

王超,章利华,张停林,等.从病程角度阐释有机种植作物病害防控策略[J].江苏农业科学,2019,47(4):86-90.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.04.019

从病程角度阐释有机种植作物病害防控策略

王超¹,章利华²,张停林³,黄思杰¹,田伟¹,王磊¹,席运官¹,肖兴基¹

(1. 环境保护部南京环境科学研究所,江苏南京 210042; 2. 南京农业大学,江苏南京 210095;

3. 上海市青浦区蔬菜技术推广站,上海 201700)

摘要:植物病原物侵染农作物,会引起病害,影响作物正常生长发育,造成作物品质和产量损失。化学药剂防治是常规种植中作物病害防治的主要手段,有机种植禁止使用化学农药,科学确立作物病害防控技术对有机农业的可持续发展具有重要意义。从植物病原物侵染过程的接触期、侵入期、潜育期和发病期分别探讨限制病原物侵入作物、减少侵入作物病原物数量、调控病原物侵染和增殖的环境、应用治愈性方法减轻病害症状等针对性防控策略,并结合国内外实践案例详述技术措施,旨在为有机种植作物病害防控提供新的思路 and 手段。

关键词:植物病原物;病程;有机种植;作物病害防控策略

中图分类号: S432 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)04-0086-05

有机农业是指遵照特定的农业生产原则,在生产中不采用基因工程获得的生物及其产物,不使用化学合成的农药、化肥、生长调节剂、饲料添加剂等物质,遵循自然规律和生态学原理,协调种植业和养殖业的平衡,采用一系列可持续的农业技术以维持持续稳定的农业生产体系的一种农业生产方式^[1]。近年来,全球有机农业发展迅速,截至 2014 年底,全球有机认证土地面积达 4 370 万 hm^2 ,全球有机产品销售额达到 800 亿美元^[2]。随着我国有机产业的不断发展,截至 2015 年底,依据我国有机标准进行生产的有机种植面积达 92.7 万 hm^2 ^[3]。农作物病害是农业生产上重要的生物灾害,是制约农业可持续发展的主要因素之一,据联合国粮农组织估计,世界粮食生产因植物病害造成的年损失约为总产量的 10%^[4]。科学确立作物病害防控技术对我国有机种植的可持续发展具有重要意义。

目前,我国常规作物种植中防治病害主要依赖化学防治措施,在控制病害损失的同时也带来了病害抗药性上升和病害暴发概率增加等问题。2015 年农业部制定了《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》,明确了“控、替、精、统”技术路径,推广应用生态调控、生物防治、物理防治、科学用药等绿色防控技术。与常规种植相比,有机种植中病害防治要求从农业生态系统出发,综合运用各种防治措施,创造不利于病原物孳生和有利于天敌繁衍的环境条件,保持农业生态系统的平衡和生物多样性,减少各类病害造成的损失;优先采用农业措施,通过选用抗病品种、非化学药剂种子处理、培育壮苗、加强栽培管理、耕翻晒垡、清洁田园、轮作倒茬、间作套种等一系列

措施,在上述措施不能有效控制病害时,可使用标准规定的植物保护产品^[1]。

植物病原物侵染植物的过程称为病程,指病原物与寄主植物可侵染部位接触,并侵入寄主植物,在植物体内繁殖和扩展,然后发生致病作用,显示病害症状的过程。病原物的侵染是一个连续性的过程,人为地分为接触期、侵入期、潜育期和发病期^[5]。结合有机产品标准要求及植物病原物病程 4 个时期的特点,此处笔者分别阐释有机种植作物病害控制的 4 项基本策略:(1)通过种植前措施阻止病原物与作物接触,限制病原物侵入作物;(2)减少侵入作物的病原物数量;(3)调控病原物侵染和增殖环境,降低寄主作物及其侵染和增殖环境的适应性来调控病原物增殖;(4)应用治愈性方法限制病原物进一步扩散,减轻症状;同时综述国内外相关的病害防控技术与实践。

1 阻止病原物与作物接触

植物病原物侵染过程的接触期指病原物在侵入寄主之前和寄主植物可侵染部位的初次直接接触^[5]。可以通过轮作、调整种植时间、深耕等措施对寄主作物与病原物进行时间与空间上的隔离,阻止病原物与作物接触;对于病毒等病原物可以切断昆虫等传播载体的传播路径。

1.1 时间隔离

作物轮作是在时间上隔离植物病原物和作物的一种常用方法。作物轮作可以阻止植物病原菌逐年累积,使多种病原菌自然退化^[6]。葱属植物可以释放脂肪族二硫化物,毒杀植物病原物,生产实践中常被用作轮作植物^[7]。大蒜和烤烟轮作,大蒜根系分泌的抑菌物质可降低烟草黑胫病的发生和危害^[8];轮作年限超过 3 年,轮作木薯可有效防治香蕉枯萎病^[9];香蕉与韭菜轮作可以有效控制香蕉巴拿马病(由 *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* 引起)^[6]。王夏雯等发现,西瓜-稻麦轮作是缓解西瓜枯萎病发生的一种有效措施^[10]。我国有机产品标准也对轮作做出了明确要求,除冬季休耕地地区外,种植一年生作物应进行 3 种以上作物轮作^[1]。有机种

收稿日期:2018-06-19

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务专项(编号:GYZX170307);云南省环保公益专项(编号:45012)。

作者简介:王超(1989—),男,山东临沂人,博士,主要从事有机种植病虫害防治、土壤健康及相关机理研究。Tel:(025) 85287062;E-mail:wcofrec@126.com。

通信作者:席运官,博士,研究员,主要从事生态农业研究。E-mail:xygofrec@126.com。

植中选择多年生草类或苜蓿等豆科作物进行轮作,有利于维持土壤的健康状态^[11]。

调整种植时间,避开植物病害的流行发生时期。有机马铃薯种植中可适当提前催芽,种植早熟马铃薯品种,在晚疫病蔓延时及时采收薯块,避免晚疫病引起的严重损失^[12]。适当推迟冬油菜播种期,有利于控制根肿病,降低田间根肿菌总的菌源量^[13]。播期是影响玉米粗缩病发生的重要因素,适当早播和晚播,避免玉米苗期与 1 代灰飞虱成虫发生高峰期相遇,可预防玉米粗缩病的暴发^[14]。

1.2 空间隔离

空间隔离是指将植物病原物与感病寄主作物在空间上隔离开来,比如通过自然植被或种植防风林进行农田间的横向隔离,以及深耕掩埋病株残体进行纵向隔离等^[6,15]。我国有机产品标准要求有机和常规生产区域之间设置有效的植物缓冲带或物理屏障以规避污染风险,也能起到隔离植物病原物的作用^[6]。深耕可以使植物病原菌远离感病作物,许多双子叶植物的白霉(由 *Sclerotinia sclerotiorum* 引起)可以通过掩埋菌核控制^[16]。

1.3 病毒介体控制

植物病毒通常依赖于昆虫介体的取食和扩散进行传播,半翅目蚜科和粉虱科昆虫是传毒的主要介体^[17]。阻断昆虫介体的传播途径是防治植物病毒病的根本措施,可通过减少虫源和限制介体的传播来实现。秸秆的质地会迷惑蚜虫,秸秆覆盖可以有效降低马铃薯 Y 病毒侵染^[18]。基于铝质材料反射日光的塑料覆盖物会使蚜虫和粉虱迷失方向,从而降低它们到达作物的概率^[19],黄色反光膜已广泛应用于以色列干旱地区大田的夏季生产中^[20]。在温室生产中,用紫外光吸收膜结合防虫网盖住温室结构可有效保护作物免遭带毒蚜虫和粉虱侵袭^[21]。当蚜虫或粉虱的数量达到一定基数时,有机种植生产可采用经过有机评估的杀虫剂予以杀灭。将番茄定植时间由 7 月下旬延迟至 8 月上旬,避开由于高温干旱引起的粉虱盛发期,可有效降低番茄褪绿病毒病的发生^[22]。

2 减少病原物侵入数量

植物病原物侵染过程的侵入期指从病原物开始侵入寄主到与寄主建立寄生关系的一段时间^[5]。通过选用健康的种子和繁殖材料、土壤消毒、清除作物病残体等措施最大限度地降低与作物接触的病原物数量,减少侵入作物的病原物数量。

2.1 选用健康的种子和繁殖材料

我国有机产品标准要求有机种植使用有机种子或植物繁殖材料,前提是有机作物产生的材料可供利用;但获取途径有限,有机种植生产中通常使用常规种子和品种^[1,23]。常规种子可以选择化学杀菌剂包衣控制病害,比如谷类作物的黑穗病和腥黑穗病,但有机农业禁止用杀菌剂处理种子,种植常规感病品种会产生巨大损失^[24]。对于有机种子,可以用具有杀菌作用的植物源提取物或生防微生物及其提取物作为包衣^[6,25];也可通过热水浸泡或蒸汽处理等方式进行物理杀菌^[6]。

对于生姜、马铃薯、草莓等无性繁殖作物,应选用无菌脱毒的植物材料进行播种^[26]。有机马铃薯种植中,要确保种块未受马铃薯黑痣病和致病疫霉(*Phytophthora infestans*)侵染,

前者会降低商品马铃薯的质量^[23],后者引发的晚疫病会导致马铃薯减产甚至绝收^[6]。

2.2 土壤消毒

土传病害是指由生活史中一部分或大部分存在于土壤中的植物病原物在条件适宜时萌发并侵染植物、引起症状的病害^[27]。土壤消毒是一种关键性的种植前措施,可以减少一系列植物病原物的初始接种量,有效防控土传病害。只要不涉及化学农药,多种土壤消毒方法均可应用于有机农业,比如暴晒、厌氧灭菌和生物熏蒸等。

土壤暴晒是指夏季把润湿的土壤用一层透明塑料膜覆盖,在阳光下暴晒数周^[28]。覆盖单层塑料膜,土壤 10 ~ 15 cm 深度可以达到 45 ~ 50 °C,土壤 15 ~ 30 cm 深度可以达到 40 ~ 45 °C,若覆盖双层塑料膜(开阔土地)或者温室覆盖单层薄膜,土壤温度可以相应提高 5 ~ 8 °C^[28]。多数植物病原真菌和细菌在 45 ~ 55 °C 高温时即被杀灭^[6,29]。多数植物病毒在 55 ~ 70 °C 时即被灭活^[30]。暴晒已广泛应用于以色列和佛罗里达州有机种植土壤的灭菌中^[28,31]。

厌氧灭菌是将潮湿土壤在气密塑料膜下密封 3 ~ 6 周时间,效果取决于外界环境温度^[32]。土壤缺氧环境会积累醇类、醛类、有机酸以及其他挥发性有毒物质,同时形成较低的 pH 值环境^[33],能有效控制尖孢镰刀菌(*F. oxysporum*)、立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)、核盘菌(*Sclerotinia sclerotiorum*)、大丽轮枝菌(*Verticillium dahliae*)、青枯劳尔氏菌(*Ralstonia solanacearum*)、根腐病菌和根结线虫等土传植物病原物^[32,34]。厌氧灭菌引起的土壤微生物群落变化相对持久,该变化引发的广谱病害抑制效应能持续数年^[35]。厌氧灭菌是新西兰蔬菜种植者、加利福尼亚草莓种植者以及日本温室种植常用的土壤灭菌手段^[16]。

有氧土壤灭菌,通常称作生物熏蒸,此方法利用特定的有机土壤调理剂在土壤中形成有毒挥发性物质。鱼粉、血粉和羽毛粉等富氮土壤调理剂形成的氨对多种植物病原菌和线虫具有毒性,可降低多种土传病害的发生率^[36]。最常用的生物熏蒸方法是种植含有芥子油苷的油菜和芥菜等十字花科绿肥植物,开花期翻入土壤,随着植物的分解,芥子油苷被水解成异硫氰酸酯等多种毒性物质,可以有效降低青枯劳尔氏菌、多种线虫[哥伦比亚根结线虫(*Meloidogyne chitwoodi*)、柑橘根结线虫(*Tylenchulus semipenetrans* Cobb.)]以及真菌小核盘菌(*S. minor*、*R. solani*)数量^[37]。王德江等发现,芸薹属植物芥菜生物熏蒸处理可有效抑制黄瓜枯萎病^[38]。紫草科中的特定植物含有一定量的吡啶生物碱,也可用于生物熏蒸^[16,39]。生物熏蒸在澳大利亚已被广泛应用,目前也已在以色列和我国被广泛使用^[16,40]。

2.3 清理作物残体

在温室有机种植生产中,含有越冬病原菌的作物残株可制作堆肥,但堆肥材料须定时翻堆,以高温杀死残留的病原物^[16]。冬季修剪苹果枝干,病枝堆肥,秋季和冬季施用富含有机肥料(酒糟、制糖业的副产品)加速苹果叶片分解,可以降低苹果黑星病致病因子苹果黑星病菌[*Venturia inaequalis* (Cooke) Wint.)]的初始接种量^[41]。小麦秸秆淹水集中掩埋的深度控制在 20 cm 以上时能有效消灭病残体,减少土壤中的菌源量,有效抑制稻麦交叉侵染,高效抑制赤霉病的大发

生、大流行^[42]。

3 调控病原物侵染和增殖环境

植物病原物侵染过程的潜育期是指病原物侵入寄主建立寄生关系到表现症状前的一段时期,是病原物在寄主体内繁殖和蔓延的时期,是病原物侵染过程的重要环节^[5]。此时期病原物和寄主间存在复杂的相互作用,寄主植物生长特性、病原物致病性及外界环境等决定寄主与病原物能否建立寄生关系。通过改变病原物侵染和增殖环境、提高寄主植物抗病性等措施调控病原物建立寄生关系,降低病害发生率和严重度。

3.1 土壤环境

土壤供给适量水分的能力是影响作物健康最重要的土壤物理因子之一,有机种植土壤的透水性和保水性通常好于常规农业土壤^[43]。土壤含水量过高会诱导腐霉属、疫霉属和丝囊霉属等水霉菌产生游动孢子,在湿润条件下向寄主植物游动并侵染作物根部^[44]。蚯蚓能够改善土壤的多孔性,降低多种水果和蔬菜作物黄萎病、枯萎病、谷类作物根部病害等病害的发病率^[45]。与滴灌相比,大水漫灌(沟灌)易提高茼蒿栓皮病、辣椒根腐病等作物根部病害的发病率,加速多种植物病原物传播^[16]。

土壤和作物中的氮素含量对作物病害严重度有显著影响。土壤及植株体内氮素含量过高时,作物易感一些根腐病以及镰刀菌属等枯萎病病原菌,并且易感引起稻瘟病和小麦叶斑病活体营养型的叶部病原菌,也会促进一些细菌病害的发生^[16]。作物植株氮素含量高时也会促使蚜虫、叶蝉、灰飞虱等群体数量增加,间接加速病毒的传播^[46]。

作物缺少某些元素时会提高植株对特定病害的感病性,比如缺钾会增加棉花患黄萎病的风险,缺钙会增加腐霉根腐病风险^[47]。有机农田土壤中可利用性钾含量能影响作物抗病性,可通过施用动物粪便或硫酸钾镁矿石补充^[48]。定期向土壤中添加富含木质素和纤维素的植物残渣、腐熟的绿肥堆肥、动物粪便堆肥等难以分解的有机添加物可增强土壤的病害抑制能力^[49]。

3.2 空气环境

潮湿环境会提高多种叶部病害的发病率。有机种植管理中通过疏植、修剪、叶片剔除、增加植株间距、平行风向种植、温室通风等方法降低空气相对湿度,增加通风,提高光照利用率。有机及常规葡萄园中摘除叶片是控制灰霉病、白粉病等病害的常用方法^[16]。有机作物种植不宜通过密植、多播种迅速形成密集遮盖来抑制杂草、增加产量,这会形成适于多种叶部病害发展的微环境,可通过作物间种植矮生的覆盖植物来实现抑制杂草生长^[50]。此外,过量施用动物粪尿等易利用氮肥会促进形成茂密、纤弱叶片,进而形成密集遮盖,叶片对多种病害的感病性升高,由此形成的潮湿微环境也利于晚疫病的发展。利用秸秆等覆盖温室种植土壤可以降低番茄和黄瓜晚疫病、霜霉病的病害严重度^[51]。Du 等研究表明,避雨栽培可有效调控葡萄植株冠层微环境因子,从而有效防控葡萄霜霉病、白腐病、炭疽病等重要病害^[52]。

灌溉方式会影响微气候,喷洒灌溉能促进病原物的扩散,延长叶片湿润期,增加叶部病原物的侵染和蔓延概率,尤其是经飞溅传播的真菌、细菌。相反,滴灌可以降低叶部、根部病

原物的发生概率和严重度^[16]。

3.3 作物抗病性

有机种植宜选择对主要病原物具有广谱抗性的作物品种,特别是对于苹果等多年生作物。早熟品种通常可以避免多种病害的发生^[16]。

温室有机蔬菜种植中,对于葫芦科、茄科等一年生作物,可选择对枯萎病、黄萎病、根腐病、木栓化根、青枯病和根结线虫具有抗性的品种作为砧木进行嫁接,提高抗病性。嫁接技术也常用于多年生作物,比如选择火疫病、疫病抗性苹果砧木,蚜虫、线虫抗性葡萄砧木进行嫁接^[16]。

施用芽孢杆菌属细菌等菌剂能高效诱导作物对特定的地下、地上真菌病原物及病毒产生抗性^[53]。

3.4 多样化种植

混合种植对特定病原物具有不同抗性的种或品种可以抑制多种叶部、根部病害的蔓延^[54]。当然,作物多样性对病害发展的作用具有规模依赖性。病原物扩散以及病害发展主要取决于混合体或作物衔接中感病植株的数量和分布;感病植株间的距离越大,传播越慢。不同水稻品种间作能显著降低稻瘟病的发生^[55]。马铃薯和玉米间套作,马铃薯晚疫病的发生率降低 44.3%,玉米大、小斑病的发病率分别降低 14.8%、22.5%^[56]。间套作体系中高作物玉米可成为西红柿和马铃薯疫病传播的生物屏障,降低疫病病菌的扩散和传播速度^[57]。

4 治愈性控制作物病害

植物病原物侵染过程的发病期是指寄主植物出现症状而发病的过程,是病原物扩大危害,产生大量繁殖体的时期^[5]。在该时期可应用治愈性方法限制病原物进一步扩散从而控制病原物,减轻作物病害症状,控制病害蔓延。治愈性控制技术是指病原物在植株体内定殖后采取的措施。有机种植中禁止使用化学农药作为治愈性控制措施,硅酸盐等天然开采产品、植物提取物、细菌毒素等自然源农药在经过有机认证机构评估后允许使用。

4.1 生物源农药、矿物源制剂

截至 2016 年年底,我国生物源农药已登记 115 个有效成分、3 764 个产品,分别约占整个农药登记的 17.0%、9.9%;其中,微生物农药有效成分 42 个、产品 495 个;植物源农药有效成分 22 个、产品 260 个^[58]。枯草芽孢杆菌、蜡质芽孢杆菌、木霉菌等微生物农药以及蛇床子素、小檗碱、大黄素甲醚等植物源农药已广泛用于有机种植作物病害防控中。

铜盐、波尔多液等铜制剂杀菌剂可用于控制卵菌引起的病害,如霜霉病、晚疫病、苹果黑星病、番茄炭疽病、香蕉叶斑病等^[41,59]。然而,铜在杀灭细菌和真菌的同时会对植物、蚯蚓及土壤有益微生物产生毒害,重复和过量使用铜制剂会引起铜在土壤和食物网中积累。有机种植生产、应用铜制剂应避免过量施用而引起铜的污染,施用波尔多液时最大使用量需低于 6 kg/hm²·年^[1]。硫磺、石硫合剂等硫制剂杀菌剂广泛用于控制多种作物的白粉病以及苹果和梨上的黑星病^[16]。硫制剂的应用形式分为可湿性硫粉剂和细磨硫磺粉尘,前者主要用于大田和果园,后者主要应用于温室和葡萄园。硫对植物具有毒性,环境温度高于 30 ℃ 不宜施用^[16]。碳酸氢钾

对白粉病、苹果黑星病以及坏死性叶斑病具有防治效果,配合钾肥皂、矿物油等粘展剂施用可以增强碳酸氢钾的效果^[60]。

4.2 农药施用技术

不同于化学农药,生物源农药的高效喷施技术必须将活性因子的特性考虑在内,必须保持生防因子存活。与化学合成农药的系统能力不同,上述列举农药的活动性受限,为了保证其高效发挥效果,须要恰当覆盖目标植物器官,可通过施药设备产生恰当大小的雾滴及粉颗粒,高效地将农药喷雾到目标植物器官表面,有效控制作物病害^[61]。

5 总结

常规农业系统通常依赖持续的化学农药投入保证作物病害控制,有机种植主要通过建立健康的生态系统、提高生物多样性和自然缓冲能力来预防作物病害^[16]。对于有机种植作物病害的综合防治,本文从植物病原物病程的角度,在病原物接触期、侵入期、潜育期和发病期分别提出通过轮作、土壤消毒、提高作物抗病性、施用农药等措施高效防控作物病害。当然,文中所述的病害防控策略和技术是基于短期小规模控制试验,科学解决有机种植作物植物病害难题尚需在更高的田间集成水平上予以实践总结。随着人民群众对有机农产品需求的持续增长,作物产量成为有机种植基地经营主体的最大诉求。在区域农业发展和独立农场管理中,企图最小化病害暴发以及长期可持续发展的策略确立需要包括作物的区域部署、农场管理模型、自然与农业生境一体化在内的多学科的共同参与。

参考文献:

- [1] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. 有机产品:GB/T 19630.1—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
- [2] Willer H, Yusefi - Menzler M, Sorensen N. The world of organic agriculture - statistics and emerging trends 2009[J]. Statistics and Emerging Trends, 2006, 10(1): 17.
- [3] 国家认证认可监督管理委员会,中国农业大学. 中国有机产品认证与有机产业发展(2016)[M]. 北京:中国质检出版社,中国标准出版社,2017.
- [4] 冯占山,高世杰. 农业可持续发展与农作物病害的持续控制[J]. 现代化农业, 2013(3): 5-6.
- [5] 董金皋,康振生,周雪平. 植物病理学[M]. 北京:科学出版社,2016.
- [6] Leoni C, Rossing W A H, van Bruggen A H C. Crop rotation, plant diseases and their management in organic agriculture[M]. St Paul MN: APS Press, 2015.
- [7] Huang Y H, Wang R C, Li C H, et al. Control of Fusarium wilt in banana with Chinese leek[J]. European Journal of Plant Pathology, 2012, 134(1): 87-95.
- [8] 刘有聪,张立猛,焦永鸽,等. 大蒜与烤烟轮作对烟草黑胫病的防治效果及作用机理初探[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(5): 55-62.
- [9] 柳红娟,黄洁,刘子凡,等. 木薯轮作年限对枯萎病高发蕉园土壤抑病性的影响[J]. 西南农业学报, 2016, 29(2): 255-259.
- [10] 王夏雯,余翔,乔俊卿,等. 西瓜茬后种植稻麦对土壤微生物数量和西瓜枯萎病发生的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(6): 1291-1295.
- [11] Bniggen A H C V, Termorskuizen A J. Integrated approaches to root disease management in organic farming systems[J]. Australasian Plant Pathology, 2003, 32(2): 141-156.
- [12] Karalus W, Rauber R. Effect of presprouting on yield of maincrop potatoes (*Solanum tuberosum* L.) in organic farming[J]. Journal of Agronomy & Crop Science, 2010, 179(4): 241-249.
- [13] 费维新,王淑芬,李强生,等. 冬油菜适当迟播有效减轻油菜根肿病[J]. 中国油料作物学报, 2016, 38(4): 502-507.
- [14] 王磊,杨诚,刘玉升,等. 玉米不同播期与玉米粗缩病发生及产量的关系研究[J]. 山东农业大学学报, 2013, 44(1): 66-69.
- [15] Subbarao K V, Koike S T, Hubbard J C. Effects of deep plowing on the distribution and density of *Sclerotinia minor* sclerotia and lettuce drop incidence[J]. Plant Disease, 1996, 80(1): 28.
- [16] Bruggen A H V, Gamliel A, Finckh M R. Plant disease management in organic farming systems[J]. Pest Management Science, 2016, 72(1): 15.
- [17] Mitchell P L. Heteroptera as vectors of plant pathogens[J]. Neotropical Entomology, 2004, 88(3): 519-545.
- [18] Saucke H, Döring T. Potato Virus Y reduction by straw mulch in organic potatoes[J]. Annals of Applied Biology, 2015, 144(3): 347-355.
- [19] Polston J F, Lapidot M. Management of tomato yellow leaf curl virus, Tomato Yellow Leaf Curl Virus Disease[M]. Dordrecht: Springer, 2007.
- [20] Cohen S. Tomato yellow leaf curl virus, a whitefly - borne geminivirus of tomatoes[M]//Advances in disease vector research. New York: Springer, 1994.
- [21] Díaz B M, Biurrun R, Aránzazu M, et al. Impact of ultraviolet - blocking plastic films on insect vectors of virus diseases infesting crisp lettuce[J]. Hortscience, 2006, 41(3): 711-716.
- [22] 魏家鹏,王茂昌,王祥,等. 日光温室番茄褪绿病毒病综合防控技术[J]. 中国蔬菜, 2016(10): 30-30.
- [23] Bueren E T L V, Struik P C, Jacobsen E. Organic propagation of seed and planting material: an overview of problems and challenges for research[J]. NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 2004, 51(3): 263-277.
- [24] Wolfe M S, Baresel J P, Desclaux D, et al. Developments in breeding cereals for organic agriculture[J]. Euphytica, 2008, 163(3): 323-346.
- [25] Roberts D P, Lakshman D K, Maul J E, et al. Control of damping - off of organic and conventional cucumber with extracts from a plant - associated bacterium rivals a seed treatment pesticide[J]. Crop Protection, 2014, 65: 86-94.
- [26] Holger D. Cultural methods for controlling *Botrytis cinerea* Pers. in strawberry[J]. Biological Agriculture & Horticulture, 1999, 16(4): 11.
- [27] Bockus W W, Shroyer J P. The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogens[J]. Annual Review of Phytopathology, 1998, 36(1): 485-500.
- [28] Gamliel A, Katan J. Soil solarization: theory and practice[M]. St Paul MN: APS Press, 2012.
- [29] Klein E, Katan J, Gamliel A. Soil suppressiveness to fusarium disease following organic amendments and solarization[J]. Plant Disease, 2011, 95(9): 1116-1123.

- [30] Yildiz A, Benlioglu S, Özhan B, et al. Use of different plastics for soil solarization in strawberry growth and time - temperature relationships for the control of *Macrophomina phaseolina* and weeds [J]. *Phytoparasitica*, 2010, 38(5): 463 - 473.
- [31] Butler D M, Kokalis - Burelle N, Muramoto J, et al. Impact of anaerobic soil disinfestation combined with soil solarisation on plant - parasitic nematodes and introduced inoculum of soilborne plant pathogens in raised - bed vegetable production [J]. *Crop Protection*, 2012, 39(8): 33 - 40.
- [32] Lamers J G, Wanten P, Blok W J. Biological soil disinfestation: a safe and effective approach for controlling soilborne pests and diseases [J]. *Agroindustria*, 2004, 3: 289 - 291.
- [33] Momma N, Yamamoto K, Simandi P, et al. Role of organic acids in the mechanisms of biological soil disinfestation (BSD) [J]. *Journal of General Plant Pathology*, 2006, 72(4): 247 - 252.
- [34] Hewavitharana S S, Ruddell D, Mazzola M. Carbon source - dependent antifungal and nematicidal volatiles derived during anaerobic soil disinfestation [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2014, 140(1): 39 - 52.
- [35] Goud J K C, Termorshuizen A J, Blok W J, et al. Long - term effect of biological soil disinfestation on *Verticillium* wilt [J]. *Plant Disease*, 2004, 88(7): 688 - 694.
- [36] Lazarovits G, Conn K L, Abbasi P A, et al. Reduction of potato tuber diseases with organic soil amendments in two Prince Edward Island fields [J]. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2008, 30(1): 37 - 45.
- [37] Matthiessen J N, Kirkegaard J A. Biofumigation and enhanced biodegradation: opportunity and challenge in soilborne pest and disease management [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2006, 25(3): 31.
- [38] 王德江, 杨自超, 乔世佳, 等. 生物熏蒸对黄瓜枯萎病抑制及品质和产量的影响 [J]. *中国农学通报*, 2016, 32(28): 125 - 130.
- [39] Thoden T C, Hallmann J, Michael B. Effects of plants containing pyrrolizidine alkaloids on the northern root - knot nematode *Meloidogyne hapla* [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2009, 123(1): 27 - 36.
- [40] Cohen M F, Yamasaki H, Mazzola M. *Brassica napus* seed meal soil amendment modifies microbial community structure, nitric oxide production and incidence of *Rhizoctonia* root rot [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2005, 37(7): 1215 - 1227.
- [41] Holb I J. Fungal disease management in organic apple orchards: epidemiological aspects and management approaches, recent developments in management of plant diseases [M]. Dordrecht: Springer, 2010.
- [42] 张政文, 孙秀娟, 胡乃娟, 等. 麦秸掩埋还田对赤霉菌 (*Fusarium graminearum* Schw.) 存活率和水稻带菌的影响 [J]. *植物病理学报*, 2014, 44(4): 443 - 448.
- [43] Aparna K, Pasha M A, Rao D L N, et al. Organic amendments as ecosystem engineers: microbial, biochemical and genomic evidence of soil health improvement in a tropical arid zone field site [J]. *Ecological Engineering*, 2014, 71: 268 - 277.
- [44] Leon M C C, Stone A, Dick R P. Organic soil amendments: impacts on snap bean common root rot (*Aphanomyces euteiches*) and soil quality [J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, 31(3): 1 - 210.
- [45] Geense P, Pattison A B, Kukulies T L, et al. Can changes in soil properties in organic banana production suppress *Fusarium* wilt [J]. *Natural Resources*, 2015, 6: 181 - 195.
- [46] Bazot M. Local and neighbourhood effects of organic and conventional wheat management on aphids, weeds, and foliar diseases [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2012, 161(20): 121 - 129.
- [47] Dordas C. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture: a review [J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2008, 28(1): 33 - 46.
- [48] Mäder P, Fliessbach A, Dubois D, et al. Soil fertility and biodiversity in organic farming [J]. *Science*, 2002, 296(5573): 1694 - 1697.
- [49] Senechkin I V, Overbeek L S V, Bruggen A H C V. Greater *Fusarium* wilt suppression after complex than after simple organic amendments as affected by soil pH, total carbon and ammonia - oxidizing bacteria [J]. *Applied Soil Ecology*, 2014, 73(1): 148 - 155.
- [50] Campiglia E, Manicelli R, Radicetti E, et al. Evaluating spatial arrangement for durumwheat (*Triticum durum* Desf.) and subclover (*Trifolium subterraneum* L.) intercropping systems [J]. *Field Crops Research*, 2014, 169: 49 - 57.
- [51] Shtienberg D, Elad Y, Bornstein M, et al. Polyethylene mulch modifies greenhouse microclimate and reduces infection of *Phytophthora infestans* in tomato and *Pseudoperonospora cubensis* in cucumber [J]. *Phytopathology*, 2010, 100(1): 97 - 104.
- [52] Du F, Deng W P, Yang M, et al. Protecting grapevines from rainfall in rainy conditions reduces disease severity and enhances profitability [J]. *Crop Protection*, 2015, 67: 261 - 268.
- [53] Vallad G E, Goodman R M. Systemic acquired resistance and induced systemic resistance in conventional agriculture [J]. *Crop Science*, 2004, 44(6): 1920 - 1934.
- [54] Yang M, Zhang Y, Qi L, et al. Plant - plant - microbe mechanisms involved in soil - borne disease suppression on maize and pepper intercropping system [J]. *PLoS One*, 2014, 9(12): e115052.
- [55] 朱有勇, 陈海如, 范静华, 等. 利用水稻品种多样性控制稻瘟病研究 [J]. *中国农业科学*, 2003, 36(5): 521 - 527.
- [56] He X H, Zhu S S, Wang H N, et al. Crop diversity for ecological disease control in potato and maize [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2010, 1(1): 45 - 50.
- [57] Ijorah M O. Review of intercropping research: studies on cereal - vegetable based cropping system [J]. *Scientific Journal of Crop Science*, 2012, 1(3): 55 - 62.
- [58] 袁善奎, 王以燕, 师丽红, 等. 我国生物源农药标准制定现状及展望 [J]. *中国生物防治学报*, 2018, 34(1): 1 - 7.
- [59] Dagostin S, SchäRer H J, Pertot I, et al. Are there alternatives to copper for controlling grapevine downy mildew in organic viticulture? [J]. *Crop Protection*, 2011, 30(7): 776 - 788.
- [60] Ziv O. Effects of bicarbonates and film - forming polymers on cucurbit foliar diseases [J]. *Plant Disease*, 1992, 76(5): 513.
- [61] Mansour A, Al - Banna L, Salem N, et al. Disease management of organic tomato under greenhouse conditions in the Jordan Valley [J]. *Crop Protection*, 2014, 60: 48 - 55.