃); 5) relative humidity (RH) (25%−35%, 35%−45%, 55%−65%, 75%−85%, and 85%−100%); and 6) bacterial concentrations (OD_{600} = 0.4, 0.8, 1.0, 1.2, and 1.6). Each treatment was set with three replicates, each including 30 flowers and leaves, 10 branches, or 10 young fruit. After inoculation, the test materials were placed in trays lined with sterile gauze at the bottom; each tray was sealed with plastic film and then placed in an incubator with ambient temperature and humidity. The numbers of diseased leaves, branches, and young fruit were recorded at 24, 48, 72, 96, 120, 144, and 168 h post-inoculation. Meanwhile, the lesion diameter on leaves and young fruit, as well as the lesion length on branches, were measured. Finally, the disease incidence and disease index were calculated using standard formulas.【Results】The results showed that under the same environmental conditions, flowers and young fruit of Kuerlexiangli pears were more susceptible to *E. amylovora* infection than leaves and branches. For leaves, the younger leaf age, the faster the disease development: the 3-day-old leaves showed the fastest disease onset, while the 7-day-old leaves reached a disease incidence of 71.14%−100% at 72 h post-inoculation. Compared with natural openings (stomata), mechanical wounds (friction wounds, incisions, and punctures) significantly increased the disease incidence, with the disease incidence of mechanically wounded leaves being 3.2−4.5 times higher than that of leaves infected through natural openings. When the temperature was between 25 and 30 ℃, the humidity between 75% and 85%, and the inoculation concentration was OD_{600} = 1.2, the incidence of pear blight bacteria was the highest. Moreover, as the concentration of the bacterial solution increased, the disease progressed more rapidly.【Conclusion】Among the organs of Kuerlexiangli pears, flowers are the most susceptible to fire blight, followed by young fruit, leaves, and branches. Infection routes, host organs, leaf age, temperature, humidity, and bacterial concentration all exert effects on the lesion expansion of fire blight, and their interactions determine the spread rate of the symptom in the host. In view of this, in the production of Kuerlexiangli pears, it is necessary to carry out prevention and control work in the early stages, especially during flowering and early fruiting stages, according to the changes in temperature and humidity.

Key words: Kuerlexiangli pear; *Erwinia amylovora*; Environmental factor; Infection gate; Development of course of disease

梨火疫病菌（*E. amylovora*）是梨、苹果和山楂等蔷薇科植物上最具毁灭性的细菌病害之一，该病菌在寄主体内潜伏繁殖过程中并无明显症状，一旦环境条件适宜就会快速暴发，并借助风雨、昆虫和农事操作等途径进行传播，对林果业造成重大灾害，目前尚无特效药剂和防治方法[1]。库尔勒香梨作为新疆地区知名品牌，其相关香梨产业已成为农业增效、农民增收的重要产业之一，但其受到梨火疫病的严重影响[2]。因此，明确梨火疫病发生和发展的影响因素对科学防控该病害具有重要意义。

梨火疫病菌可通过易感寄主伤口和自然孔口快速侵入寄主多个部位，造成花器、叶片、幼果褐化凋萎、新梢枯死，或从病梢快速扩展到枝条、树干直至根部，在一个或多个生长季内导致全株枯死。特别是在易感栽培品种上，病原菌可以在一个生长季内从一朵感病的花一直向下移动扩散到砧木，从而致使树木死亡[3-4]。Vanneste 等[5]和 Peil 等[6]研究证实，嫁接部位的伤口是梨火疫病菌极易侵染的部位，若接穗与砧木均是高感品种时，病害将迅速蔓延导致枝条枯死。结合梨抗性砧木的选育可以很好地预防梨火疫病的发生和传播。吕天宇等[7]研究表明，外界的菌液浓度显著影响梨火疫病在香梨枝条组织中的蔓延速率。在一定菌液浓度范围内，其蔓延速率随浓度的增加而增加，并且不同侵染方式、果树不同部位中的侵染过程存在较大差异。各个器官生长时间的不同也会导致试验结果存在差异，例如一年生枝条皮层薄壁组织中细胞分布疏散、细胞间隙大、多汁且富含淀粉，更有利于梨火疫

病菌快速繁殖，并随运输有机物的筛管迁移；而两年生枝条由于木质化程度较高，次生组织抑制并降低了病原菌的迁移速度和距离。20世纪以来，对于该病害最常用的化学防治药剂为铜制剂和抗生素类药剂[8-9]。然而，各种铜制剂释放的铜离子会影响作物的花粉萌发、花粉管生长和结实率[10-11]。不同浓度的春雷霉素、中生菌素、四霉素、84%噻霉酮和春雷·喹啉铜悬浮剂等药剂在田间防治梨火疫病上起到了一定的防治效果[12-13]。在生产上对于未发生梨火疫病的地区，要严格执行植物检疫措施预防该病害的发生；而对于已经发生该病害的地区，化学防治仍是目前最常用、最有效的方法，但是需注意对生态的影响[14]。梨火疫病菌在寄主组织中快速转移的侵染特征是造成病害流行速度快、毁灭性危害和防治难度大的重要原因。病原菌在感病果树枝干的溃疡斑、枝条及病果，以及不表现症状的组织中越冬，还可在木质部导管中存活多年难以根除。前人从侵入途径、防御机制[15]、农药防治等角度对梨火疫病入侵过程进行了大量研究[16-19]，但关于环境因素对其发生发展的影响研究较少。鉴于此，本研究分别从侵入途径、叶龄、温湿度和细菌浓度等角度分析梨火疫病发生发展规律，旨在为有效防治梨火疫病提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验于2024年在塔里木大学园艺试验站（40°32′ N，81°17′ E）进行。梨火疫病菌是从该站内发病树体的叶片经菌体分离纯化后获得的。接种前先将保存在4 ℃冰箱的梨火疫病原菌在LB固体培养基上复壮，再取定量病原菌接种至含有LB液体培养基的锥形瓶中，于28 ℃、220 r·min^{-1}的摇床上培养24 h，后期根据试验设置配置成不同浓度菌液备用。

1.2 试验方法

1.2.1 离体器官病原菌接种 参照李晓妹等[20]、李洪涛等[21]和耿丽华等[22]的试验方法对库尔勒香梨离体器官进行梨火疫病菌人工接种。

花朵接种：采用喷雾法将OD_{600}=1.0的菌液均匀喷洒在花朵上。

叶片接种：采用针刺法用一次性注射器将1.5 μL菌液接种在不同叶龄的叶片基部（或叶面喷雾法）。

枝条接种：先用无菌竹签在长35 cm、直径5 mm的1年生幼嫩枝顶梢5 cm处制造一个伤口，再用移液枪吸取10 μL菌液滴在伤口处，最后用蘸有无菌水的无菌棉及保鲜膜缠封在茎段剪切部保湿。

幼果接种：先用70%乙醇将直径约20 mm的幼果浸泡10 min，对半切开，再用移液枪将20 μL菌液滴入预先在幼果剖面中央位置制造的伤口中。

1.2.2 试验设计 不同叶龄期对梨火疫病菌侵染与致病的影响：以3、7、15、30、45 d叶龄的叶片为试验材料，采用喷雾法接种OD_{600}=1.0的菌液，无菌水处理作为对照。

不同侵入途径对梨火疫病病斑形成和扩展的影响：以7 d叶龄的幼嫩叶片为试验材料，模拟机械作业对梨树造成的伤害类型，分别设置擦伤、剪口、刺伤和自然孔口接种试验，采用喷雾法接种OD_{600}=1.0的菌液，无菌水处理作为对照。

不同器官对梨火疫病菌侵染与致病的影响：以铃铛花期花朵、幼嫩叶片、一年生幼嫩枝条和幼果为试验材料，采用喷雾法和针刺法分别接种OD_{600}=1.0的菌液。

不同菌液浓度对梨火疫病病斑形成和扩展的影响：以幼嫩叶片为试验材料，分别接种OD_{600}值为0.4、0.8、1.0、1.2、1.6的5个不同浓度菌液，无菌水处理作为对照。

不同温度和湿度对梨火疫病斑形成和扩展的影响：以幼嫩叶片为试验材料，采用针刺法接种OD_{600}=1.0的菌液，将接种后的叶片放入光周期为L/D=12/12 h，空气相对湿度75%，温度分别为15、20、25、30、35 ℃的人工气候箱中培养；以幼嫩叶片为试验材料，接种OD_{600}=1.0的菌液，将接种后的叶片放入光周期为L/D=12/12 h，温度为28 ℃，空气相对湿度分别为25%~35%、＞35%~45%、55%~65%、75%~85%和＞85%~100%的人工气候箱中培养。

所有试验处理均设置3组重复，花朵、叶片每组30枚，幼嫩枝条和幼果每组10个。接种后的叶片、枝条和幼果置于铺医用灭菌纱布的灭菌托盘中，无菌水喷润保湿，用蓝色枪头将试验材料与纱布隔开并用保鲜膜密封托盘。除温湿度试验外，其他试验处理接种后的花朵、叶片、枝条和幼果培养条件相同，均放置于光周期为L/D=12/12 h、温度28 ℃、空气相对湿度75%的人工气候箱中培养。

1.2.3 病害调查与数据统计分析 于接种后的第24、48、72、96、120、144、168 h调查发病情况，分别记

录花朵、叶片、枝条和幼果发病数量，测量花朵、叶片病斑直径，并计算病斑面积和发病率；测量枝条病斑长度，并计算病斑扩散速率和发病率；记录幼果菌脓和病斑出现的时间，测量幼果病斑直径，并计算病斑面积和发病率。参考李晓妹等[20]和李洪涛等[21]方法制定病情分级标准并计算病情指数。

（1）叶片（花朵）病情分级标准：0级，接种点无病斑；Ⅰ级，病斑面积占叶片（花瓣）面积的＞0%~10%；Ⅲ级，病斑面积占叶片（花瓣）面积的＞10%~20%；Ⅴ级，病斑面积占叶片（花瓣）面积的＞20%~30%；Ⅶ级，病斑面积占叶片（花瓣）面积的＞30%~45%；Ⅸ级，病斑面积占叶片（花瓣）面积的45%以上。

（2）枝条病情分级标准：0级，接种点无病斑；Ⅰ级，接种点水渍病斑；Ⅲ级，枝条病斑长度1~35 mm；Ⅴ级，枝条病斑长度＞35~70 mm；Ⅶ级，枝条病斑长度＞70~110 mm；Ⅸ级，枝条病斑长度110 mm以上。枝条总长度350 mm。

（3）幼果的病情分级标准：0级，接种点无病斑；Ⅰ级，病斑面积占幼果面积的＞0%~10%；Ⅲ级，病斑面积占幼果面积的＞10%~20%；Ⅴ级，病斑面积占幼果面积的＞20%~30%；Ⅶ级，病斑面积占幼果面积的＞30%~45%；Ⅸ级，病斑面积占幼果面积的45%以上。

离体器官发病率/%=（离体器官发病数/离体器官总接种数）×100；

离体器官病情指数=[（各级离体器官发病数×病级代表值）/（离体器官接种总数×最高级值）]×100。

1.3　数据处理

试验数据使用Excel 2019软件整理，利用Origin 2021软件进行图形绘制、排版。使用SPSS 20.0软件进行单因素方差分析和多重比较（Duncan法），图表中数据为平均值±标准误差。

2　结果与分析

2.1　不同侵入途径对梨火疫病病斑形成和扩展的影响

摩擦伤口接种12 h后，接种部位首先出现水渍状斑点，颜色逐渐加深至褐色，病斑面积迅速扩大，周围组织出现软化现象；剪口伤口接种16 h后，伤口边缘出现淡黄色小斑点，随后斑点颜色加深并向周围不规则蔓延且有轻微黏液渗出；刺伤伤口接种24 h后，接种点周围形成小型病斑，随后沿叶脉逐渐扩散；自然孔口接种48 h后，叶片表面出现少量浅绿色水渍状、分散的微小病斑，随后病斑缓慢扩大并融合成不规则大病斑（图1-A）。由图1-B可知，擦伤、剪口和刺伤较自然孔口更容易遭受梨火疫病菌的入侵，擦伤处理最先发病，其次是剪口、刺伤处理，接种后72 h的发病率依次为100%、94.50%和71.14%，分别是自然孔口（22.20%）的4.50、4.26和3.20倍。由图1-C可知，接种48 h后病情指数在不同处理间存在显著差异，其致病程度依次为：剪口＞擦伤＞刺伤＞自然孔口，接种后168 h的病情指数依次为79.41、66.77、54.93和24.38。

2.2　不同器官对梨火疫病菌侵染与致病的影响

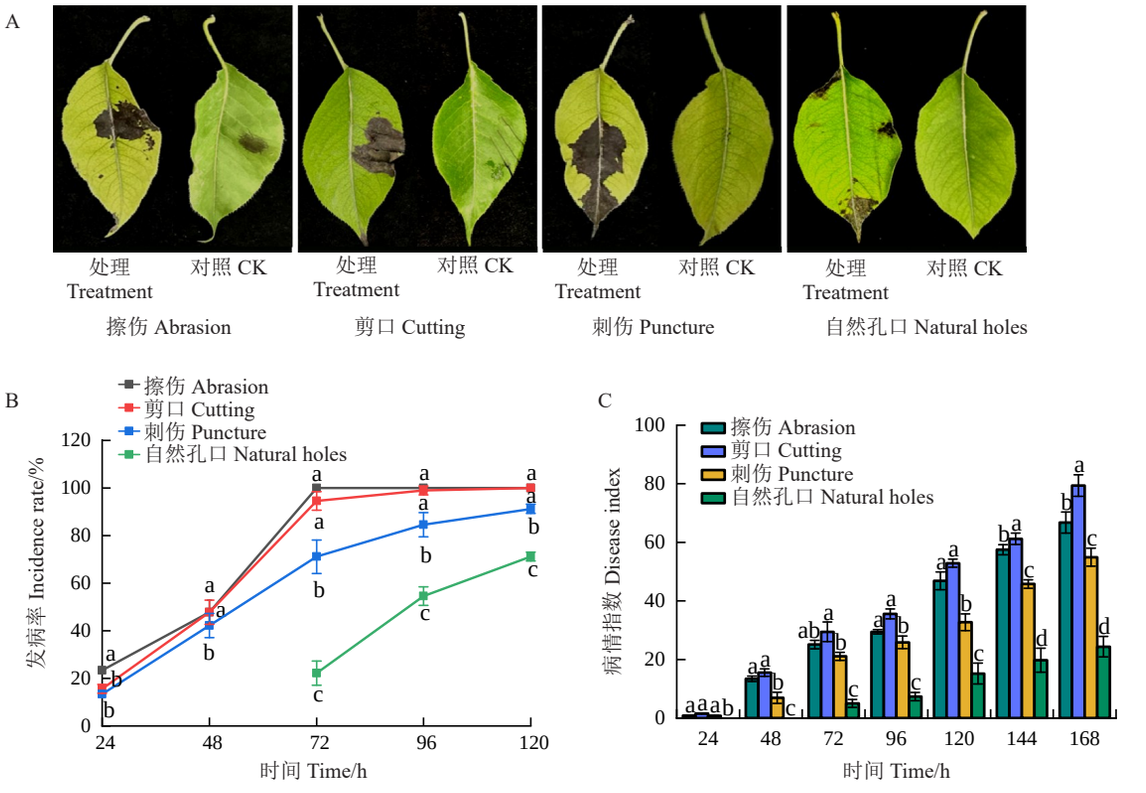
不同离体器官针刺接种梨火疫病菌后发病最快的是花朵，其次是幼果、叶片和枝条。花朵接种6 h后出现花腐症状；幼果接种12 h后，接种点出现白色凸起菌脓，随后边缘开始发黑、腐烂；叶片接种24 h后，接种点出现明显病斑并沿着主叶脉扩展；枝条接种24 h后，接种点出现黑色病斑并沿枝条扩展（图2-A）。花朵较其他3个器官更易受到梨火疫病菌侵染，在接种24 h后，花朵的发病率显著高于其他3个器官。花朵、幼果和叶片的发病率及病情指数在接种后120 h内变化梯度较大，枝条的发病率和病情指数变化梯度较小，接种后120 h的发病率依次为97.78%、97.73%、84.04%和45.99%。在96~168 h发病率表现为花朵＞幼果＞叶片＞枝条，接种后168 h的病情指数分别为98.92、99.63、53.08和98.52（图2-B~C）。

2.3　叶片龄期对梨火疫病菌侵染与致病的影响

不同叶龄叶片接种梨火疫病菌后发病症状存在较大差异（图3）。15、30、45 d叶龄的叶片接种后均未显示发病症状，而3 d和7 d叶龄叶片分别在接种后的第12、24 h表现出发病症状，且3 d叶龄叶片发病率和病情指数均显著高于7 d叶龄叶片。接种后72 h时，3 d和7 d叶龄叶片的发病率分别为66.67%和36.67%，接种后120 h时分别为93.33%和83.13%。接种后72 h时，3 d和7 d叶龄叶片的病情指数分别为12.22和2.59，接种后168 h时分别为70.74和63.70，前72 h病情蔓延较慢。

2.4　接种浓度对梨火疫病侵染和发展的影响

如图4所示，随着接种菌液浓度的增加，叶片的发病率整体呈先升高后降低的变化趋势。OD_{600}=1.2浓度接种叶片的发病率最高，但与OD_{600}=1.0无显著



不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Different small letters above the columns indicate significant differences among different treatments ($P<0.05$). The same below.

图 1 不同伤口类型叶片接种梨火疫病菌后的危害特征(A)、发病率(B)和病情指数(C)的动态变化

Fig. 1 The dynamic changes and hazard characteristics (A) of the incidence rate (B) and disease index (C) in leaves with varying wound types following inoculation with the pear fire blight pathogen

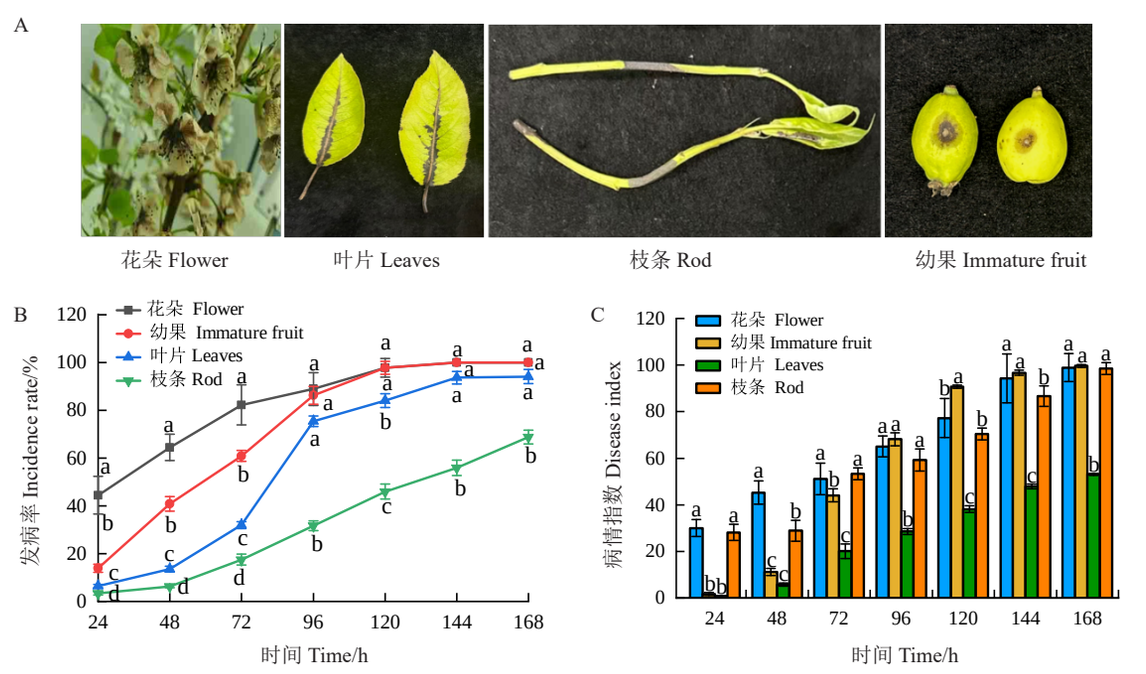
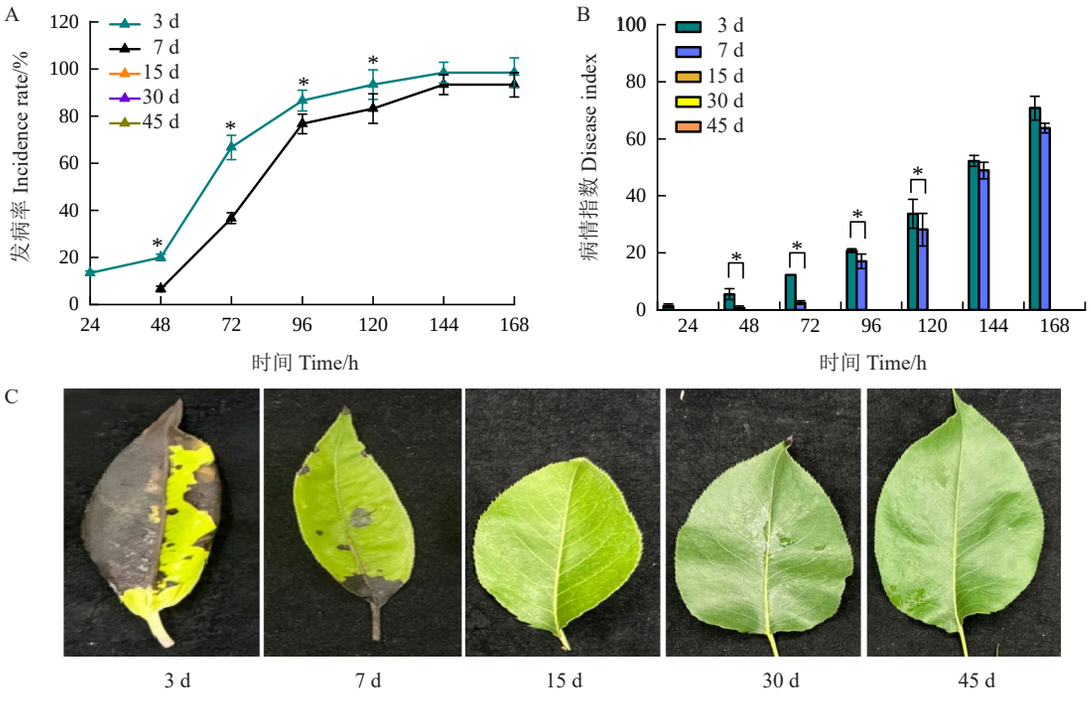


图 2 不同器官接种梨火疫病菌后的危害特征(A)、发病率(B)和病情指数(C)的动态变化

Fig. 2 The dynamic changes and hazard characteristics (A) of the incidence rate (B) and disease index (C) of pear fire blight bacteria after inoculation in different organs



图中“*”表示不同处理间差异显著（$P<0.05$）。

The “*” symbol in the figure indicates significant differences among different treatments ($P<0.05$).

图 3　不同叶龄的叶片接种梨火疫病菌后的发病率（A）和病情指数（B）的动态变化及危害特征（C）

Fig. 3　The dynamic changes in the incidence rate (A) and disease index (B) of leaves of different leaf ages after inoculation with pear fire blight bacteria and hazard characteristics (C)

差异，其次是 OD_{600}=1.0、OD_{600}=1.6、OD_{600}=0.8 和 OD_{600}=0.4。随着接种时间推移，处理间发病率差异增大；菌液浓度越大，病斑扩大速度越快。在接种后72 h时，OD_{600}为0.4、0.8、1.0、1.2和1.6的处理下发病率分别为10.00%、21.17%、23.22%、33.32%和21.10%。在接种后168 h，5个处理的病情指数分别为31.15、58.60、68.89、73.33和76.67。

2.5　温度和湿度对梨火疫病菌侵染和病斑扩展的影响

环境中温度和湿度变化对梨火疫病蔓延影响较大。如图5所示，随着温度不断升高，叶片的发病率和病情指数呈现先升高后降低的变化趋势。在接种后96 h内，以30 ℃时的发病率最高，其次是35 ℃、25 ℃、20 ℃和15 ℃，第96 h时发病率分别达到100%、86.67%、85.56%、52.22%和18.89%。在接种后168 h，30 ℃、25 ℃、20 ℃和15 ℃的病情指数依次为65.47、57.78、48.44和22.97。如图6所示，在相对湿度25%~35%范围内，叶片在第48 h后干枯；相对湿度大于35%时，随着湿度的增加，发病率和病情指数呈现递升的变化趋势，且湿度越大病情发展越快。在接种后72 h时，相对湿度为＞35%~45%、55%~65%、75%~85%和＞85%~100%时的发病率分别为22.22%、35.56%、62.22%和80.00%，在接种后168 h时各处理的病情指数分别为23.33、39.88、61.60和84.38。

3　讨　论

梨火疫病的发生受多种因素影响，其中病原体入侵方式和环境条件的影响程度存在差异。梨火疫病菌入侵植物组织内部的途径一般是经过伤口或自然孔口。Crosse等[23]研究发现，在良好的环境条件下，叶片损伤是苹果芽感染解淀粉欧文氏菌 *E. amylovora* 的重要条件。此外，不同接种方式下病菌的入侵速度也不同。陈启丹等[24]通过对太子参根腐病病原菌及其生防菌进行研究，发现刺破接入尖孢镰刀菌组处理比不刺破组处理患病更严重，通过表皮或根部伤口的入侵速度比气孔入侵更快。纪雨微等[25]采用5种人工接种方式对番茄溃疡病病原菌的致病效果进行比较研究，发现剪顶法和茎部注射法的致病效果最好，发病率能够达到100.0%。吕天宇

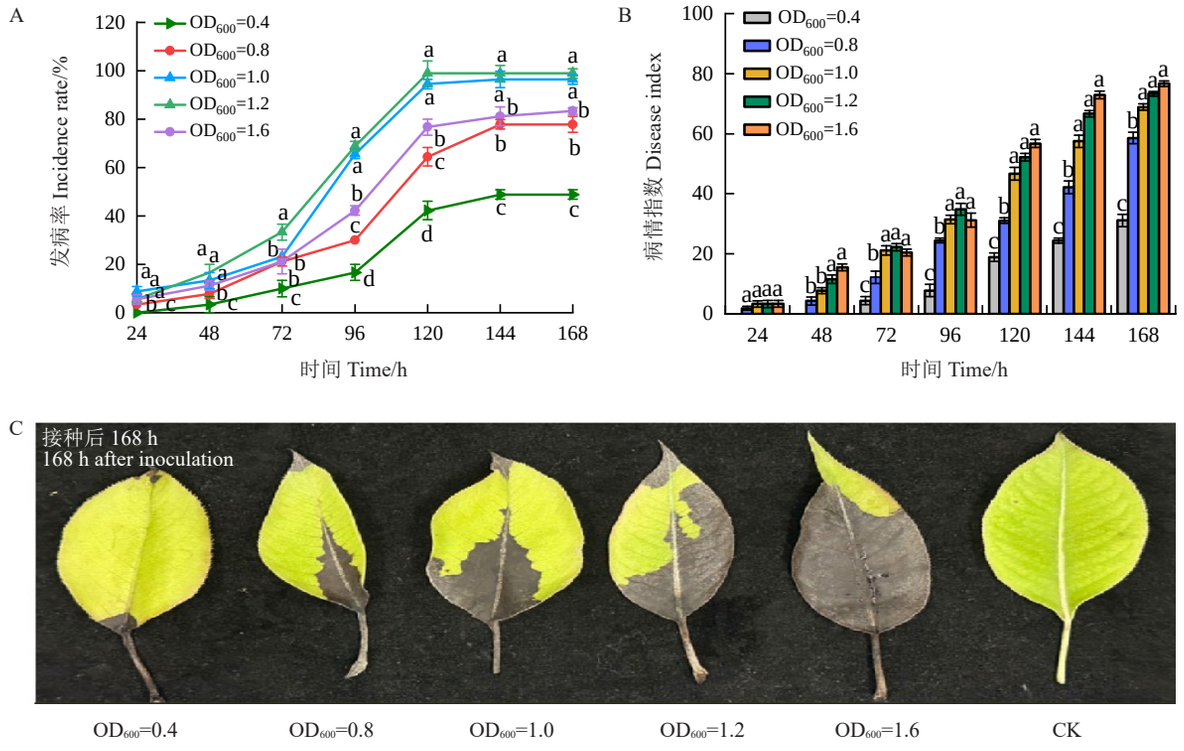


图 4 叶片接种不同浓度菌液梨火疫病菌后的发病率(A)和病情指数(B)动态变化及危害特征(C)

Fig. 4 The dynamic changes in the incidence rate (A) and disease index (B) of leaves after inoculation with different concentrations of pear fire blight bacteria and hazard characteristics (C)

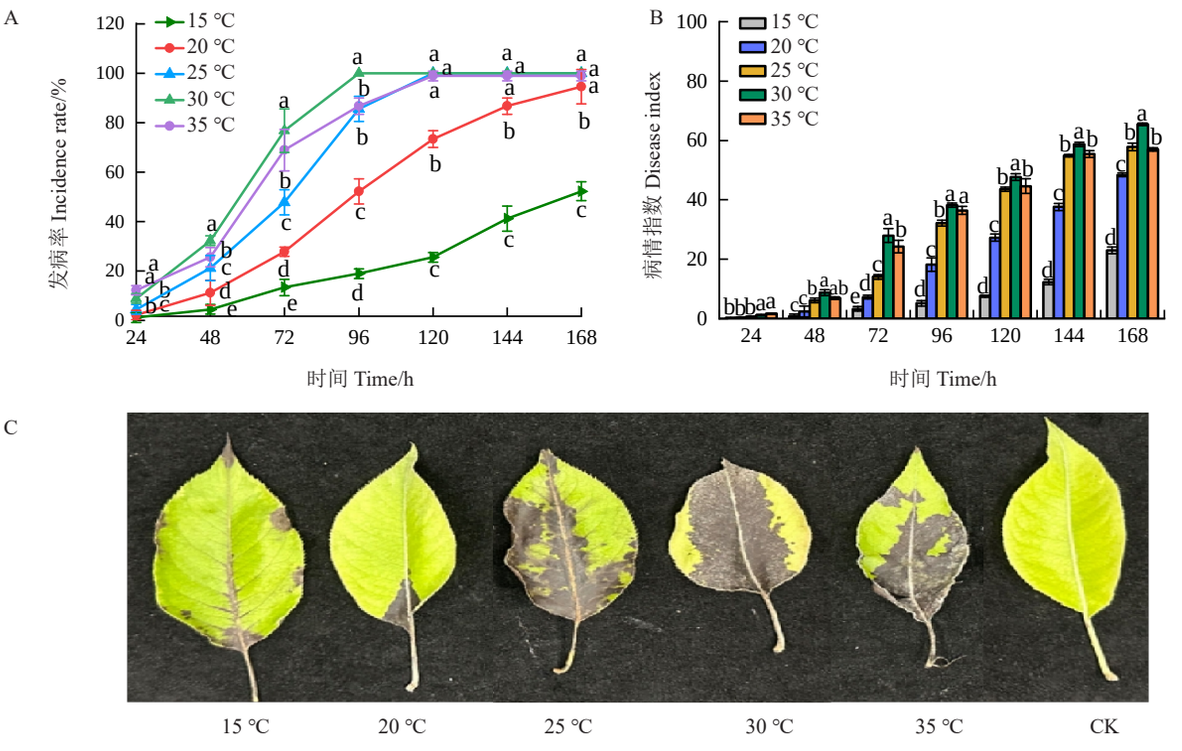


图 5 叶片在不同温度条件下接种梨火疫病菌后的发病率(A)和病情指数(B)动态变化及危害特征(C)

Fig. 5 The dynamic changes in the incidence rate (A) and disease index (B) of leaves after inoculation with pear fire blight bacteria under different temperature conditions and hazard characteristics (C)

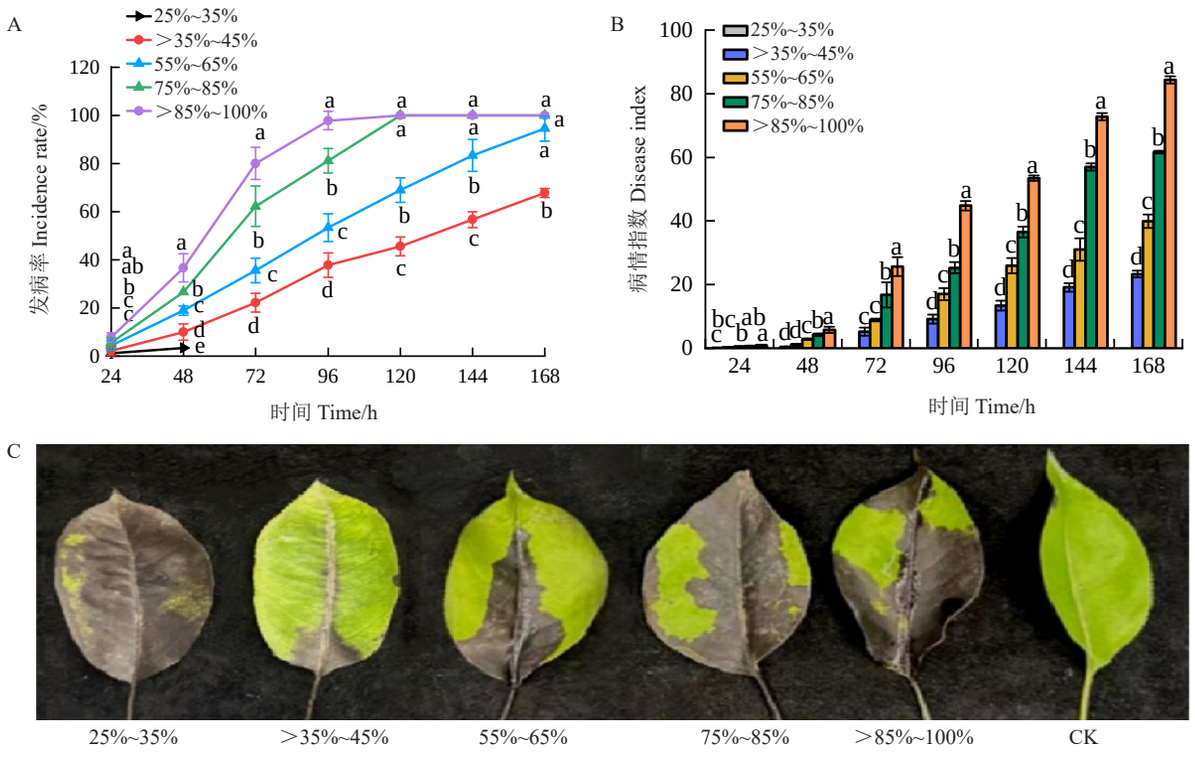


图 6　叶片在不同湿度条件下接种梨火疫病菌后的发病率（A）和病情指数（B）动态变化及危害特征（C）

Fig. 6　The dynamic changes in the incidence rate (A) and disease index (B) of leaves after inoculation with pear fire blight bacteria under different humidity conditions and hazard characteristics (C)

等[7]采用不同浓度梨火疫菌液对一年生与两年生香梨进行接种研究，发现接种菌液浓度越高，病斑的扩散速度越快，且在一年生枝条内的扩散速度显著高于两年生枝条。本试验结果显示擦伤、剪口和刺伤处理均先于自然孔口发病，且 24 h 后剪口处理病情发展最快，表明伤口是造成病菌扩散的重要因素，并且伤口面积越大越利于病情发展。擦伤处理最容易感染梨火疫病菌，这可能是由于摩擦破坏了叶片表皮结构，使得病菌直接接触到植物组织内部。本试验采用叶面喷雾法对不同叶龄叶片进行接种试验，结果表明幼叶相比其他叶龄更易感病，原因可能是幼叶上有许多小茸毛，有利于病菌更好地附着在叶面上，而叶龄较大的叶片表面比较光滑不易于病菌附着，同时随着叶龄增长叶片逐渐蜡质化，更能够阻碍病菌的入侵而不易感病。James 等[26]研究表明温度、湿度会影响宿主和病原体之间的生理相互作用。本研究结果表明，库尔勒香梨不同器官对梨火疫病的敏感性存在显著差异，花朵是最先被侵染的器官。同一温湿度条件下花朵发病最快，其次是幼果、叶片和枝条，这可能与它们的组织结构、生理防御功能以及代谢特点有关[27]。杨敏芝等[28]在研究不同湿度对白僵菌孢子粉贮藏期和寄生力的影响时发现，在 15~35 ℃范围内，该病原菌能够成功侵染寄主，这表明该病原菌具有一定的温度适应性。前人研究表明梨火疫病菌在 4~37 ℃的温度范围内均能生长，最适生长温度为 28 ℃，在温度超过 55 ℃、3 min 时梨火疫病菌会死亡。本研究发现，在温度 28 ℃、相对湿度 75%~85%环境条件下，花朵最先发病，其次是幼果、叶片和枝条。增加或降低相对湿度均会影响发病率，且病情指数随着相对湿度的增加呈现递升变化。但是，在较低相对湿度（25%~35%）环境条件下，离体叶片在接种后 48 h 内枯萎死亡，且全程未见任何发病症状，这可能是因为过低的相对湿度不利于梨火疫病菌生存。这与 Southey 等[29]关于梨火疫病菌在相对湿度 40%~90%时，附着于空气中小颗粒物表面能够存活的研究结果基本一致。因此，在实际生产中应该做好病情预防，特别是在初春 3 月下旬至 4 月上旬花芽分化期，此阶段最高温度低于 25 ℃，梨火疫病菌发展相对较慢，防治效果相对较好。然而，本研究仍存在一定的局限性，试验材料为离体器官，实验室条件与实际果园环境存在一定差异，因此有必要进一步在田间条件下进行验证和

拓展研究，以便更好地服务于农业生产实践。

4 结 论

库尔勒香梨不同器官对梨火疫病菌防御能力存在较大差异，花朵最易被病菌侵染，其次是幼果、叶片和枝条，并且器官越幼嫩病情发展速度越快。适宜温度条件下（温度25~30 ℃），机械损伤面积越大、环境湿度越大、病菌量越大越有利于病情蔓延。因此，在库尔勒香梨果园管理中应降低机械作业损伤，合理控制果园的温度和湿度，重点关注初生梨火疫病的防治，制定科学合理的防治方案，以保障库尔勒香梨产业的健康发展。

参考文献 References：

[1] DOOLOTKELDIEVA T，BOBUSHEVA S. Fire blight disease caused by *Erwinia amylovora* on Rosaceae plants in Kyrgyzstan and biological agents to control this disease[J]. Advances in Microbiology，2016，6(11)：831-851.

[2] 张峰，李养义 . 库尔勒香梨产业发展现状与对策建议[J]. 西北园艺(综合)，2020(11)：3-5.
ZHANG Feng，LI Yangyi. Current situation and countermeasures of Korla fragrant pear industry development[J]. Northwest Horticulture，2020(11)：3-5.

[3] ZHAO Y Q，TIAN Y L，WANG L M，GENG G M，ZHAO W J，HU B S，ZHAO Y F. Fire blight disease，a fast-approaching threat to apple and pear production in China[J]. Journal of Integrative Agriculture，2019，18(4)：815-820.

[4] 曹雅芝，陈卫民，张胜军，陆彪，崔志军，李克梅，韩丽丽，张学超，张晓倩，阿依达娜•阿思克别列 . 83 份新疆野苹果种质资源对梨火疫病菌的抗病性评价[J]. 植物检疫，2024，38(1)：33-46.
CAO Yazhi，CHEN Weimin，ZHANG Shengjun，LU Biao，CUI Zhijun，LI Kemei，HAN Lili，ZHANG Xuechao，ZHANG Xiaoqian，Ayidana·Asikebielie. Evaluation of disease resistance of 83 *Malus sieversii* germplasm resources to *Erwinia amylovora*[J]. Plant Quarantine，2024，38(1)：33-46.

[5] VANNESTE J L. Fire blight：The disease and its causative agent，erwinia amylovora[M]. Wallingford，Oxon，UK；New York，NY，USA：CABI Pubishing，2000.

[6] PEIL A，EMERIEWEN O F，KHAN A，KOSTICK S，MALNOY M. Status of fire blight resistance breeding in *Malus*[J]. Journal of Plant Pathology，2021，103(1)：3-12.

[7] 吕天宇，徐琳赟，席海珅，韩剑，罗明 . 梨火疫病菌在库尔勒香梨枝条中的侵染定殖和扩展特征研究[J]. 果树学报，2023，40(8)：1692-1702.
LÜ Tianyu，XU Linyun，XI Haishen，HAN Jian，LUO Ming. Characterization of the infectious colonization and expansion with GFP tagged strain of *Erwinia amylovora* in Kuerlexiangli pear (*Pyrus sinkiangensis* Yu) shoots[J]. Journal of Fruit Science，2023，40(8)：1692-1702.

[8] ADASKAVEG J E，FÖRSTER H，WADE M L. Effectiveness of kasugamycin against *Erwinia amylovora* and its potential use for managing fire blight of pear[J]. Plant Disease，2011，95(4)：448-454.

[9] BANTLEON G，SCHEER C，HARTUNG K，VOEGELE R T. Extensive efficacy tests of non-antibiotic fire blight control agents[J]. Journal of Plant Pathology，2021，103(1)：155-165.

[10] SABRINE H，AFIF H，MOHAMED B，HAMADI B，MARIA H. Effects of cadmium and copper on pollen germination and fruit set in pea (*Pisum sativum* L.)[J]. Scientia Horticulturae，2010，125(4)：551-555.

[11] ACHARYA S，SHARMA D K，JOSHI H C，CHAKRABORTI M. Effects of some heavy metals on *in vitro* pollen germination and pollen tube growth of *Jatropha curcas*[J]. Range Management & Agroforestry，2011，32(1)：52-55.

[12] 刘朋飞，覃伟铭，张义智，吴曰福，王泓力，齐鹤，楼兵干 . 22 个杀菌剂制剂对梨火疫病的田间防效试验[J]. 浙江农业科学，2024，65(9)：2152-2159.
LIU Pengfei，QIN Weiming，ZHANG Yizhi，WU Yuefu，WANG Hongli，QI He，LOU Binggan. Field efficacy trials of 22 fungicides against pear fire blight[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences，2024，65(9)：2152-2159.

[13] 史应武，牛新湘，杨红梅，楚敏，包慧芳，王宁，詹发强，林青，杨蓉，龙宣杞，娄恺 . 4 种药剂对梨火疫病防病效果及产量品质的影响[J]. 新疆农业科学，2024，61(6)：1432-1440.
SHI Yingwu，NIU Xinxiang，YANG Hongmei，CHU Min，BAO Huifang，WANG Ning，ZHAN Faqiang，LIN Qing，YANG Rong，LONG Xuanqi，LOU Kai. The effects of fungicides on yield and quality of pear were analyzed[J]. Xinjiang Agricultural Sciences，2024，61(6)：1432-1440.

[14] SCHLATHÖLTER I，JÄNSCH M，FLACHOWSKY H，BROGGINI G A L，HANKE M V，PATOCCHI A. Generation of advanced fire blight-resistant apple (*Malus* × *domestica*) selections of the fifth generation within 7 years of applying the early flowering approach[J]. Planta，2018，247(6)：1475-1488.

[15] 王贝贝，田嘉 . 不同梨种质叶片结构及防御酶活性与火疫病抗性的关联分析[J]. 中国果树，2024(10)：113-123.
WANG Beibei，TIAN Jia. Association analysis of leaf structure and defense enzyme activity with fire blight resistance in different pear germplasms[J]. China Fruits，2024(10)：113-123.

[16] 王泓力，王岩，吴曰福，刘朋飞，刘爱华，高山，楼兵干 . 12 种杀菌剂对杜梨苗梨火疫病的预防与治疗效果测定[J]. 植物保护，2022，48(6)：111-117.
WANG Hongli，WANG Yan，WU Yuefu，LIU Pengfei，LIU Aihua，GAO Shan，LOU Binggan. Prevention and control efficacies of 12 bactericides on fire blight of *Pyrus betulifolia* seedlings[J]. Plant Protection，2022，48(6)：111-117.

[17] 王杰花，牛玉玲，覃建国，韩丽丽，陈卫民 . 4 种杀菌剂对梨火疫病的田间防治效果与评价[J]. 农药，2022，61(7)：523-525.
WANG Jiehua，NIU Yuling，QIN Jianguo，HAN Lili，CHEN Weimin. Field control effect and evaluation of four fungicides on fire blight of pear[J]. Agrochemicals，2022，61(7)：523-525.

[18] 刘朋飞，王岩，王泓力，吴曰福，陈小飞，楼兵干 . 6 种杀菌剂对梨火疫病菌的室内毒力测定和混配试验[J]. 植物保护，2022，48(6)：98-104.
LIU Pengfei，WANG Yan，WANG Hongli，WU Yuefu，CHEN Xiaofei，LOU Binggan. Laboratory toxicity tests and mixture experiments of six fungicides against pear fire blight[J]. Plant Protection，2022，48(6)：98-104.

[19] 马翔宇，班学，唐丽，苏宣乐，张王斌 . 7 种杀菌剂对香梨花粉安全性及携带梨火疫病菌灭菌效果评价[J/OL]. 分子植物育种，2024：1-19. (2024-08-14). https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20240813.1503.002.
MA Xiangyu，BAN Xue，TANG Li，SU Xuanle，ZHANG Wangbin. Evaluation on the safety of 7 fungicides against pear pollen and the sterilization effect of pear fire blight bacteria[J/OL]. Molecular Plant Breeding，2024：1-19. (2024-08-14). https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20240813.1503.002.

[20] 李晓妹，韩丽丽，何亚南，张学超，陈卫民 . 20 个苹果品种（类型）对梨火疫病菌的抗病性评价[J]. 植物检疫，2022，36(4)：6-12.
LI Xiaomei，HAN Lili，HE Yanan，ZHANG Xuechao，CHEN Weimin. Evaluation on the resistance of 20 apple varieties to *Erwinia amylovora*[J]. Plant Quarantine，2022，36(4)：6-12.

[21] 李洪涛，张静文，盛强，唐章虎，张祥林，张春竹，罗明 . 我国 20 个梨品种(种质)对国外梨火疫病菌的抗病性评价[J]. 果树学报，2019，36(5)：629-637.
LI Hongtao，ZHANG Jingwen，SHENG Qiang，TANG Zhanghu，ZHANG Xianglin，ZHANG Chunzhu，LUO Ming. Resistance evaluation of 20 pear varieties (germplasms) in China to foreign strains of *Erwinia amylovora*[J]. Journal of Fruit Science，2019，36(5)：629-637.

[22] 耿丽华，史越，张国裕，李海真，宋顺华 . 一种西葫芦根腐病病原鉴定及其致病范围[J]. 中国瓜菜，2022，35(7)：19-24.
GENG Lihua，SHI Yue，ZHANG Guoyu，LI Haizhen，SONG Shunhua. Pathogen identification of zucchini root rot disease and its pathogenic range of vegetables[J]. China Cucurbits and Vegetables，2022，35(7)：19-24.

[23] CROSSE J E. Leaf damage as a predisposing factor in the infection of apple shoots by *Erwinia amylovora*[J]. Phytopathology，1972，62(1)：176.

[24] 陈启丹，肖大淞，舒慧琳，申火云，李玺洋，李自龙 . 太子参根腐病病原菌及其生防菌的筛选及鉴定[J]. 贵州中医药大学学报，2024，46(5)：39-46.
CHEN Qidan，XIAO Dasong，SHU Huilin，SHEN Huoyun，LI Xiyang，LI Zilong. Screening and identification of pathogen causing root rot in *Pseudostellaria heterophylla* and selection of biocontrol agents[J]. Journal of Guizhou University of Traditional Chinese Medicine，2024，46(5)：39-46.

[25] 纪雨微，李梓嫣，邓硕真，汪玉清 . 不同接种方式下番茄溃疡病病原菌的致病效果比较[J]. 中国农业大学学报，2022，27(9)：109-116.
JI Yuwei，LI Ziyan，DENG Shuozhen，WANG Yuqing. Comparison of the pathogenic effect of bacterial canker pathogen under different inoculation methods in tomato[J]. Journal of China Agricultural University，2022，27(9)：109-116.

[26] JAMES R R，CROFT B A，SHAFFER B T，LIGHTHART B. Impact of temperature and humidity on host-pathogen interactions between *Beauveria bassiana* and a coccinellid[J]. Environmental Entomology，1998，27(6)：1506-1513.

[27] 庞忠义，吴建丽，钱程远 . 杨树细菌溃疡病发病机理及病害防治研究进展[J]. 防护林科技，2008(4)：92-93.
PANG Zhongyi，WU Jianli，QIAN Chengyuan. Research progress on pathogenesis and disease control of poplar bacterial canker[J]. Protection Forest Science and Technology，2008(4)：92-93.

[28] 杨敏芝，谭云峰，田志来 . 不同温、湿度和光照对白僵菌孢子活力的影响[J]. 吉林农业科学，2005，30(3)：60-61.
YANG Minzhi，TAN Yunfeng，TIAN Zhilai. effects of different temperature，humidity and light on spore viability of *Beauveria bassiana*[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences，2005，30(3)：60-61.

[29] SOUTHEY R F W，HARPER G J. The survival of *Erwinia amylovora* in airborne particles：Tests in the laboratory and in the open air[J]. Journal of Applied Bacteriology，1971，34(3)：547-556.