

# 近年我国重要苹果病害发生概况及研究进展

王树桐, 王亚南, 曹克强\*

(河北农业大学植物保护学院, 河北省植物病虫害生物防治工程技术研究中心, 保定 071001)

**摘要** 苹果是我国最重要的经济作物之一,截至 2015 年我国苹果种植面积达到 232 万  $\text{hm}^2$ ,总产量超过 4 200 万 t。各种病害仍是困扰我国苹果产业健康发展的限制性因素。腐烂病和枝干轮纹病依然是我国苹果最重要的枝干病害,斑点落叶病和白粉病连年发生,危害加重;霉心病在一些产区成为产业发展的限制性因素。病毒病病原种类还在增加,发生程度不断加重,已经上升为苹果主要病害。随着老果园重建的大范围开展,再植病害已经成为苹果产业可持续发展的障碍;缺素、裂果和冻害等非侵染性病害虽然不具传染性,但近年来发生面积不断扩大,对苹果产量的威胁在某些年份甚至较侵染性病害更为严重。本文系统总结了自 2013 年以来这些苹果主要病害的发生概况及研究进展,并分析了目前存在的问题,提出了相应的建议。

**关键词** 苹果病害; 发生; 防治建议

中图分类号: S 436.611 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2018300

## Occurrence of and research progress in important apple diseases in China in recent years

WANG Shutong, WANG Yanan, CAO Keqiang

(College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Bio-control Center of Plant Diseases and Pests of Hebei Province, Baoding 071001, China)

**Abstract** Apple is one of the most important economic crops in China. As of 2015, the planting area of apple reached 2.32 million  $\text{hm}^2$ , with its total yield exceeding 42 million tons. Various diseases are still limiting factors to the healthy development of apple industry in China. Valsa canker and ring rot diseases are still the most important branch diseases of apple in China. Alternaria leaf spot and powdery mildew occurred more and more seriously in successive years. Apple mould core disease has become the limiting factor in the industrial development in some areas. The number and severity of viral diseases are increasing, which has risen to the main disease of apple. With the extensive development of the old orchard reconstruction, replant disease has become an obstacle to the sustainable development of apple industry. Although the non-infective diseases such as nutritional deficiency, fruit cracking and freezing damage are not infectious, the occurrence area has been expanding in recent years, and their threat to apple yield is more serious in some years than that of infective diseases. This review systematically summarized the general situation and research progress of the major apple diseases since 2013, and analyzed the existing problems and put forward some suggestions.

**Key words** apple disease; occurrence; suggestion for control

截至 2015 年,我国苹果种植面积已达 232.83 万  $\text{hm}^2$ ,产量为 4 261.34 万 t,均占世界的一半左右。但苹果病害仍是影响我国苹果产业可持续健康发展的限制性因素,在不同年份及不同地区给果农造成重大损失。《中国果树病虫害(第二版)》共记录病害 107 种<sup>[1]</sup>。我们在近年的普查中,发现苹果病害

50 种。其中,腐烂病、轮纹病、褐斑病和斑点落叶病是当前发生最为普遍,危害最为严重的病害种类,另外,白粉病、锈病、套袋果实黑点病、花叶病毒病、霉心病、锈果病和炭疽病在我国发生较为普遍,在某些年份可造成重大经济损失<sup>[2]</sup>。另外,非侵染性病害在一些产区发生较为严重,甚至对生产构成重大威

收稿日期: 2018-07-10

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0201100);国家苹果产业技术体系(CARS-27);河北省自然科学基金(c2016204140)

\* 通信作者 E-mail:ckq@hebau.edu.cn

胁。对于我国苹果主要病害的发生及防治研究进展,李保华等曾于 2013 年做了较为系统的综述<sup>[3]</sup>。对该文中已经较为系统综述的病害如腐烂病、轮纹病和病毒病等,本文着重总结自 2013 以来的研究进展。对于该文中未涉及的重要病害,如斑点落叶病、白粉病、霉心病、再植病害以及缺素症、裂果和冻害等非侵染性病害,本文根据需要系统总结了较早的研究进展。同时,也结合了我们在研究及生产实践中的一些新的认识,以期为我国苹果病害的研究和防控起到促进作用。

## 1 侵染性病害

### 1.1 苹果树腐烂病

发生与分布:2010—2012 年我们连续对我国苹果主产区 18 个省(区、市)的苹果病虫害发生情况进行调查,发现苹果树腐烂病仍是我国苹果主要病害之一,在苹果主产区广泛分布<sup>[2]</sup>。近年来,在甘肃、黑龙江、云南等省份均开展过腐烂病发生情况调查,不同地区、不同树龄的果树发病程度也有差异。三省的平均病株率分别为 30%~55%、40%~45%和 30%~33%,但部分重病园平均病株率达 90%以上<sup>[4-7]</sup>。根据我们近几年在苹果主产区的调查,我国苹果树腐烂病的发生程度已经较 2008 年呈现下降的趋势。

病原学:Wang 等研究认为引起苹果树腐烂病的病菌共有 3 个种,*Valsa mali* 和 *V. pyri* 和 *V. malicola*<sup>[8]</sup>。陕西省以 *V. mali* 为主,而山西省则以 *V. pyri* 为主<sup>[9]</sup>。*V. mali* 和 *V. pyri* 之间存在着致病性的分化<sup>[10]</sup>,对河北省不同地区分离到的腐烂病菌菌株的分析表明,腐烂病菌在河北省存在较为丰富的遗传多样性<sup>[11]</sup>。通过对 *V. mali* 和 *V. pyri* 进行全基因组测序,发现两者的基因组大小分别为 44.7 Mb 和 35.7 Mb。两个基因组编码了大量与致病性相关的基因,这些基因参与了细胞壁降解和次生代谢产物的合成。为了适应树皮中的有限营养和低 pH 环境,两种病菌都有用于氮摄取和分泌蛋白酶膜转运系统,以适应酸性 pH 环境,这两种病菌也都适合果胶的分解<sup>[12]</sup>。利用 ITS、 $\beta$ -微管蛋白和 EF-1 $\alpha$  基因序列设计,筛选出特异性引物对 VE-F/VE-R,建立了 Realtime PCR 检测体系,可检测出未发病组织中的腐烂病菌数量<sup>[13]</sup>。

侵染和流行规律:杜占涛等研究发现,分生孢子

在树冠高度以内周年均可传播扩散,传播高峰期为 2—6 月份<sup>[14]</sup>。本研究组对腐烂病菌分生孢子角释放的多年观察发现,腐烂病菌孢子角可以周年释放<sup>[15]</sup>。桂腾茸等在云南昭通的研究发现,苹果腐烂病菌在当地的越冬存活率为 64.0%。在苹果生长季节内病疤面积扩展有两个高峰,分别为 6 月和 9 月<sup>[16]</sup>。在对腐烂病病斑扩展的研究中发现,腐烂病斑可以周年扩展,病斑出现的高峰期为 11 月、12 月和翌年 2 月、3 月,病斑扩展高峰期为 3—5 月<sup>[14]</sup>。桂腾茸等在云南昭通的调查发现,在苹果生长季节,4—5 月下旬腐烂病疤直径增长相对较快,6—9 月中旬,病疤直径增长缓慢,中间出现两次小的波动,秋季再次出现病疤面积增长小高峰<sup>[16]</sup>。而刘伟等在河北省对腐烂病斑扩展的调查发现,不同生长季节,苹果树腐烂病从人工接种到扩展为可见病斑所需的时间不同,其中春季接种所需时间最短,平均为 7.7 d;其次是夏季,平均为 10.2 d,秋季平均为 12.5 d。不同季节接种后形成的腐烂病斑在发病后 2 个月内都会出现一个快速扩展过程,随后病斑停止或缓慢扩展,经 2—5 个月,再次出现一个快速扩展过程。无论哪个季节接种形成的病斑,第二个快速扩展期都出现在春季或秋季<sup>[17]</sup>,这一研究揭示了腐烂病有春季和秋季两个发病高峰的内在原因。我们对腐烂病斑进行解剖发现,腐烂病斑在木质部的面积较韧皮部更大,而且病菌可以在木质部内蔓延。Chen 等进一步研究发现,腐烂病菌从伤口侵入木质部后,可以沿木质部导管射线、韧皮部筛管等纵向或横向扩展蔓延<sup>[18]</sup>。腐烂病菌的传播途径主要为风雨传播,我们在研究中发现,带有腐烂病菌的修剪工具能够在修剪过程中传播苹果树腐烂病,并且 12 月、1 月、2 月传播率高,而 3 月份修剪则发病率降低<sup>[15,19]</sup>。对腐烂病菌的侵染过程研究发现,分生孢子在 5℃ 下培养 6 d 可以萌发 90%,在 0℃ 下培养 19 d 可以萌发 50%。这使得分生孢子在一年中任何季节都可以从伤口侵入,冬季是病菌侵染的重要时期。腐烂病菌主要通过伤口侵入,分生孢子更容易侵染新鲜伤口<sup>[15]</sup>。腐烂病菌在有伤和无伤树皮上萌发的模式相同,不过在无伤树皮上萌发时间延迟。在无伤树皮组织上,分生孢子在接种后 16 h 开始看到萌动,20 h 开始萌发,但未发现侵染。在有伤口的树皮上,分生孢子在接种后 6 h 开始萌动,16 h 后萌发,20 h 后可以观察到芽管直接侵入,4 d 后形成可见溃

痂斑<sup>[20]</sup>。

致病机理:GTP-环化水解酶 II 基因 *Vmgtp1* 可能参与调控苹果树腐烂病菌菌丝生长和繁殖体的产生过程,并且可能在苹果树腐烂病菌致病过程中起作用<sup>[21]</sup>。Li 等对腐烂病菌的基因组分析,发现了 193 个候选效应子基因,其中有 101 个基因是腐烂病菌特有的。瞬时表达试验表明,7 个效应子蛋白能够显著抑制 BAX 诱导的细胞过敏性坏死。靶向敲除效应子 *VmEP1* 基因,可使腐烂病菌的致病能力显著下降<sup>[22]</sup>。Argonaute(AGO)蛋白作为沉默复合体 RISC 的重要组成部分,直接影响小 RNA 分子的调控功能。苹果树腐烂病菌 *VMAGO3* 能够参与病菌对 pH、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 胁迫的响应,且 *VMAGO3* 的缺失能够影响病菌的致病力<sup>[23]</sup>。多聚半乳糖醛酸酶基因 *Vmpg7* 和 *Vmpg8* 可能与同家族内其他基因协同作用,通过调节果胶酶活性参与苹果树腐烂病菌致病过程<sup>[24]</sup>。苹果树腐烂病菌果胶裂解酶基因 *Vmpl4* 通过降解果胶参与致病过程,PL 家族内其他基因与 *Vmpl4* 在病菌致病性方面共同发挥作用<sup>[25]</sup>。马晨琛等研究发现,非核糖体多肽合成酶基因 *VmNRPS12* 与苹果树腐烂病菌致病性相关<sup>[26]</sup>。李婷等对锌指蛋白 3(*Vmzfp3*)的基因功能研究发现,*Vmzfp3* 基因对腐烂病菌的菌丝生长,病菌的致病力具有调控作用<sup>[27]</sup>。高明煜等研究证明了腐烂病菌细胞色素 P450 (CYP) 基因家族的 *Vmcyt5* 基因与病原菌黑色素合成、子实体的产生和致病力相关<sup>[28]</sup>。

病害防治:增强树势是提高腐烂病防治效果的根本措施。树体营养水平与苹果树腐烂病发生程度有明显相关性,当苹果叶片钾含量 < 9 mg/g 时,叶钾含量与腐烂病的发生程度呈极显著的负相关关系;氮、磷、钾元素含量与腐烂病发生程度关系密切,病情指数与 N/K 和 P/K 均呈极显著正相关关系<sup>[29-30]</sup>。杨文渊等对腐烂病发生程度与土壤养分关系的研究也证实了这一点<sup>[31]</sup>。因此,通过根施并结合叶片喷施提高树体中钾的含量,使叶钾含量高于 13.0 mg/g 时,可以显著降低腐烂病发生程度。根据我们前期研究结果,推迟冬剪并加强剪锯口保护是控制腐烂病蔓延的重要措施,其防控效果也在近年的生产上得到了证明。土壤水分状况对于腐烂病的发生也有影响。干旱条件下腐烂病发生最重,饱和水分条件下腐烂病发生也较重,只有水分条件适宜时腐烂病发生最轻<sup>[32]</sup>。化学农药虽然不能从

根本上防治腐烂病,但生产上对腐烂病的化学防治仍是必不可少的措施。自 2013 年以来,很多人在不同地区针对腐烂病开展了田间药剂防治试验,筛选出了噻霉酮、甲硫苯乙酸、甲基硫菌灵、菌清、戊唑醇等用于病斑治疗<sup>[33-35]</sup>。保护性药剂中,倍量式波尔多液的持效期最长<sup>[36]</sup>。生物防治近年来日益受到重视,放线菌在腐烂病的生物防治中占据了重要地位。张清明等采用室内及离体枝条测试,筛选到一株卡伍尔链霉菌 *Streptomyces cavourensis*,对腐烂病有较好防效<sup>[37]</sup>。Li 等筛选获得了一个链霉菌菌株,经鉴定,命名为杨凌糖丝菌 *Saccharothrix yanglingensis* Hhs. 015,该菌株对苹果树腐烂病菌菌丝生长和产孢都有较强拮抗作用,田间试验证明了其对腐烂病的防控效果以及对愈伤组织形成的促进作用<sup>[38]</sup>。该菌株能够在苹果树树皮内定殖,并影响苹果枝条皮层细菌区系<sup>[39]</sup>。进一步通过组织学和细胞学研究发现,可能通过竞争、抗生溶菌、诱导抗性等作用来防止苹果树腐烂病菌对寄主的侵染<sup>[40]</sup>。芽胞杆菌尤其是苹果枝条内生芽胞杆菌也已经显示出作为腐烂病生防菌的巨大潜力<sup>[41-42]</sup>。王卫雄等在室内筛选到 2 株拮抗细菌,经鉴定为枯草芽胞杆菌和解淀粉芽胞杆菌,均对腐烂病有较强拮抗作用<sup>[43]</sup>。Zhang 等报道了解淀粉芽胞杆菌 *Bacillus amyloliquefaciens* 菌株 GB1 对苹果树腐烂病的防控效果。该菌株能够定殖在腐烂病斑刮治后的伤口处木质部和韧皮部,并形成生物膜<sup>[44]</sup>。将商品菌肥用于腐烂病的防治目前已经取得了较好成效,这为腐烂病的生物防治推广应用展示了良好前景<sup>[45]</sup>。利用植物源活性成分防治腐烂病也已经开展了有益探索,Wang 等从孜然中提取的枯茗酸,对腐烂病菌的 EC<sub>50</sub> 值平均为 5 μg/mL,显示出作为腐烂病防治药剂的潜力<sup>[46]</sup>。

## 1.2 苹果轮纹病

发生与危害:苹果轮纹病是我国苹果生产上最重要的病害之一,在山东、河北、河南、山西等种植区发生尤重,是苹果生产的重大威胁<sup>[2]</sup>。任洁等在河北的研究表明,在不套袋和不用杀菌剂防治的情况下,采收时苹果因轮纹病造成的产量损失率为 6.61%~38.02%,3 年平均损失率为 22.84%。经过室温储藏 45 d 后,累计损失率为 30.00%~65.39%,3 年平均损失率为 51.58%<sup>[47]</sup>,这表明轮纹病是苹果生产上的重大威胁。

病原学:贾广成等利用 ITS、EF-1 $\alpha$  和  $\beta$ -tubulin 等 3 个基因座位的分析,将苹果轮纹病菌鉴定为 *Botryosphaeria dothidea* [48]。而 Xu 等基于形态学特征及 ITS、EF-1 $\alpha$ 、HIS 和 HSP 等 4 个基因座位的系统发育,认为苹果轮纹病菌有 2 个种,葡萄座腔菌 *B. dothidea* 和粗皮葡萄座腔菌 *B. kurwatsukai*。*B. dothidea* 在枝干上引起直径小于 1 mm 的小型病瘤,而 *B. kurwatsukai* 则引起直径 3~4 mm 的大型病瘤,并进而造成粗皮。而且 *B. kurwatsukai* 在欧美国家普遍存在,不应作为检疫性病原物对我国实施检疫 [49]。

侵染和流行规律:肖洲焯等研究发现,轮纹病菌有性生殖作为越冬形态在我国苹果主产区普遍发生,也是初侵染的重要来源 [50]。Zhao 等对我国北方苹果产区的轮纹病菌侵染规律进行系统研究发现,苹果果实在 5 月下旬到 8 月中旬为敏感时期,容易受到病菌侵染。在 5—6 月份侵染的果实,最早在 8 月上旬显症,9 月份进入显症高峰期。9 月份侵染的果实,1 周后即可显症。从 5 月初到 9 月底,枝干均感病。一年生新梢从 6 月到 8 月中旬最感病,在此期间接种,潜育期最短为 25 d。8 月底之前接种,当年即可显症,之后再接种,则到下一生长季才显症 [51]。

致病及抗病机制:轮纹病发生程度与果实外果皮微裂纹多少呈正相关,与果皮蜡质层厚度呈负相关,果实外果皮自然孔口和裂口是影响果实感病程度的重要因素 [52]。对苹果抗病基因的进一步分析发现,数量性状位点在枝干轮纹病和果实轮纹病中都是不重合的,而对枝干轮纹病和果实轮纹病的主效抗性基因有的是一致的,也有的在两者中分别出现 [53]。采用光镜和电镜技术对轮纹病菌在苹果枝条上的侵染机制研究发现,轮纹病菌菌丝通过皮孔进入苹果枝条 1 个月后,部分菌丝在侵入薄壁组织前,在细胞壁间延伸。3 个月后,侵染点附近形成由 6~10 层细胞组成的周皮,作为健康组织与病变组织之间的分界线,减缓了菌丝的扩展。但病原菌菌丝有时能穿透防御的周皮并扩展到周皮外的健康寄主组织中,寄主会在韧皮部深处形成另一防御周皮,以阻止病原菌扩展 [54]。综合来看,苹果枝条组织的防御能减缓病原菌的扩展,但不能实现完全限制。

病害防治:近 5 年来,我国科研人员针对轮纹病开展了砧木和品种的抗性资源筛选和测试,累计测试了 295 份苹果种质资源和 18 份砧木资源。获得了 32 份高抗品种资源和 3 份高抗砧木 [55-57]。对苹

果果实轮纹病进行 QTL 分析并对苹果轮纹病抗病基因进行预测,发现与苹果轮纹病抗性相关的基因 107 个 [58]。轮纹病的化学防治仍是应用最广泛的防治技术,近年来,不同学者针对轮纹病开展了防治药剂的筛选和测试,发现波尔多液、戊唑醇、苯醚甲环唑和代森铵等对轮纹病有较好的室内抑菌及田间防控效果,其中倍量式波尔多液对轮纹病的持效期最长达 20 d 以上。同时,国家苹果产业技术体系研发的新型植物源提取物制剂“树安康”也展现出对轮纹病的良好防效 [59-65]。在研究中发现,轮纹病菌群体中已经出现了对唑类杀菌剂及甲基硫菌灵杀菌剂敏感性下降的亚群体,而且不同三唑类杀菌剂之间还存在交互抗药性,这一现象值得警惕 [66-69]。利用生防菌及其代谢产物单独或与化学药剂混配防治轮纹病的研究近年来也有尝试,多处于实验室研究阶段 [70-73],其中利用微生物菌剂“轮纹终结者 1 号”涂刷树干已被证明是预防枝干轮纹病非常有效的措施 [74]。

### 1.3 斑点落叶病

发生与危害:由 *Alternaria alternata* 苹果致病型(异名 *A. mali*)引起的苹果斑点落叶病最早于 1905 年在美国密歇根农业试验站发现,1924 年在美国首次报道,并将该病原命名为 *Alternaria mali* Roberts。在亚洲,1956 年首次在日本报道了该病害的流行,而且,随着感病品种“红星”的推广,该病害发生呈加重趋势 [75]。在 20 世纪 70 年代,斑点落叶病在我国开始流行,目前已经发展成为我国苹果上的四大病害之一,在我国苹果主产区普遍发生危害 [2]。

侵染流行规律:斑点落叶病以菌丝体在落叶、芽的鳞片及病枝上越冬,次年春季在病斑上产生分生孢子,通过风雨传播,侵染新生叶片。一般在 5 月份开始发病,6 月份出现发病小高峰,全年发病高峰出现在 7—8 月份。降雨是病害流行的主导因素,夏季每一次降雨过后几乎都伴随一次侵染发病高峰 [76]。斑点落叶病菌大量侵染的决定性天气条件为:在 24 h 内,降雨量(mm)与降雨持续时间(h)的乘积至少要达到 12,且降雨开始后空气相对湿度维持在 90% 以上至少 10 h [77]。也有研究认为,降雨与随后的发病高峰之间一般有 10~15 d 的间隔 [78]。

寄主与病原物的互作:通过蛋白质组学研究发现,与胁迫相关的 SAMS 蛋白参与了苹果叶片细胞对斑点落叶病菌侵染的应答反应过程 [79]。通过接种后对抗感苹果品种叶片中钙依赖蛋白激酶的表

达活性及钙的流向沉积部位发现,钙信号响应斑点落叶病菌感染,在抗病苹果品种‘红玉’中, $\text{Ca}^{2+}$ 内流是细胞质  $\text{Ca}^{2+}$  上升的主要来源;在感病品种‘红星’中,细胞器  $\text{Ca}^{2+}$  释放是细胞质  $\text{Ca}^{2+}$  的主要来源。‘红玉’苹果 MdCPKs 基因响应病菌感染比‘红星’苹果早而且强烈<sup>[80]</sup>。

病害防治:不同苹果品种对斑点落叶病的抗性有明显差异,目前我国苹果主栽的‘富士’品种对斑点落叶病的抗性程度中等,在大流行年份也会造成较为严重的早期落叶。王昆等通过三年的田间试验,筛选出太原海棠等对斑点落叶病高抗资源 11 份<sup>[81]</sup>。化学防治仍然是斑点落叶病防治的主要措施。多抗霉素、戊唑醇、异菌脲和苯醚甲环唑等是对斑点落叶病防效较好的药剂。但近年来的研究表明,一些产区的斑点落叶病菌菌株已经对多抗霉素产生了较低程度的抗药性<sup>[82]</sup>。用苯醚甲环唑与 2-巯基苯并噻唑锰锌或克菌丹复配都有增效作用。不同药剂的持效期差异较大,多抗霉素、代森锰锌、异菌脲和戊唑醇的保护作用持效期可达 7 d。在雨后 24 h 喷药,多抗霉素、异菌脲、戊唑醇和双胍三辛烷基苯磺酸盐也能取得较好防效,但雨后 48 h 再喷药,则防效明显下降<sup>[83-85]</sup>。因此,斑点落叶病的药剂防治一方面要注意选择药剂种类,另一方面要注意喷药关键时机。争取在雨前保护性喷药,如果雨前未喷药,尽量应在雨后 24 h 内喷施有效药剂。

#### 1.4 苹果白粉病

发生与危害:由白叉丝单囊壳 *Podosphaera leucotricha* 引起的苹果白粉病是我国苹果上的一个常见病害,在我国所有苹果产区均有发现,发病程度在不同地区和不同年份间有差异,总体来看多为中等程度发生<sup>[2,86]</sup>。云南省 2010—2011 年的调查显示白粉病普遍发生,发病率在 2.0%~10.4%<sup>[87]</sup>。杨军玉等在 2011—2012 年对该病害的监测结果表明,这两年以山西临猗的发病最重,病叶率达 35.6%<sup>[88]</sup>。陕西省在 2014 年的调查统计发现,该省当年白粉病发病面积高达 16 万  $\text{hm}^2$ ,而山西省苹果产区在 2015 年也普遍发生白粉病危害,蒲城一个果园发病率高达 100%<sup>[89]</sup>。

侵染流行规律:白粉病菌主要以休眠菌丝在芽鳞片间或鳞片内潜伏越冬。越冬菌丝在苹果春季萌发时产生分生孢子,孢子借气流传播侵入新梢,从 4 月 1 日直到 9 月 10 日病菌均可侵入新梢芽鳞,但以

5 月 10 日到 6 月 10 日间为主。一年中一般有 2 个发病高峰,春季 4—6 月是第一个发病高峰,也是全年的发病高峰,8 月下旬到 9 月初为第二个发病高峰。我们综合分析了 2011—2016 年全国 25 个苹果综合试验站的数据和白粉病发病情况,认为冬季最低温度升高、春季 4 月份降雨增多及降雨次数频繁是近年白粉病发生严重的主要原因<sup>[90]</sup>。

病害防治:我国已经在白粉病抗性资源评价方面开展了初步研究。‘鸡冠’、‘早嘎啦’、‘美国八号’、‘伏花皮’和‘华红’等 5 个品种在抗性鉴定中被认为是抗病品种<sup>[91]</sup>。刘振中等对 42 个栽培品种的抗性鉴定表明,‘秦冠’、‘秋锦’、‘红玉’、‘寒富’和‘鸡冠’为高抗品种,另有 21 份材料表现抗病。同时发现苹果的抗白粉病由多基因控制,基因间存在互作效应,当表现累加效应时,后代表现高抗,‘富士’对白粉病的抗性属于多基因控制的共显性遗传<sup>[92]</sup>。化学防治仍然是生产上防控苹果白粉病的主要措施。目前对苹果白粉病防效较好的药剂包括 80% 硫磺水分散剂、30% 氟菌唑可湿性粉剂、30% 醚菌·啶酰菌悬浮剂、40% 腈菌唑可湿性粉剂和 30% 苯甲·丙环唑可湿性粉剂等<sup>[93]</sup>。

#### 1.5 苹果霉心病

发生与危害:苹果霉心病又称心腐病,是苹果果实上的重要病害,在果实生长期和储藏期都有发生。其症状主要有霉心型和心腐型两类。霉心病在生长期尤其在幼果期发生容易导致早期落果。在全国调查中发现,霉心病在我国属中度发生<sup>[2]</sup>。但在一些地区发病较重,如三门峡地区,在‘富士’品种上历年发病均较重。在其他产区,如洛川等地,一些年份发病率也可达到 15% 以上,而天水等地元帅系品种上的发病率则可高达 50% 以上。

病原物:引起苹果霉心病的病原种类较多,包括链格孢 *Alternaria* spp.、粉红聚端孢 *Trichothecium roseum*、枝孢霉 *Cladosporium* spp. 和青霉 *Penicillium* spp. 等。一般认为链格孢引起霉心型症状,粉红聚端孢容易引起心腐型症状。而 Gao 等研究发现,出现心腐型还是霉心型症状与接种体菌量有关,接种菌量在  $10^5$  时为霉心型症状,当接种菌量达到  $10^6$  以上时则表现为心腐型症状。不同种类病原复合接种也能分别引起霉心型和心腐型症状<sup>[94]</sup>。白滨等研究发现, *Discostroma fuscillum* 也是甘肃苹果霉心病的一种病原<sup>[95]</sup>。

侵染流行规律:对霉心病流行规律的研究主要集中于链格孢菌 *Alternaria* spp., 对其他病原菌的侵染流行规律还缺乏研究报道。链格孢菌以菌丝在苹果芽鳞、果台、枝梢、病痕、落叶等病组织中越冬, 越冬病菌在开春后成为初侵染来源; 病菌还能以分生孢子的形式, 附着在寄主组织的表面和芽鳞之间, 在苹果生长期可随风传播侵染, 潜藏在芽鳞片间的孢子在芽萌动时侵入芽内组织, 霉心病菌整个生长季都可侵染, 但以从暴芽期到果实萼筒封闭前为最主要<sup>[96-97]</sup>。花芽各层鳞片都带有链格孢菌, 带菌率由外层向内层逐层递减, 芽心(花原始体)不带病菌。病菌一般经花柱侵入, 自花朵开放时开始侵染。自初花至落花期, 70%花柱被链格孢定殖<sup>[98]</sup>。‘元帅’系品种, 从落花后 3 周至果实采收, 定殖于花柱的病菌通过萼筒心室间组织陆续进入心室。采收以后, 在常温贮藏条件下, 继续向心室蔓延<sup>[99]</sup>。

病害防治:不同品种抗性有较大差异, ‘北斗’、‘红星’、‘元帅’、‘斗南’等品种感病, ‘国光’、‘金冠’等品种抗病。品种抗性与这些品种的心室开放程度有关<sup>[100]</sup>。我们在对感病品种‘斗南’的研究发现, 采取疏除中心花, 留边花坐果的农业措施, 即可使霉心病的发病率降低 50%以上, 且对果实的单果重、果实形状都无不良影响<sup>[101]</sup>。生长季尤其是花期喷施有效杀菌剂是防治霉心病的重要措施。党继玲等通过室内测试, 发现多抗霉素、农抗 120、噻霉酮及氰烯菌酯对苹果霉心病与心腐病的主要病原菌分别有不同的抑制效果<sup>[102]</sup>。综合多地的田间试验结果来看, 多抗霉素(或多氧霉素)是目前防控霉心病的主要药剂, 而且这些生物制剂可以在病菌侵染最为关键的花期喷施, 从而取得良好的防控效果<sup>[103]</sup>。

## 1.6 苹果再植病害

发生与危害:苹果再植病害(apple replant disease, ARD), 又称连作障碍或重茬病, 是在老果园原址重建时容易出现的一类病害。主要表现为再植幼树生长缓慢, 节间缩短, 叶片小且发黄, 甚至早期死亡。未死亡的果树结果延迟, 产量下降, 果园寿命缩短。再植病害在世界各苹果产区都有发生, 美国华盛顿州因为该病害的发生, 每年每公顷平均损失达 4 000 美元<sup>[104]</sup>。我国苹果再植病害的问题更为突出, 受耕地面积所限, 很多果园在更新过程中选择原址重建。据我们 10 年前对河北省苹果产区的全面调查发现, 当时 15 年树龄以上的果园占调查果园的

69%, 目前这批果树树龄都已经到了 25 年, 已经进入了老龄期, 更新重建迫在眉睫<sup>[105]</sup>。近年来, 我们在苹果主产区如山东栖霞和陕西洛川等地调查时也发现, 部分果农已经开始了果园重建, 基本都是原址重建。由于处理不当, 再植病害问题非常突出, 很多重建果园 5 年还未结果, 一些果园重建当年死树 50%以上, 遭受了重大损失。

病因:引起苹果再植病害的因素较多, 概括起来可以分为生物因素和非生物因素两大类。生物因素主要包括病原真菌、卵菌、细菌和线虫等。引起苹果再植病害的病原真菌种类较多, 且不同地区间有差异。总体来看柱孢属 *Cylindrocarpon*、镰孢属 *Fusarium* 和丝核菌属 *Rhizoctonia* 以及卵菌的疫霉属 *Phytophthora* 和腐霉属 *Pythium* 都被认为是苹果再植病害发生的主要病原<sup>[106-107]</sup>。虽然细菌在 ARD 中的作用远不及真菌, 但属于放线菌以及芽胞杆菌属和假单胞菌属的细菌与 ARD 密切相关。据报道, 某些放线菌属会通过根系表皮细胞和根毛进入皮层组织, 造成根系腐烂, 而某些放线菌则可减轻苹果中的丝核菌根部感染。相应地, 不同的假单胞菌属物种已被证明在 ARD 的发生过程中发挥重要作用<sup>[108]</sup>。有研究表明利用特定的杀线虫剂能缓解连作障碍, 补充了预防接种的研究, 证明了根腐线虫对连作果树的危害, 而线虫与病原微生物之间的相互关系还有待深入研究<sup>[109]</sup>。

引起再植病害的非生物因素包括化感自毒物质、土壤理化性质变化等。一般认为由于前茬根系分泌、残根腐解以及地表淋溶物进入土壤, 成为影响再植苹果的化感物质, 主要包括酚酸、有机酸和单宁等。其中酚酸类物质如根皮苷、根皮素、苯甲酸、香草醛、肉桂酸、对羟基苯甲酸、间苯三酚等是最主要的自毒物质<sup>[110]</sup>。不同的研究均显示, 这些酚酸类物质对于再植苹果砧木-平邑甜茶幼苗的生长均有抑制作用, 而且混合酚酸对再植平邑甜茶幼苗生长的抑制作用更强<sup>[111]</sup>。在对老果园不同位置土壤中酚酸类物质的检测中发现, 树穴中的酚酸类物质含量显著高于株间和行间, 且对再植的苹果砧木幼苗生长有显著影响<sup>[112]</sup>。进一步研究还发现, 根皮苷对病原串珠镰孢菌的生长有促进作用, 将根皮苷与串珠镰孢菌组合, 可以加重苹果再植病害的症状, 这表明自毒物质与病原真菌侵染之间可能存在协同作用<sup>[113]</sup>。土壤理化性质的改变包括营养失调、土壤酸

化、土壤酶活性下降等。果园施肥量大,尤其是氮和磷等元素施用量过大,导致土壤 pH 下降,尤其是在酸性土壤中,pH 持续下降使土壤酸性不断增强,导致再植果树幼苗发根困难,吸收能力下降,表现营养缺乏症状。同时,土壤中磷酸酶、蔗糖酶、淀粉酶、脲酶和过氧化氢酶等土壤酶活性下降,使土壤的可持续生产力降低<sup>[110]</sup>。

**病害防治:农业防治。**轮作是预防再植病害发生的重要措施,使用小葱、苜蓿和小麦等作物轮作,可以明显减轻再植病害的发生程度,其中轮作小葱的效果最好,且轮作 2 年较轮作 1 年的效果好<sup>[114-115]</sup>。在果树行间作小麦、大麦、紫花苜蓿、万寿菊等作物<sup>[115-116]</sup>,不仅可以合理利用土地,增加收益,还可以促进果树生长。将平邑甜茶幼苗与葱混作,可以减少连作土壤中真菌数量,特别是土壤中尖孢镰刀菌数量,提高细菌数量,减轻苹果的连作障碍<sup>[117]</sup>。深翻客土是克服苹果再植病害的重要措施,但因为费时费工,劳动强度大,很多地方难以实施。对于不能客土的果园,最好利用原来果树的行间再植<sup>[118]</sup>,并采用“冬前开沟、风干冻融、春季回填、土层置换”的土壤处理方式,能较好地控制苹果再植病害,改善土壤微生物<sup>[119]</sup>。大量施用有机物料(150~450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)可以有效缓解再植病害的发生程度,但因为有机物料施用量大,也成为该措施实施的障碍性因素<sup>[110]</sup>。

**物理防治。**γ-辐射诱导再植植株生长、增根,缓解苹果再植病害<sup>[120-121]</sup>。对没有进行轮作的果园土壤利用 60~70℃ 的蒸汽熏蒸土壤,或在春末、夏季或初秋的晴天,采用地膜对园区进行覆盖,使地温升至 50℃ 以上,可以对土壤起到灭菌的作用,植株生长受到促进<sup>[122-123]</sup>。另外,使用太阳能对土壤进行灭菌,也可以达到杀灭部分病原菌的目的<sup>[124]</sup>。

**土壤熏蒸。**过去主要是在再植前用化学熏蒸剂对土壤进行熏蒸处理。化学制剂包括:溴甲烷、溴甲苯、福尔马林、1,3-二氯乙烯、氯化苦、威百亩、D-P 混合剂和甲基溴等。但是考虑到对生态环境的破坏,目前也在尝试寻找新的替代品,如溴甲烷在部分国家已被碘甲烷和乙二腈代替<sup>[125-126]</sup>。利用生物制剂替代化学熏蒸剂防治连作障碍已经得到了越来越多的关注<sup>[127]</sup>。目前,生物防治的手段——十字花科植物的种子改良剂,已广泛用于连作土壤,来减少连作相关的真菌和线虫的种群数量,促进苹果幼苗的生长。Mazzola 等通过三个生长季节观察发现,经十字花科

种子土壤改良剂处理的根际具有与植物病原真菌、卵菌和线虫的抑制有关的特定微生物,该改良剂可以通过改造根际微生物,抵抗病原菌侵染并且提高苹果产量<sup>[128-130]</sup>。王晓芳等利用万寿菊粉开展生物熏蒸,对于苹果再植病害也取得了良好的控制效果<sup>[131]</sup>。

**抗性砧木的利用。**通过选育对再植病害耐受能力强、适应性强的品种或砧木有望从根本上解决苹果连作障碍问题。美国已经选育出对再植病害耐受良好的砧木品种‘Geneva’系列<sup>[132]</sup>。该品种申请了专利保护,目前并不面向我国出口,因此我国还需要加强抗性砧木的选育工作。

**生物防治。**荧光假单胞菌 SS101 菌株对不同苹果产区病原菌具有抑制作用,该菌株不但可以显著缓解再植病害的影响,而且具有促生长和增产的效果<sup>[133]</sup>。在温室条件下,富含木霉的复合菌肥能有效缓解苹果的再植病害症状<sup>[134]</sup>。王洋娟利用微生物菌肥与化学肥料配合施用,对再植苹果树植株长势有显著促进作用<sup>[135]</sup>。刘超用棉隆熏蒸结合施用海藻菌肥明显促进再植苹果幼苗生长,增加土壤中细菌数量以及土壤中细菌与真菌的比值,抑制再植病害发生<sup>[126]</sup>。本研究室自 2012 年以来利用复合微生物菌剂控制苹果再植病害,取得了良好效果。2012 年至 2014 年再植的果树已经正常结果,其中 2012 年再植的‘富士’苹果单位面积产量达到了 4 000 kg/667 m<sup>2</sup>。这一方法目前已经开始在商业化果园推广应用<sup>[127-128]</sup>。笔者认为,利用生物防治控制苹果再植病害是具有广阔应用前景的防控方法。

## 1.7 苹果病毒病

**发生与危害:**苹果病毒病在我国苹果产区普遍发生,是限制我国苹果生产健康发展的主要因素之一,目前,苹果病毒病尚无有效防治药剂,发达国家主要通过使用无病毒苗木防控苹果病毒病,我国也已开展了相关研究,然而,离产业化还有很大距离。我国苹果产区普遍发生的主要病毒包括:苹果褪绿叶斑病毒 *Apple chlorotic leaf spot virus* (ACLSV)、苹果茎沟病毒 *Apple stem grooving virus* (ASGV)、苹果茎痘病毒 *Apple stem pitting virus* (ASPV)、苹果花叶病毒 *Apple mosaic virus* (ApMV) 和苹果锈果类病毒 *Apple scar skin viroid* (ASSVd)<sup>[138]</sup>。1935 年 ASSVd 在我国东北首次报道,目前该病在河北、北京、陕西、山东、辽宁、新疆等地均有发生,且病情有逐年加重的趋势<sup>[139-143]</sup>。近年来,在我国山东和新

疆地区也发现了苹果凹果类病毒 *Apple dimple fruit viroid* (ADFVd)<sup>[143-145]</sup>。20 世纪 80 年代,苹果皱果类病毒 *Apple fruit crinkle viroid* (AFCVd) 在河南、陕西、辽宁、甘肃等地发生,后来在新疆地区也出现了该类病害<sup>[146]</sup>。2017 年 Noda 等首次报道了苹果坏死花叶病毒 *Apple necrotic mosaic virus* (ApNMV),并阐明我国苹果主产区呈现花叶症状的苹果树主要为 ApNMV 侵染<sup>[147]</sup>。

苹果主要病毒的检测:病毒检测是近年来我国在苹果病毒领域研究的热点,已建立了 ACLSV、ASGV、ASPV、ApMV、ASSVd 的常规 RT-PCR 检测体系、可排除假阴性现象的以内标为基础的 ASSVd RT-PCR 检测技术体系、灵敏度较高的 ACLSV、ASGV、ASPV、ASSVd 实时荧光定量 RT-PCR、ASPV 的 IC-RT-PCR 检测技术,建立了 ACLSV、ASPV、ASGV 和 ASSVd 四种苹果病毒的多重 RT-PCR 检测体系,制备了 ASGV 的单克隆抗体,并应用于田间样品的检测,这些方法的开发大大提高了苹果病毒的检测灵敏度和检测效率<sup>[148-153]</sup>。

苹果种苗脱毒和药剂防治:已有研究证实,苹果砧木的种子可以携带病毒,其中八棱海棠的种子能够携带 ASGV 和 ACLSV,带毒率分别为 28% 和 9%,复合侵染率为 4%。而且,ASSVd 可侵染种子不同部位并经种子传递给后代<sup>[154-155]</sup>。这使得苹果脱毒技术更为复杂,脱毒成本较其他作物高。用 2% 的氢氧化钠溶液浸种 30 min 对八棱海棠的种子进行脱毒,ACLSV 脱除率 100%,ASGV 脱除率 82%<sup>[154]</sup>。茎尖脱毒和热处理脱毒是目前主流的脱毒技术。王淑华等建立了‘嘎拉’苹果试管苗脱毒体系,同时进行了生根移栽的研究,其中热处理与茎尖培养结合的方法脱毒率最高,ASPV 病毒脱毒率达 100%,ASGV 病毒脱除率达 81%<sup>[156]</sup>。杨艳敏等研究了苹果矮化砧木组织培养及试管苗热处理脱毒技术,不同时期的不定芽茎尖培养对不定芽的再生率和病毒脱毒率有很大的影响<sup>[157]</sup>。梁成林等发现变温热处理对 ACLSV 的脱除率最高可达 83%,化学处理 ASGV 和 ASPV 的脱除率均达到 100%,超低温处理后 ASSVd 的脱除率最高可达 76%<sup>[158]</sup>。王超研究发现,随着热处理时间的增加,茎尖生长点的成活率越来越低,脱毒率越来越高;在热处理 58 d 之后,茎尖生长点检测不到三种潜隐性病毒<sup>[159]</sup>。郭超证明变温热处理条件不同,病毒脱除效果不同,同

一热处理条件下,不同苹果基因型的病毒脱除率也不同<sup>[160]</sup>。利用 20% 吗胍·乙酸铜或 18% 丙多·吗啉胍等药剂开展病毒病的防治已经有所尝试<sup>[161-162]</sup>,但生产上推广较少,新型抗病毒制剂的研发与应用还需进一步加强。

## 2 苹果非侵染性病害

### 2.1 苹果缺素症

发生与危害:苹果树容易出现的缺素症状主要是缺钙、缺铁和缺锌,分别引起苦痘病或水心病、黄叶病和小叶病。钙在苹果生产中至关重要,可以与氮和钾并称为三大营养元素。苹果对钙的需求量较我们一般认为的三大营养元素氮磷钾还要高。每生产 1 000 kg 苹果需要吸收氮 2.5 kg,磷 0.4 kg,钾 3.2 kg,而需要吸收钙 3.7 kg。但钙在果树体内移动缓慢,且易形成不溶性钙盐沉淀并被固定。而苹果目前的主栽品种多为大型果,果实膨大速度较快,这导致果实上容易出现苦痘病和水心病等缺钙症状,土壤氮钾肥施用量大,容易抑制果树对钙的吸收,也是导致苹果缺钙的诱因<sup>[163]</sup>。苹果对缺铁比较敏感,尤其是新梢和幼叶,在春梢期和秋梢期都容易发生缺铁引起的黄叶病。影响苹果出现缺铁症状的原因主要包括砧木和品种类型、土壤性质和水肥管理措施等。用山定子和平邑甜茶作砧木易发生缺铁性黄叶病,而新疆野苹果做砧木则不易发生黄叶病。不同品种发病程度也不同,‘国光’和‘元帅’系品种发病较轻,而‘富士’系、‘金冠’、‘红玉’及红肉苹果等则发病较重。从土壤性质来看,在花岗岩及片麻岩分化形成的微酸性、中性或微碱性土壤上,较少发生黄叶病,而在以石灰石分化为为主的黏质土壤及碱性土壤上则易发病。同时,土壤有机质含量低,板结,容易积水等都容易诱发缺铁性黄叶病。在水肥管理方面,果园大水漫灌、浇水量过大或者采用滴灌的果园浇水过勤,大量降雨后果园排水不畅使果园出现积水,导致毛细根大量死亡,也都会诱发或加重缺铁性黄叶病的发生<sup>[164]</sup>。我国土壤缺锌问题比较普遍,苹果产区缺锌问题尤其突出,经检测,山东省耕地面积的 84.1% 以上缺锌,1/3 以上的苹果园有效锌含量偏低,46.2% 的苹果园发生小叶病。导致苹果树缺锌的主要原因是土壤根系集中分布层(20~40 cm)有效锌含量低;另外,土壤有机质含量、交换性钾钙含量等也与土壤锌有效性含量呈正相关,

高 pH 可降低锌的有效性及根中的锌浓度<sup>[165]</sup>。

缺素症的矫治:缺钙的矫治,目前主要通过土壤根施硝酸钙,叶面喷施氯化钙、螯合态钙、氨基酸钙等可溶性钙肥进行补钙<sup>[166-167]</sup>。而降低氮和钾肥的用量,使土壤中可溶性氮和钾的含量处于合理水平也是矫治缺钙症状的重要措施。对于缺铁性黄叶病,防治措施包括增施有机肥提高土壤有机质含量,注意科学浇水和果园排水,避免大水漫灌和长期水淹。用硫酸亚铁或螯合态铁肥采用枝干注射方式补铁,在叶绿素含量为 0.9~2.7 mg/dm<sup>2</sup> 时,注射 1 次铁肥,即可有效控制叶片黄化现象<sup>[168]</sup>。采用根施,结合叶面喷施硫酸亚铁或其他螯合态铁肥的方法也对黄化症有显著防效,但见效相对较慢,且在套袋前喷施对果面有药害风险。缺锌造成的小叶病的矫治一方面需要改良土壤,通过增施有机肥、改善土壤 pH 条件,使 pH 在中性为佳;另一方面也是以补锌为主要手段,可以采用根施、注射和叶面喷施等不同方法。硫酸锌是最常用的补锌药剂。因为锌离子不易在树体内移动,因此,从秋季落叶前就开始通过根施、喷施等方法补锌,对于下一生长季减轻小叶病危害有重要作用<sup>[169]</sup>。同时,一些产区因为使用草甘膦除草剂,使得果树出现小叶病症状,并非由缺锌所致,虽然补锌也能起到缓解作用,但还要避免使用除草剂,尤其是草甘膦和百草枯等。

## 2.2 裂果病

苹果裂果病主要症状是在果实上产生裂纹或裂缝。裂果形式有多种,有的从果实侧面纵裂,有的从梗洼裂口向果实侧面延伸,还有的从萼部裂口向侧面延伸,裂纹或裂缝多不规则,有深有浅。近年来,我国苹果产区果实发生裂果,尤其是皱裂现象发生普遍。引起苹果裂果的原因主要包括品种、套袋、缺钙、水分失调和土壤养分失调等因素。其中‘富士’品种较容易发生皱裂现象,因为其亲本为‘国光’和‘元帅’,‘国光’容易发生裂果,因此‘富士’发生裂果病有遗传因素。但从生产实践来看,套袋苹果比不套袋苹果皱裂发生更为严重。经研究发现,套袋苹果的果皮更薄,钙含量显著低于不套袋果实<sup>[170]</sup>。而且,皱裂发生不同年份间也有较大变化,比如 2016 年皱裂发生较为普遍且严重。我们对该年度 4 月到 10 月间的气象因子进行分析,发现 5 月份降水量只有常年水平的 1/4,这表明水分失调可能是导致皱裂发生较往年重的原因<sup>[171]</sup>。对发生皱裂的果园进

行调查发现,其土壤有机质含量普遍较低,一般在 1% 左右。有研究表明,通过施用有机肥,提高土壤有机质含量可以有效增加土壤持水量,当土壤有机质含量从 1% 增加到 2%,土壤持水能力可以达到 100 L/m<sup>3</sup>,土壤持水能力提高,能对降水的月份变化起到很好的缓冲左右,从而减轻裂果病的发生。为了预防裂果病的发生,可以采用的措施主要包括:增施有机肥,提高土壤有机质含量;均衡施肥,避免氮肥过量,提高钙肥的施用量;均衡浇水,尤其在春季干旱季节注意根据天气情况及时浇水防旱<sup>[171]</sup>。

## 2.3 冻害

冻害在我国苹果主产区每年都有不同程度发生,而且随着全球气候变暖,种植界限北移,花期提前,使得花期冻害的发生增加了不确定性。根据本课题组调查,2018 年春季我国花期冻害发生较为普遍,其中黄土高原种植区陕西、山西、甘肃等省份,以及黄河故道种植区的河南三门峡产区冻害发生严重,部分果园绝收,造成了严重的经济损失。据研究,花期冻害的发生与气温最大日较差 $\geq 22^{\circ}\text{C}$ ,极端最低气温 $\leq -2^{\circ}\text{C}$ ,降水量 $\leq 5\text{ mm}$ ,日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温 $\leq -14^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 等气候条件有密切关系<sup>[172]</sup>。花期冻害的预防措施主要有果园灌水延迟花期,人工烟雾法、喷灌法和气流扰动法等提高果园温度,也可以采用喷施植物生长调节剂,提高果树抗逆性的措施。春季萌芽前后灌水 2~3 次,可以使花期延迟 3~5 d。人工烟雾法应用最为普遍,通常是在预报霜冻的夜间在田间将树枝、秸秆和杂草等引燃产生暗火浓烟,目前通过机械产生烟雾预防冻害的方法也在不同地区推广应用。花期通过喷雾防冻在国外使用较为普遍,我国因设施条件限制应用范围不广。通过人工扰动气流使近地层气温升高,对于预防花期冻害有较好效果,但目前应用范围很小,仍在试验阶段<sup>[173]</sup>。施用生长调节剂是一项简便易行的冻害预防措施。今年在陕西部分果区通过花芽露红期全园喷施海藻素、赤霉素、芸薹素内酯等植物生长调节剂类物质,冻害发生后次日喷施海藻素、氨基酸和芸薹素内脂等显著提高了苹果的抗逆性,取得了良好的预防冻害效果。

## 参考文献

- [1] 中国农业科学院果树研究所,中国农业科学院柑橘研究所. 中国果树病虫害[M]. 第 2 版. 北京:中国农业出版社,1994.

- [2] 胡清玉, 胡同乐, 王亚南, 等. 中国苹果病害发生与分布现状调查[J]. 植物保护, 2016, 42(1): 175-179.
- [3] 李保华, 王彩霞, 董向丽. 我国苹果主要病害研究进展与病害防治中的问题[J]. 植物保护, 2013, 39(5): 46-54.
- [4] 桂腾茸, 姬盼, 杨毅娟, 等. 云南苹果腐烂病调查及发生规律初步研究[J]. 云南农业大学学报, 2014, 29(3): 458-462.
- [5] 袁正荣, 呼丽萍, 王秀芳, 等. 陇东南地区苹果腐烂病现状调查及防控对策[J]. 甘肃林业科技, 2013, 38(4): 20-24.
- [6] 周进华, 郭金洪, 林明极, 等. 苹果树多年生锯口腐烂病发生情况及原因[J]. 北方园艺, 2013(23): 135-137.
- [7] 薛应钰, 靳小刚, 李海军, 等. 甘肃省苹果树腐烂病发生和防治情况调查[J]. 甘肃农业大学学报, 2015, 50(6): 81-87.
- [8] WANG Xuli, ZANG Rui, YIN Zhiyuan, et al. Delimiting cryptic pathogen species causing apple Valsa canker with multilocus data [J]. Ecology and Evolution, 2014, 4(8): 1369-1380.
- [9] 殷辉, 周建波, 张志斌, 等. 山西省苹果树腐烂病菌的种群结构分析[J]. 菌物学报, 2016, 35(12): 1493-1502.
- [10] 王卫雄, 徐秉良, 薛应钰, 等. 甘肃省苹果树腐烂病菌 *Valsa mali* 培养性状及致病力研究[J]. 果树学报, 2015, 32(4): 666-671.
- [11] 刘钰娇, 王娟, 王树桐, 等. 河北省苹果树腐烂病菌遗传多样性的 RAPD 分析[J]. 中国果树, 2014(5): 20-24.
- [12] YIN Z, LIU H, LI Z, et al. Genome sequence of Valsa canker pathogens uncovers a potential adaptation of colonization of woody bark [J]. New Phytologist, 2015, 208: 1202-1216.
- [13] 祁兴华, 郭永斌, 常永旗, 等. 苹果树腐烂病菌 qPCR 检测方法的建立[J]. 河北农业大学学报, 2017, 40(6): 65-71.
- [14] 杜战涛, 李正鹏, 高小宁, 等. 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, 2013, 30(5): 819-822.
- [15] WANG Shutong, HU Tongle, WANG Yanan, et al. New understanding on infection processes of Valsa canker of apple in China [J]. European Journal of Plant Pathology, 2016, 146: 531-540.
- [16] 桂腾茸, 杨毅娟, 陈敏, 等. 苹果生长季节腐烂病发生规律研究[J]. 南方园艺, 2014, 25(4): 7-9.
- [17] 刘伟, 胡同乐, 王树桐, 等. 苹果树腐烂病斑季节扩展动态[J]. 植物保护, 2015, 41(2): 171-175.
- [18] CHEN Chong, LI Baohua, DONG Xiangli, et al. Effects of temperature, humidity, and wound age on *Valsa mali* infection of apple shoot pruning wounds [J]. Plant Disease, 2016, 100: 2394-2401.
- [19] 刘钰娇, 刘伟, 王娟, 等. 修剪工具对苹果树腐烂病菌的传播作用[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(8): 127-128.
- [20] WANG Kexi, HUANG Lili, HAN Qingmei, et al. Histological and cytological investigations of the infection and colonization of apple bark by *Valsa mali* var. *mali* [J]. Australasian Plant Pathology, 2013, 42: 85-93.
- [21] 宋娜, 戴青青, 宋娜, 等. 苹果树腐烂病菌 GTP-环化水解酶 II 基因敲除载体构建及其突变体的表型分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(15): 2980-2989.
- [22] LI Zhengpeng, YIN Zhiyuan, FAN Yanyun, et al. Candidate effector proteins of the necrotrophic apple canker pathogen *Valsa mali* can suppress BAX-induced PCD [J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6: 579.
- [23] 冯浩, 刘洋洋, 董茹青, 等. 苹果树腐烂病菌 Argonaute 基因鉴定及功能初步分析[J]. 河北农业大学学报, 2016, 39(4): 57-62.
- [24] 许春景, 吴玉星, 戴青青, 等. 苹果树腐烂病菌多聚半乳糖醛酸酶基因 *Vmpg7* 和 *Vmpg8* 的功能[J]. 中国农业科学, 2016, 49(8): 1489-1498.
- [25] 许春景, 孙迎超, 吴玉星, 等. 苹果树腐烂病菌果胶裂解酶基因 *Vmpl4* 的致病功能研究[J]. 果树学报, 2017, 34(1): 19-25.
- [26] 马晨琛, 李正鹏, 戴青青, 等. 苹果树腐烂病菌非核糖体多肽合成酶基因 *VmNRPS12* 的功能[J]. 微生物学报, 2016, 56(8): 1273-1281.
- [27] 李婷, 吴玉星, 曹克强, 等. 苹果树腐烂病菌 T-DNA 插入突变体的筛选及 *Vmzfp3* 基因的功能分析[J]. 河北农业大学学报, 2017, 40(2): 73-78.
- [28] 高明煜, 吴玉星, 朱百涛, 等. 苹果树腐烂病菌细胞色素 P450 基因 *Vmcyt5* 的功能[J]. 微生物学报, 2018, 58(2): 274-283.
- [29] 孙广宇, 卫小勇, 孙悦, 等. 苹果树腐烂病发生与叶片营养成分的关系[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(7): 107-112.
- [30] PENG H X, WEI X Y, XIAO Y X, et al. Management of Valsa canker on apple with adjustments to potassium nutrition [J]. Plant Disease, 2016, 100: 884-889.
- [31] 杨文渊, 谢红江, 陶炼, 等. 苹果树腐烂病发生与土壤养分关系的研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(33): 51-53.
- [32] 王大铭. 土壤含水量对苹果腐烂病的影响[J]. 湖北林业科技, 2015, 44(1): 26-27.
- [33] 焦浩, 范艳云, 高小宁, 等. 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, 2015, 44(10): 95-99.
- [34] 周丽梅. 三种涂抹剂防治苹果腐烂病田间药效对比试验[J]. 黑龙江农业科学, 2015(8): 65-66.
- [35] 袁军海, 李田, 陈利达, 等. 8 种杀菌剂对苹果树腐烂病田间防效评价[J]. 河北北方学院学报(自然科学版), 2017, 33(11): 60-63.
- [36] 郭永斌, 田苗, 王亚南, 等. 六种铜制剂对苹果树腐烂病菌抑制作用的持效期及影响因素[J]. 北方园艺, 2017(16): 61-67.
- [37] 张清明, 王彩霞, 王海艳, 等. 苹果树腐烂病内生拮抗放线菌 A-2 的鉴定及其活性评价[J]. 农药学报, 2013, 15(3): 286-292.
- [38] LI Zhengpeng, GAO Xiaoning, KANG Zhensheng, et al. *Saccharothrix yanglingensis* strain Hhs. 015 is a promising biocontrol agent on apple Valsa canker [J]. Plant Disease, 2016, 100(2): 510-514.
- [39] 颜霞, 张亚男, 刘聪, 等. 生防菌 Hhs. 015 对苹果枝条皮层内生细菌区系的影响[J]. 果树学报, 2017, 34(9): 1170-1177.
- [40] 范东颖, 赵赵云, 黄丽丽, 等. 生防菌 Hhs. 015 防止苹果腐烂菌侵染寄主的组织学与细胞学研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(10): 126-132.
- [41] 邓振山, 马亚茹, 何园, 等. 苹果树内生菌筛选及其对苹果腐烂病防治效果[J]. 微生物学杂志, 2016, 36(4): 16-21.
- [42] 吴玉星, 纪明山, 周宗山, 等. 苹果树皮内生细菌 HFn3 的筛选及其对苹果树腐烂病的防治作用[J]. 中国果树, 2013(3): 33-35.

- [43] 王卫雄, 徐秉良, 薛应钰, 等. 苹果树腐烂病拮抗细菌鉴定及其抑菌作用效果测定[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(10): 1214-1221.
- [44] ZHANG Junxiang, GU Yanbing, CHI Fumei, et al. *Bacillus amyloliquefaciens* GBI can effectively control apple Valsa canker [J]. Biological Control, 2015, 88(1): 1-7.
- [45] 胡清玉, 刘力伟, 刘欣, 等. 木美土里生物菌肥对苹果树腐烂病的防治作用评价[J]. 中国果树, 2015(4): 52-55.
- [46] WANG Yong, SUN Yang, HAN Lirong, et al. Potential use of cuminic acid as a botanical fungicide against *Valsa mali* [J]. Microbial Pathogenesis, 2017, 106: 9-15.
- [47] 任洁, 王树桐, 胡同乐, 等. 苹果轮纹病危害损失评价[J]. 河南农业科学, 2014, 43(7): 90-92.
- [48] 贾广成, 周增强, 侯琿, 等. 苹果轮纹病菌的多基因联合鉴定[J]. 生物技术通报, 2013(7): 161-165.
- [49] XU Chao, WANG Chunsheng, JU Liangliang, et al. Multiple locus genealogies and phenotypic characters reappraise the causal agents of apple ring rot in China [J/OL]. Fungal Diversity, 2015, DOI 10.1007/s13225-014-0306-5.
- [50] 肖洲烨, 李保华, 国立耘. 葡萄座腔菌 (*Botryosphaeria dothidea*) 的有性阶段在我国苹果主产区的发生[J]. 果树学报, 2013, 30(6): 1005-1010.
- [51] ZHAO Xu, ZHANG Gaolei, LI Baohua, et al. Seasonal dynamics of *Botryosphaeria dothidea* infections and symptom development on apple fruits and shoots in China [J]. European Journal of Plant Pathology, 2016, 146(3): 507-518.
- [52] GUAN Yeqing, CHANG Ruifeng, LIU Guojian, et al. Role of lenticels and microcracks on susceptibility of apple fruit to *Botryosphaeria dothidea* [J]. European Journal of Plant Pathology, 2015, 143(2): 317-330.
- [53] CUI Meisha, YANG Lili, HAN Yuanyuan, et al. Genetic mapping reveals sophisticated responses of *Malus domestica* to *Botryosphaeria dothidea* isolates [J]. Journal of Phytopathology, 2015, 163(1): 42-53.
- [54] HAN Qingmei, GAO Xiaoning, WANG Jingqun, et al. Cytological and histological studies of the interaction between *Botryosphaeria dothidea* and apple twigs [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 202: 142-149.
- [55] 杨华, 李广旭, 张广仁, 等. 苹果砧木和野生资源对苹果轮纹病菌的抗性鉴定[J]. 中国果树, 2015(1): 62-64.
- [56] 刘璟, 孙洪圳, 李保华, 等. 不同苹果品种(系)枝干轮纹病抗性鉴定及机制研究[J]. 山东农业科学, 2015, 47(6): 87-92.
- [57] 侯琿, 张恒涛, 周增强, 等. 苹果种质资源对枝干轮纹病抗性评价[J]. 园艺学报, 2017, 44(8): 1559-1568.
- [58] 崔镁沙, 庄艳, 申飞, 等. 苹果果实轮纹病抗病性 QTL 定位及相关基因的初步预测[J]. 果树学报, 2014, 31(5): 793-800.
- [59] 王彦荣, 胡同乐, 曹克强. 5 种杀菌剂对苹果轮纹病菌的室内毒力测定及田间药效试验[J]. 中国果树, 2013(3): 55-58.
- [60] 张伟, 亓超, 王英姿, 等. 苯醚甲环唑与克菌丹混配苹果轮纹病的增效作用研究[J]. 中国果树, 2015(3): 54-57.
- [61] 沈倩, 范军印, 郭强, 等. 波尔多液防治苹果轮纹病的持效期及其影响因素研究[J]. 河南农业科学, 2015, 44(4): 97-100.
- [62] 朱小琼, 安久栋, 段越琛, 等. 6 种杀菌剂对苹果枝干轮纹病的防治效果[J]. 中国果树, 2016(3): 38-42.
- [63] 唐兴敏, 任立瑞, 杨金凤, 等. 6 种铜制剂对苹果轮纹病菌的抑制作用持效期及其影响因素[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(5): 163-166.
- [64] 王丽, 周增强, 侯琿. 三唑类杀菌剂对苹果主要病原菌的毒力及田间防效[J]. 河南农业科学, 2016, 45(7): 82-86.
- [65] 洪晨. Strobilurins 类杀菌剂对苹果病害的防控作用[J]. 农药, 2016, 55(9): 700-702.
- [66] 刘保友, 张伟, 栾炳辉, 等. 苹果轮纹病菌对苯醚甲环唑和氟硅唑的敏感性及其交互抗性[J]. 植物病理学报, 2013, 43(5): 541-548.
- [67] 范昆, 曲健禄, 李林光, 等. 苹果轮纹病菌对戊唑醇的敏感基线及其室内抗药突变体研究[J]. 果树学报, 2013, 30(4): 650-656.
- [68] 范昆, 李晓军, 张勇, 等. 山东省苹果轮纹病菌对三种三唑类杀菌剂的敏感性检测[J]. 植物保护, 2013, 39(1): 133-136.
- [69] 刘保友, 亓超, 张伟, 等. 6 种生物杀菌剂对苹果轮纹病菌室内毒力测定[J]. 中国园艺文摘, 2014(10): 38-40.
- [70] 周小琪, 曹成亮, 丁盼, 等. 拮抗放线菌 KLBMPO6061 的鉴定及其对苹果轮纹病菌的抑菌作用[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(12): 138-143.
- [71] 黄玲玲, 裴纪莹, 唐琳, 等. 解淀粉芽孢杆菌 NCPSJ7 对采后苹果轮纹病的生物防治作用[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(2): 20-24.
- [72] 任凤山, 王燕, 翟一凡, 等. 木霉与几种化学杀菌剂协同防治苹果轮纹病[J]. 北方园艺, 2015(16): 111-115.
- [73] GE Beibei, LIU Binghua, NWET T T, et al. *Bacillus methylotrophicus* strain NKG-1, isolated from Changbai mountain, China, has potential applications as a biofertilizer or biocontrol agent [J/OL]. PLoS ONE, 2016, 11(11): e0166079.
- [74] 王午可. 两种涂干剂对苹果枝干轮纹病的防治作用研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2017.
- [75] LI Ying, ALDWINCKLE H S, TURNER S, et al. Interactions of apple and the *Alternaria alternata* apple pathotype [J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2013, 32(3): 141-150.
- [76] 胡同乐, 曹克强, 王树桐, 等. 生长季苹果斑点落叶病流行主导因素的确定[J]. 植物病理学报, 2005, 35(4): 374-377.
- [77] 胡同乐, 王树桐, 宋萍, 等. 苹果斑点落叶病菌大量侵染的决定性天气条件初探[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(1): 63-66.
- [78] 白燕荣, 惠永强, 林彩艳. 洛川苹果斑点落叶病与气象要素的关系[J]. 陕西气象, 2017(6): 11-14.
- [79] 张彩霞, 张利义, 田义, 等. 苹果叶片应答斑点落叶病菌胁迫的蛋白质组学分析[J]. 植物病理学报, 2014, 44(4): 438-442.
- [80] 魏萌涵, 倪维晨, 竹龙鸣, 等. 苹果叶片受斑点落叶病菌侵染过程中细胞  $Ca^{2+}$  定位及 MdCPK 的表达[J]. 园艺学报, 2015, 42(11): 2113-2122.
- [81] 王昆, 龚欣, 刘立军, 等. 苹果地方品种资源苹果斑点落叶病抗性调查与评价[J]. 中国果树, 2015(5): 81-84.
- [82] 刘保友, 王英姿, 张伟, 等. 苹果斑点落叶病病菌对多抗毒素的

- 抗药性及其地理分布[J]. 中国果树, 2013(4): 49-51.
- [83] 李梦姣, 王振军, 曲涛, 等. 苯醚甲环唑与 2-巯基苯并噻唑锰锌混配剂对苹果斑点落叶病的联合毒力及田间防效[J]. 中国园艺文摘, 2016(11): 45-46.
- [84] 刘保友, 王英姿, 衣先家, 等. 苯醚甲环唑与克菌丹混配防治苹果斑点落叶病的增效作用[J]. 中国果树, 2018(1): 63-66.
- [85] 杜晓蕾, 刘欣, 胡同乐, 等. 6 种杀菌剂对苹果斑点落叶病的保护和治理作用时限研究[J]. 河南农业科学, 2015, 44(11): 89-92.
- [86] XU X M, MADDEN L V. Incidence and density relationships of powdery mildew on apple [J]. *Phytopathology*, 2002, 92: 1005-1014.
- [87] 孔宝华, 姬盼, 马学林, 等. 云南苹果病害的调查与鉴定[J]. 云南农业大学学报, 2014, 29(1): 135-139.
- [88] 杨军玉, 王亚南, 王晓燕, 等. 2011-2012 年全国苹果病虫害发生概况和用药情况统计分析[J]. 北方园艺, 2013(12): 124-127.
- [89] 段淋渊, 周军, 王大玮, 等. 苹果白粉病危害防治及抗性资源研究进展[J]. 西南林业大学学报, 2015, 35(5): 104-109.
- [90] 闫相如, 张瑜, 胡同乐, 等. 导致苹果白粉病严重发生的关键气象因素分析[J]. 河北林果研究, 2017, 32(2): 155-163.
- [91] 都贝贝, 陈秀孔, 杜小丽, 等. 苹果白粉病的抗性评价[J]. 中国农学通报, 2011, 27(31): 256-259.
- [92] 刘振中, 王雷存, 高华, 等. 苹果白粉病抗性研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(4): 177-180.
- [93] 郑伟, 王彬, 吴亚维, 等. 不同杀菌剂对苹果白粉病菌的室内毒力测定[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(9): 131-132.
- [94] GAO L L, ZHANG Q, SUN X Y, et al. Etiology of moldy core, core browning, and core rot of Fuji apple in China [J]. *Plant Disease*, 2013, 97: 510-516.
- [95] 白滨, 文朝慧, 何苏琴. 甘肃省一例苹果霉心病病原鉴定[J]. 微生物学通报, 2012, 39(10): 1457-1463.
- [96] 刘勇, 冷怀琼. 苹果霉心病菌 (*Alternaria* spp.) 越冬和侵入研究[J]. 四川农业大学学报, 1990, 8(2): 136-140.
- [97] 冷怀琼, 刘勇. 苹果霉心病菌在芽中越冬的研究[J]. 植物病理学报, 1992, 22(1): 48.
- [98] 呼丽萍, 马春红, 张健, 等. 苹果霉心病菌的侵染过程[J]. 植物病理学报, 1995, 25(4): 351-356.
- [99] 呼丽萍, 谭维军, 杨光明, 等. 苹果霉心病与果实结构关系的研究[J]. 中国果树, 1995(1): 30-32.
- [100] 李庆亮, 李捷, 李夏鸣, 等. 不同品种苹果对苹果霉心病的抗性差异及生理生化机制研究[J]. 农学学报, 2017, 7(6): 56-62.
- [101] 杨焯, 闫红豆, 王雪静, 等. 疏花对‘斗南’苹果霉心病防治效果的影响[J]. 北方园艺, 2014(2): 116-118.
- [102] 党继玲, 马志超, 张荣, 等. 不同药剂对苹果霉心病和心腐病菌室内抑菌效果评价[J]. 西北农林科技大学学报, 2015, 43(1): 147-151.
- [103] 韩立新, 王红艳, 刘振西. 花期防治苹果霉心病田间药效试验[J]. 山西果树, 2011(3): 5-6.
- [104] MAZZOLA M. Elucidation of the microbial complex having a causal role in the development of apple replant disease in Washington [J]. *Phytopathology*, 1998, 88(9): 930-938.
- [105] 梁魁景, 王树桐, 胡同乐, 等. 河北省苹果主要病虫害发生现状调查[J]. 植物保护, 2010, 36(5): 123-127.
- [106] MAZZOLA M, MANICI L M. Apple replant disease: Role of microbial ecology in cause and control [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2012, 50(1): 45-65.
- [107] 邹庆甲, 王树桐, 梁魁景, 等. 河北省苹果园根际土壤中疑似致病镰孢菌种类[J]. 菌物学报, 2014, 33(5): 976-983.
- [108] TEWOLDEMEDHIN Y T, MAZZOLA M, LABUSCHAGNE I, et al. A multi-phasic approach reveals that apple replant disease is caused by multiple biological agents, with some agents acting synergistically [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2011, 43: 1917-1927.
- [109] DULLAHIDE S R, STIRLING G R, NILKULIN A, et al. The role of nematodes, fungi, bacteria and abiotic factors in the etiology of apple replant problems in the Granite Belt of Queensland [J]. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1994, 34(8): 1177-1182.
- [110] 尹承苗, 王玫, 王嘉艳, 等. 苹果连作障碍研究进展[J]. 园艺学报, 2017, 44(11): 2215-2230.
- [111] 尹承苗, 胡艳丽, 王功帅, 等. 苹果连作土壤中主要酚酸类物质对平邑甜茶幼苗根系的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(5): 961-969.
- [112] 尹承苗. 连作苹果园土壤酚酸类物质的分布及其对真菌的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [113] 姜伟涛, 尹承苗, 段亚楠, 等. 根皮苷和串珠镰孢菌加重苹果连作土壤环境及其对平邑甜茶生长的抑制[J]. 园艺学报, 2018, 45(1): 21-29.
- [114] 吕毅, 宋富海, 李园园, 等. 轮作不同作物对苹果园连作土壤环境及平邑甜茶幼苗生理指标的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(14): 2830-2839.
- [115] MAZZOLA M, GU Y H. Impact of wheat cultivation on microbial communities from replant soils and apple growth in greenhouse trials [J]. *Phytopathology*, 2000, 90: 114-119.
- [116] MANICI L, KELDERER M, CAPUTO F, et al. Impact of cover crop in preplant of apple orchards: relationship between crop health, root inhabiting fungi and rhizospheric bacteria [J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2015, 95: 947-958.
- [117] 李家家, 相立, 潘凤兵, 等. 平邑甜茶幼苗与葱混作对苹果连作土壤环境的影响[J]. 园艺学报, 2016, 43(10): 1853-1862.
- [118] KELDERER M, MANICI L M, CAPUTO F, et al. Planting in the ‘inter-row’ to overcome replant disease in apple orchards: a study on the effectiveness of the practice based on microbial indicators [J]. *Plant & Soil*, 2012, 357(2): 381-393.
- [119] 展星. 风干冻融条件下土层置换对连作苹果园土壤微生物的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [120] CAPUTO F, NICOLETTI F, PICIONE F D L, et al. Rhizospheric changes of fungal and bacteria communities in relation to soil health of multi-generation apple orchards [J]. *Biological Control*, 2015, 88: 8-17.

- [121] JAFFEE B A, ABAWI G S, MAI W F. Role of soil microflora and *Pratylenchus penetrans* in an apple replant disease [J]. *Phytopathology*, 1982, 72(2): 247 - 251.
- [122] KATAN J. Solar pasteurization of soils for disease control: status and prospects [J]. *Plant Disease*, 1980, 64(5): 450 - 454.
- [123] KATAN J. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 1981, 19(4): 211 - 236.
- [124] GHINI R. A solar collector for soil disinfestation [J]. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 1993, 99(1): 45 - 50.
- [125] MAI W F, ABAWI G S. Controlling replant diseases of pome and stone fruits in northeastern United States by preplant fumigation [J]. *Plant Disease*, 1981, 65(11): 859 - 864.
- [126] 刘超. 棉隆熏蒸加海藻菌肥对连作平邑甜茶幼苗及土壤微生物数量的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [127] MAZZOLA M, GRANATSTEIN D M, ELFVING D C, et al. Suppression of specific apple root pathogens by *Brassica napus* seed meal amendment regardless of glucosinolate content [J]. *Phytopathology*, 2001, 91(2): 673 - 679.
- [128] MAZZOLA M, GU Y H, GULLINO M L, et al. Phyto-management of microbial community structure to enhance growth of apple in replant soils [J]. *Phytopathology*, 2002, 92(12): 1363 - 1366.
- [129] MAZZOLA M, MULLINIX K. Comparative field efficacy of management strategies containing *Brassica napus* seed meal or green manure for the management of apple replant disease [J]. *Plant Disease*, 2005, 89: 1207 - 1213.
- [130] MAZZOLA M, HEWAVITHARANA S S, STRAUSS S L. *Brassica* seed meal soil amendments transform the rhizosphere microbiome and improve apple production through resistance to pathogen reinfestation [J]. *Phytopathology*, 2015, 105(4): 460 - 469.
- [131] 王晓芳, 徐少卓, 王玫, 等. 万寿菊生物熏蒸对连作苹果幼苗和土壤微生物的影响[J]. *土壤学报*, 2018, 55(1): 213 - 223.
- [132] MAZZOLA M, BROWN J, ZHAO X, et al. Interaction of brassicaceous seed meal and apple rootstock on recovery of *Pythium* spp. and *Pratylenchus penetrans* from roots grown in replant soils [J]. *Plant Disease*, 2009, 93(1): 51 - 57.
- [133] 刘力伟, 刘丽媛, 胡同乐, 等. 荧光假单胞菌 SS101 对苹果再植病害的生防效果[J]. *植物保护学报*, 2016, 43(5): 812 - 818.
- [134] KANDULA D R W, JONES E E, HORNER I J, et al. The effect of *Trichoderma* bio-inoculants on specific apple replant disease (SARD) symptoms in apple rootstocks in New Zealand [J]. *Australasian Plant Pathology*, 2010, 39(4): 312 - 318.
- [135] 王洋娟. 微生物菌肥对苹果树体生长及病害防控的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [136] 刘胜. 复合生物菌剂对苹果再植病害的防控效果研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2017.
- [137] 朱延焯. 木美土里复合微生物菌剂对苹果连作障碍的防控效果[D]. 保定: 河北农业大学, 2018.
- [138] 冀志蕊. 我国苹果主要病毒的检测及苹果褪绿叶斑病毒分子变异研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.
- [139] 郭瑞, 李世访, 董雅凤, 等. 苹果锈果类病毒辽宁分离物的克隆与序列分析[J]. *植物病理学报*, 2005, 35(5): 472 - 474.
- [140] 赵英, 牛建新. 苹果锈果类病毒新疆分离物的克隆和序列分析[J]. *果树学报*, 2006, 23(6): 896 - 898.
- [141] 马伟, 姜冬梅, 陈丽芳, 等. 苹果锈果类病毒山东栖霞分离物的分子鉴定及序列分析[J]. *植物保护*, 2011, 37(2): 91 - 94.
- [142] 杨金凤, 郭永斌, 胡同乐, 等. 河北保定地区苹果锈果类病毒分离物的序列分析[J]. *北方园艺*, 2016(6): 103 - 106.
- [143] 郝璐, 叶婷, 陈善义, 等. 我国北方部分苹果主产区病毒病的发生与检测[J]. *植物保护*, 2015, 41(2): 158 - 161.
- [144] 赵英, 牛建新. 苹果凹果类病毒 (ADFVd) 的检测与序列分析[J]. *果树学报*, 2008, 25(5): 682 - 685.
- [145] YE T, CHEN S Y, WANG R, et al. Identification and molecular characterization of *Apple dimple fruit viroid* in China [J]. *Journal of Plant Pathology*, 2013, 95: 637 - 641.
- [146] 赵英, 牛建新. 新疆苹果皱果类病毒 (AFCVd) 的检测与序列分析[J]. *农业生物技术学报*, 2009, 17(1): 164 - 169.
- [147] NODA H, YAMAGISHI N, YAEGASHI H, et al. Apple necrotic mosaic virus, a novel ilarvirus from mosaic-diseased apple trees in Japan and China [J]. *Journal of General Plant Pathology*, 2017: 1 - 8.
- [148] 吕运霞, 李楠, 王亚迪, 等. 利用内标为基础的苹果锈果类病毒 RT-PCR 检测技术[J]. *河北林果研究*, 2017, 32(1): 51 - 56.
- [149] 杨金凤, 吕运霞, 唐兴敏, 等. 苹果锈果类病毒 RT-PCR 检测体系的建立[J]. *中国果树*, 2015(5): 62 - 67.
- [150] 秦子禹, 孙建设, 王娜, 等. 苹果茎痘病毒 TaqMan 探针实时荧光定量 RT-PCR 检测方法的建立[J]. *园艺学报*, 2015, 42(7): 1400 - 1408.
- [151] 吴然, 李君英, 邵建柱, 等. 苹果锈果类病毒实时荧光 PCR 检测方法的建立[J]. *果树学报*, 2015, 32(1): 150 - 155.
- [152] 李丽丽, 付耕云, 杨洪一. 苹果茎痘病毒的 IC-RT-PCR 检测[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(5): 63 - 65.
- [153] 王鹏, 李玉, 李世访. 利用 Real-time RT-PCR 方法检测苹果中苹果茎沟病毒[J]. *植物保护*, 2013, 39(3): 102 - 107.
- [154] 乔雪华, 郭超, 邵建柱, 等. 八棱海棠种子潜带病毒检测及理化处理对其带毒状况的影响[J]. *果树学报*, 2013, 30(3): 489 - 492.
- [155] 郭超, 邵建柱, 乔雪华, 等. 苹果锈果类病毒在八棱海棠种子中的分布及氢氧化钠脱毒效果分析[J]. *植物保护学报*, 2014, 41(3): 342 - 345.
- [156] 王淑华. ‘嘎啦’苹果试管苗脱毒体系建立及生根移栽研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [157] 杨艳敏, 魏永祥, 刘成, 等. 苹果矮化砧木组织培养及脱病毒技术[J]. *北方园艺*, 2016(4): 107 - 112.
- [158] 梁成林, 赵玲玲, 宋来庆, 等. 几种苹果实生砧木种子传毒潜力检测[J]. *果树学报*, 2014, 31(6): 1164 - 1169.
- [159] 王超. 苹果品种及砧木脱毒和快繁体系建立[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.

- [105] 陈恒铨, 詹岚. 棉田种植诱集带诱杀棉铃虫的效果[J]. 新疆农业科学, 1989(6): 26.
- [106] 张明智. 高粱诱杀棉铃虫三代幼虫[J]. 新疆农业科技, 1999(4): 22.
- [107] 阿克旦·吾外士, 李号宾, 马祁, 等. 棉铃虫卵诱集植物选择试验[J]. 植物保护, 2005, 31(3): 77-78.
- [108] 李红平. 食诱剂诱杀棉铃虫成虫在伊犁地区的推广应用现状及建议[J]. 农业工程技术, 2016, 36(5): 39.
- [109] 修春丽, 栗爱丽, 路伟, 等. 棉铃虫食诱剂的田间诱捕效果[J]. 应用昆虫学报, 2018, 55(1): 44-48.
- [110] 郁红霞, 王孝法. 佳多频振式杀虫灯对棉田害虫的控害效果[J]. 新疆农垦科技, 2006(4): 33-34.
- [111] 赵晓燕, 曹健, 李文林. 频振式杀虫灯诱杀棉铃虫效果显著[J]. 新疆农业科技, 2003(S1): 43.
- [112] 徐遥, 杨秀荣, 苗昌辉, 等. 新疆棉花主要害虫对几种杀虫剂的抗药性测定[J]. 西北农业学报, 2004, 13(2): 74-78.
- [113] 郭天凤, 马野萍, 丁荣荣, 等. 新疆主要植棉区棉蚜对吡虫啉和啶虫脒的抗性评价[J]. 中国棉花, 2012, 39(12): 4-5, 10.
- [114] 崔丽, 张靖, 齐浩亮, 等. 我国棉花主产区棉蚜对吡虫啉的抗性监测及抗性机理[J]. 昆虫学报, 2016, 59(11): 1246-1253.
- [115] MA D Y, GORMAN K, DEVINE G, et al. The biotype and insecticide-resistance status of whiteflies, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), invading cropping systems in Xinjiang Uygur Autonomous region, northwestern China [J]. Crop Protection, 2007, 26: 612-617.
- [116] 段晓东, 张新, 冯明星, 等. 新疆 B 型烟粉虱对不同类型杀虫剂的敏感性测定与分析[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(7): 1343-1347.
- [117] YANG Y H, LI Y P, WU Y D. Current status of insecticide resistance in *Helicoverpa armigera* after 15 years of Bt cotton planting in China [J]. Journal of Economical Entomology, 2013, 106(1): 375-381.
- [118] 郭天凤, 史雪岩, 高希武, 等. 棉蚜啶虫脒抗性种群交互抗性和增效剂增效作用的研究[J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(3): 819-826.
- [119] 李海江, 刘政. 不同种农药防治棉花苗期病虫害药效研究[J]. 现代农业科技, 2013(6): 120.
- [120] 张超, 唐文文. 新疆生产建设兵团棉花植保机械化技术试验推广现状、问题及对策[J]. 农垦机械化, 2017(1): 110, 114.
- [121] 赵冰梅. 棉田害虫防治中的科学用药实践[J]. 中国植保导刊, 2012, 32(11): 33-35.
- [122] 巩春源. 新疆棉区无人机植保分析及发展对策[J]. 农业开发与装备, 2017(4): 87, 125-126.
- [123] 赵冰梅, 马江锋, 何卫疆, 等. 50% 氟啶虫胺腈 WG 对棉蚜的田间防治效果[J]. 中国植保导刊, 2013, 33(6): 56-58.
- [124] 赵冰梅, 张强, 朱玉永, 等. 多旋翼植保无人机在棉蚜防治中的应用效果[J]. 中国植保导刊, 2017, 37(2): 61-63.
- [125] 赵冰梅, 张强, 朱玉永. 无人机低空喷雾氟啶虫胺腈防治棉花蚜虫效果[J]. 农药科学与管理, 2017, 38(2): 54-57.
- [126] 吴孔明. 中国农业害虫绿色防控发展战略[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [127] 陆宴辉, 赵紫华, 蔡晓明, 等. 我国农业害虫综合防治研究进展[J]. 应用昆虫学报, 2017, 54(3): 349-363.
- [128] 陆宴辉, 梁革梅. Bt 作物系统害虫发生演替研究进展[J]. 植物保护, 2016, 42(1): 7-11.
- [129] 郭文超, 张祥林, 吴卫, 等. 新疆农林外来入侵生物的发生现状、趋势及其研究进展[J]. 生物安全学报, 2017, 26(1): 1-11.
- [130] 陆宴辉, 张建萍, 王佩玲, 等. 新疆地区首次发现绿盲蝽严重为害农作物[J]. 植物保护, 2014, 40(6): 189-192.
- [131] 李海强, 李金花, 杨龙, 等. 棉铃虫为害核桃树调查初报[J]. 中国植保导刊, 2017, 37(9): 44-45.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 25 页)

- [160] 郭超, 吴然, 邵建柱, 等. 四个苹果砧木和品种苹果潜隐性病毒的变温热处理脱毒效果分析[J]. 北方园艺, 2014(17): 130-134.
- [161] 田世恩. 病毒特防治苹果病毒病的试验[J]. 落叶果树, 2013, 45(3): 35-36.
- [162] 田世恩, 杨秀光, 李富强, 等. 抑毒星防治苹果病毒病药效试验[J]. 烟台果树, 2014(3): 18-19.
- [163] 木生. 缺钙与苹果苦痘病发病机理的新观点[J]. 烟台果树, 2013(2): 1-3.
- [164] 秦素洁, 陈东明. 苹果缺铁性黄叶病成因分析及综合防治策略[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(1): 72-74.
- [165] 姜远茂, 顾曼如, 束怀瑞. 山东省苹果园土壤营养成分分析[J]. 果树科学, 1997, 14(S1): 35-37.
- [166] 李敏, 厉恩茂, 李壮, 等. 氨基酸钙叶面微肥对苹果缺素症的矫正及果实品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(11): 180-182.
- [167] 聂佩显, 余贤美, 王兆顺, 等. 不同钙制剂和喷施时间对苹果苦痘病发病率及果实品质的影响[J]. 河南农业科学, 2017, 21(4): 47-49.
- [168] 苏律, 宋俊霞, 胡同乐, 等. 铁肥不同施用方式对苹果缺铁黄化病的矫正效果[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 188-189.
- [169] 贾永华, 牛锐敏, 李晓龙, 等. 我国苹果锌营养研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(28): 11261-11263.
- [170] 刘铁铮, 付雅丽, 智福军, 等. 红富士苹果果实裂纹的研究[J]. 天津农业科学, 2011, 17(1): 71-74.
- [171] 曹克强, 王树桐, 胡同乐. 苹果病虫害防控研究进展(第 6 卷)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- [172] 屈振江, 周广胜, 魏钦平. 苹果花期冻害气象指标和风险评估[J]. 应用气象学报, 2016, 27(4): 385-395.
- [173] 孙智辉, 马远飞, 高志斌, 等. 洛川苹果花期冻害气候特征及人工防霜可行性探讨[J]. 农学学报, 2015, 5(11): 109-112.

(责任编辑: 田 喆)