

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2025.01.001

蔬菜主要连作病害发生现状、病原特性及趋势分析

陈品璐¹, 杜霞², 罗雪峰³, 李姗蓉³, 况宽³, 陈娟妮¹

1. 西南大学 植物保护学院, 重庆 400715; 2. 重庆西农植保科技有限公司, 重庆 400711;

3. 重庆市农业技术推广总站, 重庆 401121

摘要: 随着我国蔬菜产业高速发展、设施园艺规模化逐步完善以及全球气候变化, 蔬菜连作难以避免, 连作障碍日益凸显, 其中连作病害的发生尤为严重。病原菌大量积累、土壤生态环境一再恶化均导致连作病害种类繁多、病原变化复杂、新旧病害交替。基于此, 本文系统综述了蔬菜主要连作病害病原种类和生物学特性, 分析了病害发生程度及今后的发生趋势, 为研究连作障碍的机理、缓解连作障碍以及蔬菜高效绿色生产技术提供了支撑, 对指导蔬菜以及其他农作物病害防控具有重要意义。

关键词: 蔬菜; 连作病害; 病原特性;
发生现状

中图分类号:S436.3

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号:2097-1354(2025)01-0001-11

Pathogenic Characteristics and Occurrence Status of Main Continuous Cropping Diseases of Vegetables

CHEN Pinlu¹, DU Xia², LUO Xuefeng³,
LI Shanrong³, KUANG Mi³, CHEN Juanni¹

1. College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Xinong Plant Protection Technology Co. Ltd., Chongqing 400711, China;

3. Chongqing Agricultural Technology Extension Station, Chongqing 401121, China

Abstract: With the rapid development of China's vegetable industry, the gradual improvement of facility horticulture scale and global climate change, vegetable continuous cropping is difficult to avoid, and continuous cropping obstacles are increasingly prominent, among which the occurrence of continuous cropping diseases is particularly serious. The accumulation of pathogenic

收稿日期: 2024-11-06

基金项目: 重庆市农业产业技术体系“蔬菜创新团队”项目(CQMAITS202306); 2024年重庆市农业农村委特色经济作物全域提质增效项目。

作者简介: 陈品璐, 硕士研究生, 主要从事天然产物抗菌性研究。

通信作者: 陈娟妮, 博士, 副教授。

bacteria and the deterioration of soil ecological environment led to many kinds of continuous cropping diseases, complicated pathogen changes and alternation of old and new diseases. Based on this, this paper systematically reviewed the pathogen types and biological characteristics of the main continuous cropping diseases of vegetables, analyzed the degree of disease occurrence and the future occurrence trend, and provided support for study of the mechanisms of continuous cropping obstacles, alleviating continuous cropping obstacles and efficient green production technology of vegetables, which is of great significance for guiding the prevention and control of diseases of vegetables and other crops.

Key words: vegetables; continuous cropping diseases; pathogen characteristics; occurrence statu

蔬菜是人类基本食物的重要组成部分，在人类整个膳食结构中占据特殊地位，不仅能够提供维持生命所需的部分营养物质，还可以供给人体健康所必须的维生素、膳食纤维和矿质元素等营养成分。目前，蔬菜已经超过粮食作物一跃成为我国农业生产中的第一大产业^[1]。

在蔬菜种植发展过程中，由于受土地资源、土壤条件、耕作制度、种植习惯和种植技术等限制^[2]，实际生产过程中蔬菜连作难以避免。连作导致同一块土地种植品种单一、土壤养分失衡、病原菌大量累积，且连作蔬菜会产生化感自毒作用，导致连作障碍日益凸显。连作障碍反映在作物上一般是生长发育不良或异常，在极端情况下，不发苗或发苗不旺，甚至局部死苗；多数植物在连作之后会出现根系褐变、根系不发达且活力低以及分布范围缩小的现象，因而导致吸收水分和养分的能力降低，即使在正常的管理情况下，作物的产量和品质也会遭受严重的损失^[3]。

蔬菜连作病害是连作障碍的重要表现，尽管这类病害在蔬菜不连作的情况下也有发生，植物往往会通过一些信息传递的方式抵御种种不良环境^[4]，蔬菜连作病害的发生程度和范围均较为轻微。但是随着连作年限的增加，土壤质量退化，土壤微生物群落结构改变且活性下降，作物抗性降低^[5-7]，连作病害发生得更加严重。因此，了解连作病害发生规律是有效控制蔬菜连作病害和保障蔬菜种植业的持续稳定发展的重要途径，同时也是现代农业科技创新的重要使命。

1 蔬菜连作病害的发生现状

1.1 常见蔬菜连作病害的种类

不同地区和不同的蔬菜种类发生的病原种类不同，表现出的病害类别也有很大差异。从微观上来看，根据病原微生物种类，可将蔬菜病害分为真菌病害、卵菌病害、细菌病害、病毒病害、原生动物和线虫病害等(表 1)。

表 1 常见蔬菜连作侵染性病害

病害类别	病害名称	病原菌学名	危害部位	主要寄主
真菌病害	腐烂病及猝倒病	腐霉菌属(<i>Pythium</i> spp.)	根茎部	瓜类、豆类、薯类、各种蔬菜、甜菜等
	立枯病	立枯丝核菌(<i>Rhizoctonia solani</i> Kuhn)	根茎部	茄科作物
	灰霉病	灰葡萄孢菌(<i>Botrytis cinerea</i> Pers.)	茎基部	各类蔬菜
	根黑腐病	根串珠霉菌(<i>Thielaviopsis basicola</i> Ferraris)	根部	茄科蔬菜
	镰刀菌枯萎病	尖孢镰刀菌(<i>Fusarium oxysporum</i> Wr)	根茎部	瓜类
	镰刀菌根腐病	茄病镰刀菌(<i>Fusarium solani</i>)	根部	各类蔬菜
	茎基腐、茎腐病	核盘菌(<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)	茎基部	十字花科作物
	黑胫病	致病疫霉(<i>Phytophthora parasitica</i>)	茎基部	茄科作物
卵菌病害	黑胫病	致病疫霉(<i>Phytophthora parasitica</i>)	茎基部	茄科作物

续表				
病害类别	病害名称	病原菌学名	危害部位	主要寄主
细菌病害	青枯病	青枯雷尔氏菌 (<i>Ralstonia solanacearum</i> E.F.Smith)	根部、茎部、叶片	茄科作物
	细菌性黑腐病	黄单胞杆菌 (<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>raphani</i> (White))	根部	各类蔬菜
	空茎病	欧文氏菌(<i>Erwinia carotovora</i> subsp.)	茎部	十字花科, 茄科
病毒病害	番茄斑萎病	番茄斑萎病毒 (Tomato spotted wilt virus, TSWV)	根茎部	茄科作物
原生动物	根肿病	芸薹根肿病菌(<i>Plasmodiophora brassicae</i> Woronin)	根部	十字花科作物
线虫病害	根结线虫病	根结线虫(<i>Meloidogyne</i> sp.)	根部	瓜类, 茄科
	根腐线虫病	短体线虫(<i>Pratylenchu</i> ssp.)	根部	各类蔬菜
	孢囊线虫	孢囊线虫(<i>Heterodera</i> sp.)	根部	豆科

1.2 不同优势生产区蔬菜连作病害的发生情况

改革开放以来,我国蔬菜生产区完成了从传统的“城郊就地生产就地供应”向“优势区域规模化生产”的转变,形成了华南与西南热区冬春蔬菜优势区域、长江流域冬春蔬菜优势区域、黄土高原夏秋蔬菜优势区域、云贵高原夏秋蔬菜优势区域、北部高纬度夏秋蔬菜优势区域和黄淮海与环渤海设施蔬菜优势区域六大产区^[8]。近年来,我国蔬菜设施栽培发展迅速,随着栽培品种的多样化,加之南北地区环境差异大,病害发生情况也更为复杂(表 2)。长期以来,由腐霉菌和芸薹根肿病菌引起一系列寄主为白菜、黄瓜、番茄、辣椒等蔬菜的连作病害在我国华南、西南、黄淮海和环渤海以及北部地区发生严重^[9-13]。其中番茄根腐病在我国新疆地区发生普遍,发病率高达 30%~40%,发病严重的地块植株大范围枯死,经研究确认主要病原菌为瓜果腐霉^[14]。由镰刀菌引起的根腐病和枯萎病以及由立枯丝核菌引起的立枯病同样给长江流域、黄土高原和云贵高原地区带来了巨大损失^[15-20]。同时番茄细菌性枯萎病在长江南部省份根据作物季节的不同,病害发病率从 10%到 80%不等^[21]。

表 2 国内不同区域主要生产蔬菜种类及连作病害发生情况

优势生产区域	地理位置	主要种植蔬菜种类	主要连作病害类型
华南与西南热区冬春蔬菜优势区域	海南、广东、广西、福建和云南南部、贵州南部以及四川攀西地区	豇豆、菜豆、丝瓜、苦瓜、西甜瓜、番茄、辣椒、茄子等	根结线虫、枯萎病、根腐病、炭疽病
长江流域冬春蔬菜优势区域	四川、重庆、湖北、湖南、江西、浙江、上海和江苏中南部、安徽南部	结球甘蓝、花椰菜、莴笋、芹菜、芥菜、大白菜、萝卜、普通白菜、芥蓝、蒜苗等	根结线虫、枯萎病、软腐病、菌核病
黄土高原夏秋蔬菜优势区域	陕西、甘肃、宁夏、青海、西藏、山西及河北北部	白菜、芹菜、莴笋、结球甘蓝、生菜等喜凉蔬菜以及茄果类	根腐病、枯萎病、黄萎病
云贵高原夏秋蔬菜优势区域	云南、贵州和鄂西、湘西、渝东南与渝东北	胡萝卜、花椰菜、青花菜、生菜等喜凉蔬菜以及辣椒、番茄、菜豆、西甜瓜等	疫病、根肿病、叶斑病
北部高纬度夏秋蔬菜优势区域	吉林、黑龙江、内蒙古、新疆	甘蓝、白菜、萝卜、豆角、洋葱等	黑腐病、枯萎病、病毒病
黄淮海与环渤海设施蔬菜优势区域	辽宁、北京、天津、河北、山东、河南及安徽中北部、江苏北部	番茄、黄瓜、辣椒、茄子、菜豆、西葫芦、西甜瓜、结球甘蓝、芹菜、芦笋、韭菜、食用菌等	枯萎病、青枯病、根结线虫

2 蔬菜主要连作病害的病原及其侵染特征

土壤微生物是土壤质量和生产力的关键因素,在生态系统中占据重要地位,根际土壤微生物的变化会影响土壤养分的吸收和转化^[22]。除此之外,张智浩等^[23]研究发现,健康植株和病株的根围土细菌和真菌群落结构均具有明显的差异,即土壤微生物也是维持土壤健康的重要因素^[24]。因此,根际土壤微生物的种类和数量是植株生长、发育和判断其健康状况的关键因素。大量研究表明,连作会改变根际土壤微生物结构,同时这种改变进一步加剧了连作病害的发生^[23, 25],由此可知连作病害严格来说是土传病害在连作条件下更为严重地发生。土传病害种类繁多,宏观上来看,蔬菜种植产业连作病害主要分为以下三大类:一类是为害幼苗的,病原物一般选择刚出芽或者刚出土的幼芽和幼苗进行侵染,从而导致幼苗猝倒或者立枯。主要病原菌有丝核菌属(*Rhizoctonia*)的立枯丝核菌(*R. solani*)、腐霉属(*Pythium*)的瓜果腐霉(*Pythium aphanidermatum*)、镰刀菌属(*Fusarium*)的茄病镰刀菌(*F. solani*)等;第二类是成株植物的根腐病,植株早期生长正常,但中后期植株生长发育受阻,条件合适时突然发病,导致植物死亡。侵染幼苗的病原菌都可能会造成成株期发病,此外,还有致病疫霉(*P. parasitica*)、根串珠霉(*T. basicola*)等;三是成株植物的维管束病害,从根部入侵后,沿维管束传播,导致根茎输导障碍,造成植物死亡。主要病原菌有青枯雷尔氏菌(*R. solanacearum*)、黄萎轮枝菌(*Verticillium albo-atrum*)等。本文仅选取发生严重且典型的危害蔬菜连作病害进行分析讨论(表3)。

表3 主要的蔬菜连作病害病原菌特性

病害类型	病原菌名称	结构	侵染途径	侵染条件	传播方式	危害症状
真菌	腐霉菌属 (<i>Pythium</i> spp.)	菌丝无色细长,无隔膜,有分枝;孢子呈球形或卵形	通过根部直接侵入,尤其是在根系受损或老化时	潮湿环境,适宜温度为15~25℃;过湿的土壤条件下更容易发病	借雨水、灌溉水等传播	植株出现萎蔫,叶片变黄;根茎部腐烂,发出异味,病株容易倾倒(猝倒病)
	立枯丝核菌 (<i>R. solani</i> Kuhn)	菌丝体较粗,呈分枝状,有时形成菌核	通过根部或茎部伤口侵入;适应在潮湿土壤中生存和扩展	温暖(20~30℃)和潮湿的环境;在通风不良的条件下发病率增加	通过土壤、病残体和种子传播;机械传播也可能导致感染	根茎部出现水渍状腐烂,植株生长缓慢,叶片黄化、萎蔫;在茎部形成褐色病斑,茎部脆弱易折
	灰葡萄孢菌 (<i>Botrytis cinerea</i> Pers.)	菌丝体细长,形成分枝,气生孢子呈灰白色	通过叶片和茎基部伤口侵入;在高湿条件下,孢子容易传播	高湿、高温(15~25℃)环境下更易发生;在植株损伤后感染率增加	通过风、雨水、昆虫传播;机械(如农具、手等)也可能导致传播	植株茎基部、叶片出现灰色霉层,腐烂;果实腐烂,表现为水渍状斑点,最终导致果实干枯
	根串珠霉菌 (<i>T. basicola</i>)	菌丝体较粗,孢子呈黑色,直径约5~10 μm	通过根部伤口侵入;在潮湿环境中更易侵入健康根系	潮湿、温暖的土壤环境(温度在20~25℃)适合其生长;植株受损后易感染	通过土壤、病残体传播;种子和根茎也可能成为传播途径	根部黑腐,造成植物营养吸收困难,表现为萎蔫和生长不良;病株根部常出现黑色霉层
	尖孢镰刀菌 (<i>F. oxysporum</i>)	菌丝体分枝,呈粉红色或白色,孢子形状多样	通过根部直接侵入;水分、土壤或种子中的孢子传播	适宜于温暖(25~30℃)和湿润的环境;受损根系更易感染	通过土壤、水源、植物残体和种子传播;机械传播也可能导致扩散	根茎部变黄、枯萎,植株生长不良;严重时导致全株死亡

续表						
病害类型	病原菌名称	结构	侵染途径	侵染条件	传播方式	危害症状
细菌	茄病镰刀菌 (<i>F. solani</i>)	菌丝体细长,呈粉红色,孢子形状不一	通过根系直接侵入,通常在受损或弱小植株上;幼苗更易受到感染	温暖、潮湿的环境(20~30℃)更易发病;过度潮湿会加剧病害	过病残体、土壤和种子传播;机械传播也可能导致感染	根部腐烂,植株发黄、萎蔫,最终枯死;根系容易受到损伤,导致病害加重
	核盘菌 (<i>S. sclerotiorum</i>)	菌丝体分枝,形成白色霉层,菌核呈黑色,直径约1~2 mm	通过茎基部或叶片的伤口侵入;在湿度高的环境中,孢子易于传播	高湿、高温环境下发病率增加;密集、通风不良的条件下更易感染	通过病残体、土壤、水源传播;风和雨水也可促进病原传播	茎基部出现水渍状腐烂,叶片萎蔫,最终枯死;在病斑上常可见白色霉层和黑色菌核
	青枯雷尔氏菌 (<i>R. solanacearum</i>)	细菌呈短杆状,宽0.5~1.0 μm,长1.0~3.0 μm	通过根系直接侵入,或通过伤口侵入;根部接触感染土壤中的病原细菌	高温(25~30℃)和高湿度条件下更易发生;土壤排水不良时,病原菌繁殖迅速	通过受感染的土壤、水源、植物残体传播;机械(如农具、工作服)也可传播病原	植株生长不良,叶片出现黄化、萎蔫现象;茎部呈水渍状腐烂,根部变黑,组织软化在切割茎部时,可见白色浑浊液体从中流出
	黄单胞杆菌 (<i>X. campestris</i>)	细胞直杆状,大小为0.4~1.0 μm×1.2~3.0 μm,单端极生鞭毛	通过叶片和根部伤口侵入;植物间直接接触也能传播	温暖潮湿的环境(15~30℃)更易发生;在植物生长旺盛期更易感染	通过种子、土壤、水源传播;机械(如农具、风、雨水飞溅)也可能传播	植物叶片出现水渍状斑点,后变为黄褐色,最终导致叶片枯死;根部腐烂,影响植物的水分和营养吸收
	欧文氏菌 (<i>E. carotovora</i> subsp.)	菌落米白色,不透明,表面光滑,边缘规则,无晕环,中央凸起,菌落直径1~2 mm	通过伤口或老化组织侵入;容易在潮湿环境中通过水分传播	高湿、高温(20~30℃)环境下易发生;植株受到机械损伤或其他病害侵染时更易感染	通过病残体、土壤、灌溉水、种子传播;机械(农具、手等)也是传播途径	植株茎部软腐,水渍状,最终变为黑色腐烂;空心茎部,影响植物的水分和养分输送
病毒	番茄斑萎病毒(TSWV)	病毒颗粒通常呈丝状	通过吸食感染植物的蚊虫(如蓟马)传播	高温、高湿环境更易发生	通过昆虫传播、植株间接接触	叶片出现斑点、萎蔫、植物生长受阻,果实变形
原生动物	芸薹根肿病菌(<i>P. brassicae</i>)	细胞体不规则,显微镜下可见	通过根毛侵入,进入植物细胞内	湿度高、土壤酸性条件下发生较多	通过土壤、水源、农具等传播	根部形成肿瘤,影响植物营养吸收,导致生长不良
卵菌	致病疫霉(<i>P. parasitica</i>)	菌丝体细长,孢子呈球形或卵形	通过水和土壤中的孢子侵入植物	潮湿的环境和高温条件下发生	通过水流、灌溉水、土壤及植物残体传播	茎基部腐烂,植株萎蔫,叶片黄化,可能导致大面积死亡
线虫	根结线虫	细长,透明,头部圆形,成虫有明显的肿胀	通过根部侵入,幼虫钻入植物根系	湿度高、温度适中(20~30℃),土壤有机质丰富条件下易发生	通过土壤、植物根系、农具等传播	根部形成肿瘤(根结),导致植物生长不良、萎蔫、黄化,最终可能死亡
	短体线虫	细长而短,通常呈纺锤形	通过根部直接侵入;通常在根损伤或土壤条件不良时发生	潮湿、温暖的环境,通常在土壤酸性较强的情况下更易发生	通过土壤、植物残体、种子等传播	根部腐烂、植物生长缓慢、叶片发黄、甚至枯死
	孢囊线虫	卵囊形状明显,通常为椭圆形或球形	幼虫通过根毛进入植物根部	温暖潮湿的土壤条件更易发生	受污染的土壤、种子和植物材料均可传播	根部出现小肿块,影响水分和养分的吸收,导致植物生长缓慢

2.1 立枯丝核菌

立枯丝核菌(*R. solani*)属担子菌门,是一种坏死营养真菌,生长后期可形成大小不同但质地均匀的菌核,这种菌核能够在土壤和植物残骸中腐生地存活多年^[26]。立枯丝核菌能够侵染多种植物,目前报道已知的寄主有甜菜、四季豆、黄瓜、豌豆等^[27]。病原菌侵入后,病菌在寄主组织内生长繁殖,破坏寄主细胞的结构和功能,导致寄主组织坏死,影响水分和养分的运输,使植株出现萎蔫、枯死等症状^[28],从而引起农作物立枯病,立枯病会根据侵染严重程度的不同导致20%到50%的减产。

2.2 镰刀菌

镰刀菌属(*Fusarium*)包括许多众所周知的农作物病原体,其中尖孢镰刀菌(*F. oxysporum* Wr.)会造成的镰刀菌枯萎病,而茄病镰刀菌(*F. solani*)是镰刀菌根腐病的主要形成原因^[29]。尖孢镰刀菌和茄病镰刀菌都属于囊菌属,可在土壤中或病残体上长期存活。尖孢镰刀菌引起的枯萎病在世界范围都有不同程度的发生,该菌能够导致多种重要的经济作物出现维管束萎蔫、立枯以及树冠和根部腐烂等症状^[30]。

2.3 腐霉菌

腐霉菌(*Pythium*)属于鞭毛菌卵菌属,其中的大多数是重要的土传植物病原菌,通常情况下会造成根腐、茎基腐以及果实腐烂等^[31]。在寄主植物生长不良、抗逆性差时容易侵染^[32],主要通过感染农作物幼年组织,分泌细胞壁降解酶等物质,破坏寄主细胞的细胞壁,使细胞解体,同时产生毒素,干扰寄主植物的正常生理代谢,导致植株发病^[33]。

2.4 青枯雷尔氏菌

由细菌病原体引起的植物病害是农作物生产的主要制约因素,并导致全球农业产量的严重损失^[34]。青枯雷尔氏菌(*R. solanacearum*)是一种 β -变形菌,对50多个不同植物科的200多种植物具有致病性^[35]。病原菌通常在根木质部组织中定植,并快速移动到茎组织后通过小伤口感染易感和耐药植物的根部,通过产生胞外多糖导致木质部堵塞,从而使植物枯萎^[36]。该病原体不仅影响茄科植物,如番茄和马铃薯,而且影响许多杂草、作物、灌木和其他双子叶和单子叶树木^[37]。

2.5 黄单胞杆菌

黄单胞杆菌(*X. campestris* pv.)会引发细菌性黑腐病,是一种种子传播的病原体,能够在任何生长阶段感染宿主。对几种芸苔属物种如卷心菜和紫云英科的植物都有较强的致病性,病原体在其上引起黑腐病^[38]。症状的特点是影响叶缘的“V”形病变,当细菌进入维管组织时,受感染的根部、叶脉、茎部变黑。该病原菌需要合适的条件才能广泛传播,病原菌从植物根、茎、叶形成的伤口侵染并开始增殖^[39]。

2.6 欧文氏菌

欧文氏菌(*E. carotovora* subsp.)是一种 γ -变形菌病原体,能够在很宽的温度范围内(4~37℃)生存^[34],是空茎病的罪魁祸首。欧文氏菌为革兰氏阴性菌,病原菌一般从伤口或自然孔口侵入茎部组织,在细胞间繁殖并分泌果胶酶、纤维素酶等多种酶类,分解植物细胞壁和细胞间的中胶层,导致茎部组织的软化和中空^[40]。同时,病菌还可能产生一些毒素,干扰寄主植物的正常生理代谢,加重病害的症状。

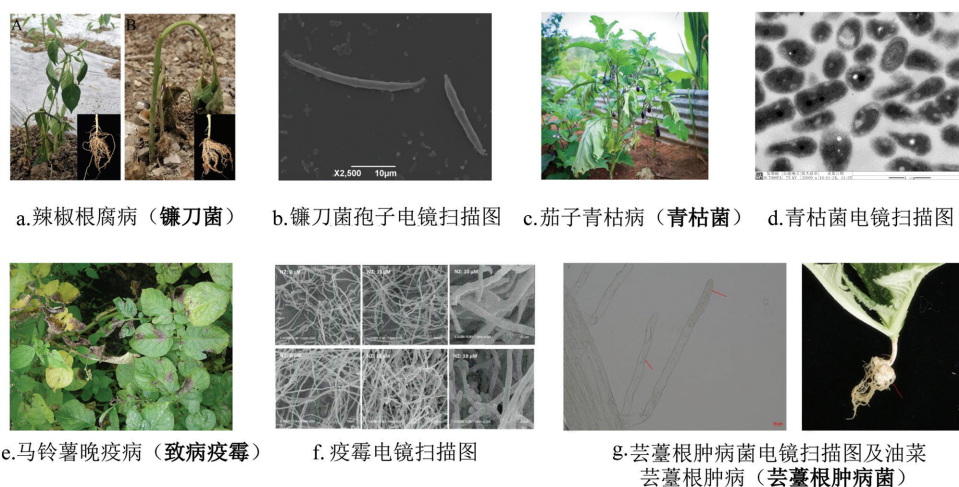
2.7 芸薹根肿病菌

芸薹根肿病菌(*P. brassicae* Woronin)是一种原生动物,其生活史较为复杂,该病原菌属专

性寄生,在无寄主植物存在时,其休眠孢子仍能在土壤中存活达 15 年之久^[23]。由其引起的根肿病,主要危害十字花科植物根部,病原菌刺激根部细胞异常增生和分裂,形成根肿。这破坏了根系的正常结构和功能,阻碍了水分和养分的吸收和运输,导致植株生长不良,严重时植株死亡^[41]。

2.8 致病疫霉

致病疫霉(*P. parasitica*)属于卵菌,疫霉属在形态上介于疫霉属和腐霉属之间^[33],由致病疫霉引发的黑胫病,主要为害茄科作物的茎基部。致病疫霉通过伤口或自然孔口侵入植株茎基部,在组织内生长繁殖,分泌一些酶类和毒素,破坏茎部细胞的结构和功能,导致组织坏死和腐烂^[42]。同时,病菌的侵染会影响植株的水分和养分运输,使植株逐渐枯萎死亡。



a 图引自参考文献[43], c 图引自参考文献[44], e 图引自参考文献[42], f 图引自参考文献[45], g 图引自参考文献[46]

图 1 几种典型的病原侵染后的植株症状表现

3 连作病害发生趋势分析

3.1 程度逐年加重

随着我国设施园艺的现代化发展,蔬菜种植面积进一步扩大,连作病害也发生得更为严重,极大程度上影响了蔬菜的产量和质量。根据近年来的研究,连作病害的发生率逐年上升,尤其是在温度和湿度都适宜的温室和大棚种植中表现得更为明显^[47-50]。2023 年,在黄淮海与环渤海设施蔬菜优势区域蔬菜主要病虫害中度发生,根据郑州市农业农村局的数据显示,黄瓜霜霉病在郑州市中度发生,局部偏重。同年,位于长江流域冬春蔬菜优势区域的上海市内多种蔬菜菌核病、软腐病、灰霉病均呈中等偏重发生趋势。在北部高纬度夏秋蔬菜优势区域,蔬菜猝倒病和立枯病在幼苗期较为常见,其他大部分病害主要在开花结果期造成危害^[51]。

3.2 面积频率增高

农民为节约成本,通常选择尽可能地延长大棚使用年限,因此连作病害在全国范围内普遍存在。在郑州市,蔬菜主要病虫害预计发生面积达 8 万 hm^2 。山西省连作地块的土传病害发生频率为 73.19%,其中青枯病、根腐病、根结线虫发生频率最高^[16],目前国内尚未出现抗青枯病、番茄溃疡病等细菌性病害的品种,随着连作年限的增加,细菌性病害将会发生得更为严重。

与此同时,根结线虫造成的问题也不容忽视,在西南地区有些蔬菜品种上根结线虫病发生频次高达90%以上,主要涉及的有瓜类、空心菜、豇豆等^[52]。此外,之前的报道中提到目前我国大陆地区检测到多种病毒病,不仅存在复合侵染的现象而且危害面积十分辽阔^[53]。近几年来,由卵菌引起的根肿病也逐渐在全国范围内发生严重,尤其是在西藏、四川、湖南、山东地区,平均每年造成10%~15%的产量损失^[54]。根肿病主要为害十字花科作物,其发生面积广、传播途径多,通常难以防治,未来如果不加以控制,将会进一步扩大危害面积。

3.3 病害种类增多

在蔬菜产业实际生产过程中,老病害出现新症状且新型病害高发频发,甚至以往一些次要病害已经成为主要病害。以番茄斑萎病为例,西花蓟马是该病的主要传播途径^[55],西花蓟马和番茄斑萎病毒的高度变异性,已经在川渝、云南、广州等多个地区造成严重损失,成为番茄的重要病害。

值得一提的是,生理性病害在我国发生趋势不断上升。在河南省,土传病害发生范围广且危害严重,其中根结线虫病发生率甚至高达84.6%,同时当地也存在多种生理性病害,例如缺素症、土壤次生盐渍化的情况^[56]。在安徽地区同样因为土壤养分失衡、土壤酸化、板结等问题,蔬菜产量大幅下降^[57],且考虑到土壤消毒和土壤修复技术的可行性低,病害将持续蔓延。

比起单一病害更为棘手的是当前不少地区都存在多病害同时发生的现象。如真菌主动感染植物造成伤口之后,协助细菌完成侵染,如黄瓜霜霉病与角斑病常常同时存在,外加设施栽培条件下高温高湿条件适宜病原菌的生长且许多病原菌都对市面上常见的杀菌剂产生了抗性,为病害防治带来了极大的难度。

3.4 抗药性增强

由于生产上缺少抗病品种,目前国内针对蔬菜病害首选的防治方法依然是化学防治,但长期的农药施用以及不合理的施用方法都导致了病原菌抗性的产生^[58]。目前,蔬菜病原菌抗药性的研究报道主要是针对病原真菌,特别是针对气传性病原真菌。总体上来讲,依靠气流传播的病原真菌繁殖快、菌量大,容易产生抗药性,如灰霉病菌、霜霉病菌、白粉病菌等^[59]。有报道指出,自1971年开始,灰葡萄孢菌(*B. cinerea*)对多种杀菌剂产生不同程度的抗性^[60]。在黄淮海与环渤海设施蔬菜优势区域的山东、河北等地,自2009年起,黄瓜白粉病菌对啞菌酯普遍产生了抗药性^[59]。

4 展望

连作障碍始终是蔬菜生产过程中长期制约蔬菜生产质量和产量的重要因素。土壤连作病害作为连作障碍的主要表现,因其种类繁多、体系庞杂、影响因子复杂,关于连作病害的防治方法还需进一步研究。蔬菜连作病害的病原菌在土壤中存活时间较长且易发生迁移,农业和化学防治方法存在周期长、代价大等问题,导致实际实施力度有限且效果一般。土壤微生物失衡是作物连作障碍和病害发生的主要原因,土壤微环境作为微生物的生存与营养载体,在土壤微生态调控中也发挥着同等重要的作用。随着人们对植物科学领域的不断探索以及对植物病害认知的逐渐加深,不少研究人员提出植物医学这一新概念,从植物着手,维持植物的生存环境^[61],主要通过改善蔬菜根际微环境和微生物群落功能^[62],抑制病原菌的入侵和生长,该方法兼具精准、高效、生态等特点,成为蔬菜连作病害土壤微生态调控的重要方法。

综上所述,本文仅从我国蔬菜连作病害发生现状出发,分析不同病害的病原特性,未来将

聚焦于明晰蔬菜连作病害病原菌致病机制、土壤微生态相关因素(土壤理化性质、土壤养分、根系分泌物、酶活性、微生物群落特征等)及其调控措施,综合考虑导致连作障碍的不同因素,从而科学、可持续地控制蔬菜连作病害。

参考文献:

- [1] 伍袁泉,赵闯,王若诗,等. 中国蔬菜生长模型研究进展 [J]. 应用生态学报, (2024-10-22)[2024-11-05]. <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotat-YYSB20241018003.htm>.
- [2] 郝永娟,刘春艳,王勇,等. 设施蔬菜连作障碍的研究现状及综合调控 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(8): 396-398.
- [3] 李天来,杨丽娟. 作物连作障碍的克服——难解的问题 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(5): 916-918.
- [4] 丁伟,张贺翠. 论植物死亡 [J]. 植物医学, 2023, 2(3): 1-15, 101.
- [5] 周德平,褚长彬,范洁群,等. 不同种植年限设施芦笋土壤微生物群落结构与功能研究 [J]. 土壤, 2014, 46(6): 1076-1082.
- [6] 杨凤军,安子靖,杨薇薇. 番茄连作对日光温室土壤微生物及土壤理化性状的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2016(1): 42-46.
- [7] 赵帆,赵密珍,王钰,等. 不同连作年限草莓根际细菌和真菌多样性变化 [J]. 微生物学通报, 2017, 44(6): 1377-1386.
- [8] 周杰,师恺,夏晓剑,等. 中国蔬菜栽培科技 60 年回顾与展望 [J]. 园艺学报, 2022, 49(10): 2131-2142.
- [9] 耿云,王海. 淮北地区设施茄果类蔬菜主要病害发生特点及绿色防控技术 [J]. 农业科技通讯, 2020(11): 261-262, 267.
- [10] 王铁臣,郭芳. 北京市大白菜生产现状、存在问题及发展对策 [J]. 蔬菜, 2024(8): 10-14.
- [11] 陈森平. 厦门市茄果类蔬菜育苗常见病害发生及防治 [J]. 福建热作科技, 2024, 49(2): 49-51.
- [12] 何云华. 福清市设施蔬菜大棚土传病害发生现状及防治对策 [J]. 长江蔬菜, 2016(17): 53-55.
- [13] 迟健林,曲永玲,姜雪,等. 海阳市设施蔬菜连作障碍改良试验 [J]. 农业科技通讯, 2024(9): 139-141, 221.
- [14] 赵思峰,方许阳,姜海荣,等. 新疆加工番茄腐霉根腐病原鉴定及其 rDNA 的 ITS 区段分析 [J]. 植物保护学报, 2009, 36(3): 219-224.
- [15] 徐淑萍. 莲都区设施栽培蔬菜病害发生趋势及防治技术 [J]. 中国农业信息, 2016, 28(2): 81-82.
- [16] 吴茵,马承和,明家琪,等. 江西省设施蔬菜生产现状调查与分析 [J]. 中国蔬菜, 2024(4): 8-14.
- [17] 蔡林运,吴正贵,黄洁,等. 苏州市设施蔬菜生产现状探析 [J]. 上海蔬菜, 2024(1): 77-80.
- [18] 中国产业经济信息网. 江苏、浙江、湖北等省扎实推进设施蔬菜“千万行动” [J]. 农业工程技术, 2023, 43(27): 4.
- [19] 李晓玲. 山西柳林保护地蔬菜病害发生特点与防治策略 [J]. 农业工程技术, 2019, 39(5): 42, 44.
- [20] 曲淑娟,曾祥美,赵金凤,等. 重庆渝北地区设施蔬菜连作障碍的研究 [J]. 中国园艺文摘, 2018, 34(3): 189-190.
- [21] WEI Z, YANG X M, YIN S X, et al. Efficacy of Bacillus-Fortified Organic Fertiliser in Controlling Bacterial Wilt of Tomato in the Field [J]. Applied Soil Ecology, 2011, 48(2): 152-159.
- [22] WANG M X, GE A H, MA X Z, et al. Dynamic Root Microbiome Sustains Soybean Productivity under Unbalanced Fertilization [J]. Nature Communications, 2024, 15(1): 1668.
- [23] 张智浩,邓毅书,聂强,等. 白菜健康株与根肿病患株的土壤微生物群落和功能差异 [J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(4): 530-542.
- [24] 张俊伶,张江周,申建波,等. 土壤健康与农业绿色发展: 机遇与对策 [J]. 土壤学报, 2020, 57(4): 783-796.
- [25] 马宁宁,李天来. 设施番茄长期连作土壤微生物群落结构及多样性分析 [J]. 园艺学报, 2013, 40(2): 255-264.
- [26] SENAPATI M, TIWARI A, SHARMA N, et al. *Rhizoctonia solani* KÜHN Pathophysiology: Status and

- Prospects of Sheath Blight Disease Management in Rice [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 881116.
- [27] WIGG K S, BRAINARD S H, METZ N, et al. Novel QTL Associated with *Rhizoctonia solani* KÜHN Resistance Identified in Two Table Beet $\times$ Sugar Beet F₂: 3Populations Using a New Table Beet Reference Genome [J]. *Crop Science*, 2023, 63(2): 535-555.
- [28] SEIDEL D. Effect of Plants on Phytopathogenic Soil Fungi. VI. *Rhizoctonia solani* KÜHN [J]. *Zentralblatt Fur Bakteriologie, Parasitenkunde, Infektionskrankheiten und Hygiene Zweite Naturwissenschaftliche Abt*, 1970, 124(6): 546-551.
- [29] ZHOU X G, WU F Z. Dynamics of the Diversity of Fungal and Fusarium Communities during Continuous Cropping of Cucumber in the Greenhouse [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2012, 80(2): 469-478.
- [30] AOKI T, O'DONNELL K, GEISER D M. Systematics of Key Phytopathogenic Fusarium Species: Current Status and Future Challenges [J]. *Journal of General Plant Pathology*, 2014, 80(3): 189-201.
- [31] 银玲, 田迅, 霍万学. 腐霉属菌形态学及分子生物学鉴定技术的概述 [J]. *中国蔬菜*, 2013(12): 15-22.
- [32] KLISIEWIJM. Relation of *Pythium* Spp. to Root Rot and Damping-off of Safflower [J]. *Phytopathology*, 1968, 58(10): 1384-1389.
- [33] MIAO J Q, LIU X F, DU X R, et al. Sensitivity of *Pythium* spp. and *Phytophthora* spp. and Tolerance Mechanism of *Pythium* spp. to Oxathiapiprolin [J]. *Pest Management Science*, 2020, 76(12): 3975-3981.
- [34] MARTINS P M M, MERFA M V, TAKITA M A, et al. Persistence in Phytopathogenic Bacteria: Do We Know Enough? [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2018, 9: 1099.
- [35] GENIN S, DENNY T P. Pathogenomics of the *Ralstonia solanacearum* Species Complex [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2012, 50: 67-89.
- [36] WANG Z J, LUO W B, CHENG S J, et al. *Ralstonia Solanacearum*-a Soil Borne Hidden Enemy of Plants: Research Development in Management Strategies, Their Action Mechanism and Challenges [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14: 1141902.
- [37] JIANG G F, WEI Z, XU J, et al. Bacterial Wilt in China: History, Current Status, and Future Perspectives [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 1549.
- [38] CARACCIOLO R, SELLA L, DE ZOTTI M, et al. Efficacy of *Trichoderma longibrachiatum* Trichogin GA IV Peptaibol Analogs Against the Black Rot Pathogen *Xanthomonas campestris* P.v. *campestris* and Other Phytopathogenic Bacteria [J]. *Microorganisms*, 2023, 11(2): 480.
- [39] 王瀚, 卓平清, 王让军, 等. 甘肃陇南核桃黑斑病病原菌的分离鉴定及其致病性研究 [J]. *中国果树*, 2018(4): 69-71.
- [40] SU Y, SHAO M R, LI T Y, et al. KaAhl, a Novel N-Acylhomoserine Lactonase from *Kushneria Avicenniae* and Attenuated Effect on the Virulence of *Erwinia Carotovora* [J]. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2021, 26(3): 419-426.
- [41] 罗延青, 王云月, 俎峰, 等. 芸薹根肿菌侵染早期甘蓝型油菜转录组分析 [J]. *中国油料作物学报*, 2019, 41(3): 421-434.
- [42] KAMOUN S, FURZER O, JONES J D G, et al. The Top 10 Oomycete Pathogens in Molecular Plant Pathology [J]. *Molecular Plant Pathology*, 2015, 16(4): 413-434.
- [43] AO N J, ZOU H Y, LI J W, et al. First Report of *Pythium Aphanidermatum* and *Pythium Myriotylum* Causing Root Rot on Chili Pepper (*Capsicum annuum* L.) in Guizhou, China [J]. *Crop Protection*, 2024, 181: 106704.
- [44] PM. *Ralstonia solanacearum*, *R. pseudosolanacearum* and *R. syzygii* (*R. solanacearum* species Complex) [J]. *EPPO Bulletin*, 2022, 52(2): 225-261.
- [45] 张灿. 辣椒疫霉和大豆疫霉中几丁质合酶基因的功能研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [46] GHANI M I, ALI A, ATIF M J, et al. Diversified Crop Rotation Improves Continuous Monocropping Eggplant

- Production by Altering the Soil Microbial Community and Biochemical Properties [J]. *Plant and Soil*, 2022, 480 (1): 603-624.
- [47] 山溪, 张振超, 陶美奇, 等. 韭菜连作障碍引发的病虫害防治 [J]. *蔬菜*, 2023(10): 41-43.
- [48] 华智超, 高森, 汪甜, 等. 不同连作年限不同生长时期对大蒜土壤性质的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2023(6): 97-101.
- [49] 张珍. 冬季棚室蔬菜病害发生特点与主要农艺防控措施 [J]. *河南农业*, 2022(10): 34.
- [50] TAN G, LIU Y J, PENG S G, et al. Soil Potentials to Resist Continuous Cropping Obstacle: Three Field Cases [J]. *Environmental Research*, 2021, 200: 111319.
- [51] 刘昊, 李宝通, 艾则麦提·图尔洪. 新疆维吾尔自治区和田地区设施蔬菜土传病害的发生及防治措施 [J]. *天津农林科技*, 2024(4): 33-35, 46.
- [52] 易江慧, 孙森, 孙明明, 等. 西南地区蔬菜根结线虫病发生与防治研究进展 [J]. *分子植物育种*, 2024(1): 1-18.
- [53] 刘勇, 李凡, 李月月, 等. 侵染我国主要蔬菜作物的病毒种类、分布与发生趋势 [J]. *中国农业科学*, 2019, 52(2): 239-261.
- [54] 余方伟, 张伟, 李建斌, 等. 十字花科作物根肿病研究进展 [J]. *江苏农业科学*, 2024, 52(15): 1-8.
- [55] 段艳茹, 杨军章, 游堂贵, 等. 昭通烟区番茄斑萎病毒病流行与西花蓟马数量关系研究 [J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2020, 35(6): 950-956.
- [56] 王广印, 郭卫丽, 陈碧华, 等. 河南省设施蔬菜连作障碍现状调查与分析 [J]. *中国农学通报*, 2016, 32(25): 27-33.
- [57] 鲍颖. 寿县大棚蔬菜土壤连作障碍发生原因与防治措施 [J]. *安徽农学通报*, 2021, 27(3): 111-112.
- [58] 辛彦荣. 浅谈北方蔬菜病害抗药性问题及治理措施 [J]. *种子科技*, 2017, 35(6): 102, 104.
- [59] 王文桥, 张小凤, 韩秀英, 等. 我国北方蔬菜病害抗药性问题及治理对策 [J]. *中国蔬菜*, 2010(23): 20-23.
- [60] 王潞伟, 任潇妍, 刘源源, 等. 山西省蔬菜灰霉病菌对咯菌腈的抗性及其生物学性状 [J]. *植物病理学报*, 2024 (4): 1-12.
- [61] 赵志模. 从生态学角度看植物医学与植物健康 [J]. *植物医学*, 2023, 2(2): 14-17.
- [62] 缪才凌, 朱书兴, 范天宇, 等. 土壤改良措施对连作生姜土壤微生物群落及枯萎病防效的影响 [J]. *植物医学*, 2022, 1(6): 32-41.

责任编辑 王新娟