

李林林,揭雨成,赵 龙,等. 长江流域油菜渍害现状与防控对策综述[J]. 江苏农业科学,2024,52(10):1-10.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.10.001

长江流域油菜渍害现状与防控对策综述

李林林¹, 揭雨成^{1,2}, 赵 龙¹, 刘小春¹, 张 浪³

(1. 湖南农业大学农学院,湖南长沙 410128; 2. 湖南省草类作物种质创新与利用工程技术研究中心,湖南长沙 410128;

3. 华东师范大学河口海岸科学研究院,上海 200241)

摘要:近年来,长江流域油菜渍涝问题日益凸显,油菜种植区域受到严重影响。油菜渍涝不仅会影响油菜的生长发育及产量,而且还会对土壤质量、农业生态环境和农民的经济收入造成不可估量的损失。本文综述了长江流域油菜渍涝的成因,阐明了渍涝后油菜的形态特征、生理及分子机制,并对油菜渍害防治技术进行了综合分析。本文认为,在油菜种植中选用抗病品种、合理施肥、轮作休闲等方法可以有效地降低油菜渍害的发生率和病害程度。同时,药剂防治也是常用的方法之一,但需要注意药剂使用的正确性和剂量。此外,本文还介绍了基于遥感技术和气象数据的油菜渍害监测和预测方法,以便农民及时采取防治措施,保障油菜的生长和产量。为了更好地解决长江流域油菜渍涝的问题,未来需要加强科学研究,研发更加适应当地条件的抗渍涝品种,加强渍害与植物-微生物互作的研究,以为长江流域农业的可持续发展提供更好的支持。

关键词:油菜渍害;长江流域;现状及问题;防治技术;监测与预测

中图分类号:S422;S565.407 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)10-0001-09

油菜(*Brassica napus* L.)是我国重要的油料作物之一,也是世界上重要的油料作物^[1]。其多元化的用途不仅包括食用油、食品添加剂、生物燃料和化工原料,还包括优良的绿肥和饲料作物。据统计,我国油菜种植面积已超过 6 700 万 hm²,每年油菜籽产量 450 万 t^[2],占据世界种植面积和总产量的 30% 以上^[3]。同时,我国也是全球最大的油菜出口国之一,每年出口量达数百万吨,为国家的贸易收入做出了重要贡献。油菜的种植不仅能够满足国内需求,而且还可以带动周边地区的经济发展,提高农民的收入水平,促进农村的现代化建设。

长江流域是我国冬油菜主产区,包括江苏、安徽、湖北、四川、湖南等省份^[4-6],其油菜种植面积约占全国油菜种植总面积的 80%^[7],占世界种植面积的 1/5,其油菜产量也占世界的 1/5^[8]。该地区气候和土壤条件适宜油菜的生长,农民们对油菜的种植

技术熟练,因此该地区的油菜产量高、质量好,有着重要的地位。长江流域的油菜种植具有多品种多用途、种植技术熟练、产量高质量好等特点。该地区不同省份的油菜品种和用途存在差异,例如江苏省主要种植早熟和中熟品种,主要用途是食用油和食品添加剂;湖北省则以中晚熟品种为主,主要用途是生物柴油和工业原料;湖南省油菜种植规模逐年扩大,产业链不断完善。除了长江流域,油菜在我国还分布于黄淮海平原区、西南地区、东北地区和华南地区等地。

长江流域地区气候湿润,水资源充足,同时也易发洪涝灾害^[9-10]。加之人口的快速增长和城市化进程导致洪水频发^[11],农田受渍害和涝害的风险增加^[12],这无疑是油菜产业种植和发展的灭顶之灾,严重地区直接造成 17%~42% 的产量损失^[13]。因此,需要采取一系列综合性的措施来预防和控制长江流域油菜渍害和涝害的发生。其中,加强排水设施建设、改善土壤通气性、合理调整油菜种植结构、提高油菜品种的耐涝性等措施十分关键。这些措施不仅可以减少油菜渍害和涝害的发生,还能提高当地农业生产的质量和效益,促进经济发展和环境保护。因此,加强油菜种植区域的综合防控,对于保障当地农业生产和经济发展具有重要意义。

收稿日期:2023-06-21

基金项目:国家重点研发计划(编号:2019YFD1002205-3);湖南农业大学研究生科研创新项目(编号:2022XC039);国家饲草与饲料兼用作物资源分库项目(编号:NCGRC-2020-48)。

作者简介:李林林(1992—),女,甘肃通渭人,博士研究生,研究方向为作物生理生态及分子育种。E-mail:lll@stu.hunau.edu.cn。

通信作者:揭雨成,博士,教授,主要从事麻类及草类作物种质创新与利用研究。E-mail:ycjie@stu.hunau.edu.cn。

1 油菜渍涝定义及产量危害

1.1 油菜渍涝的定义和成因

油菜渍涝的本质是土壤中水分过多,导致油菜根部缺氧,影响油菜的正常生长和发育。渍害广义上指土壤中含水量过多对油菜产生的伤害。当土壤含水量长时间处于饱和状态且地表无积水时,被定义为渍害;当土壤含水量超过最大持水量的 90% 时,即会发生危害,被判定为涝害。此现象主要由以下因素共同作用而成:首先,长江流域地区气候湿润,水资源充足,但也容易发生洪涝灾害,造成土壤水分过多。其次,油菜适宜生长的土壤为疏松、排水良好的土壤,如果土壤密实或排水不畅,就容易发生油菜渍涝。此外,过度开垦、过度灌溉、不合理的耕作方式等人类活动也是造成油菜渍涝的重要原因。

1.2 油菜渍涝的产量危害

水分是油菜生长发育的重要指标,与土壤肥力、气象和温度等因素密切相关^[1]。近年来,随着全球气候危机、极端天气频繁以及雨量分布不均,洪涝和长期阴雨连绵现象频繁发生,容易导致渍涝灾害^[14]。据世界气象组织(WMO)《天气、气候和水极端事件造成的死亡和经济损失图集(1970—2019)》统计,由极端天气引起的灾害报告已超过 11 000 次,累计造成 3.64 万亿美元的经济损失。最新的新闻报道表明,2020 年 6—7 月,我国长江中下游地区遭遇自 1961 年以来最严重的洪水泛滥,降水量达到 759.2 mm,波及 27 个省份、6 300 万人口、603 万 hm^2 农田,导致 114 万 hm^2 油菜绝收,经济损失达 260 亿美元。郭一鸣等在稻油轮作田通过苗期渍水 12 d,发现油菜产量与产量构成因素株高、有效角果数、角果长、每角果粒数和生物量的影响均显著^[15]。据 1961—2010 年湖南省 96 个气象站气象数据显示,湘东和湘中北在油菜开花期处于低温阴雨天气的年次率为 50%,基本 2 年一遇,导致授粉结实不良,产量不高^[16]。近 50 年来安徽省抽薹期油菜渍涝指数呈上升态势,沿江地区渍涝害 2 年一遇,皖南区 1~2 年一遇^[17]。油菜初花期渍水处理显示产量损失严重,其主要通过影响油菜的角果数影响产量^[18]。

我国是一个拥有 14 亿人口的消费大国,必须确保油菜产量富足,以满足本国人民安康稳定的生活。在当前和未来气候变化的情况下,渍害是威胁

我国油菜产量安全的隐患之一。因此,国内外科研工作者开展了大量关于渍涝胁迫对油菜生长发育及形态特征的研究,全面探究了影响油菜渍涝灾害的机制特征,评估了经济效益和生态效益^[19],并提出了相应的技术缓解措施。

2 渍害对油菜生长发育的影响机制

2.1 渍害对油菜形态的影响及机制

渍水胁迫可分为短期和长期 2 种类型。油菜在短期渍水下的生长发育不受影响,甚至可能提高生理代谢活性。然而,长期渍水会抑制生理代谢活动,阻碍生长发育,导致抗氧化酶活性降低、呼吸代谢受抑制以及叶片失绿萎蔫等表现。同时,油菜的株高、茎粗和产量等农艺性状指标也会降低^[20]。

研究表明,渍水和油菜之间会发生相互作用。渍水会影响油菜的生长发育和生理代谢,并引发油菜启动一系列防御措施以减轻渍水伤害。当渍水时间超过油菜的耐受限度时,便会产生渍害^[20]。在根系遭受渍害时,根径会增加,根长会减小,根体积变小,根毛数量减少,根色变为褐色铁锈状,同时不定根会产生,且初生不定根的气腔数量明显增多^[21]。通过这些变化,油菜能够增强吸氧能力以应对渍害胁迫。此外,根内部也会逐渐形成运输氧气的通气组织,以提高氧气利用率。

地上部表现为株高、茎粗的显著降低,叶片呈现出自下而上逐次变黄衰老症状,叶片数及光合有效叶片数减少,植株干物质质量降低^[22]。根系是吸收水分和养分的主要器官,根系的数量及根区分布形态决定着对土壤矿物质和水分的吸收强弱。水分过多时,根系一般分布浅而密,土壤通气状况较差,根冠比较低^[23]。此外,渍害显著降低了根系的伤流量和氨基酸合成能力,失活后的根系限制了油菜的正常生长发育。

2.2 渍害对油菜的生理特性的影响机制

2.2.1 细胞结构的变化及其机制 超微结构是评估油菜等作物逆境损伤的细胞形态学手段之一。研究发现,油菜细胞死亡与渍害胁迫下液泡和叶绿体膜结构的破坏密不可分,油菜叶片细胞淀粉粒减少,通气组织形成,不定根大量产生,油菜细胞超微状态改变,酶活性降低,油菜植物体组织完整性被破坏^[20],最终油菜叶片细胞死亡^[24]。

先前的研究通过精密透射电镜仪器观察了幼苗渍水胁迫下的叶肉结构^[20,24],发现幼苗无渍害

时,初生根细胞核、细胞质、液泡化、淀粉粒,以及细胞器和细胞膜结构正常清晰可见。幼苗渍水 6 h 后,初生根细胞的显微结构明显改变,细胞质开始降解,内质网大面积撕裂和断开,表现为油菜细胞液泡化。12 h 后,细胞质变得更稀薄,细胞液泡结构越加不清晰,大量的液泡膜被破坏,叶片细胞内线粒体内嵴数量出现明显降低,细胞质淀粉粒也逐步降解。24 h 后,细胞质和细胞膜完全分不清楚,细胞壁明显降解,线粒体变形、内嵴消失,没有淀粉粒的存在。48 h 后,细胞质和细胞膜完全消化,线粒体严重变形且长度增加,许多地方出现了膨胀变大,使得膨胀变大处的双层膜发生改变。72 h 后,根尖分生细胞完全死亡,唯独存在还没有完全消化的细胞壁。

渍水后油菜根系生长缓慢,新根发生率和根毛密度降低,随渍水时间延长初生根和侧根发黑死亡,作物根系活力降低、代谢紊乱,地上部常出现缺水 and 缺氮症状,叶片卷曲、枯黄萎蔫,新叶形成受阻,绿叶面积减少。油菜茎秆弯曲性能和穿刺强度降低,抗倒伏能力减弱,具体表现为基部第 3 茎节粗度、皮层厚度和维管束数目等显著减小^[25]。

2.2.2 光合特性的变化及其机制 光合作用是绿色植物吸收光能,通过光反应和暗反应 2 个阶段,将 CO_2 和 H_2O 合成有机物,并释放氧气的过程。其中涉及光吸收、电子传递、光合磷酸化、碳同化等重要反应步骤^[26]。

当油菜遭受渍害后,其光合能力明显降低,表现为净光合速率(P_n)、表观量子效率(AQY)和羧化效率(CE)等指标下降,同时脱落酸(ABA)积累,导致叶片水势上升,气孔闭合,气孔导度降低^[26],进而蒸腾速率减缓,胞间 CO_2 浓度降低。此外,RuBP 羧化酶的活性也下降,丙二醛(MDA)含量增加,叶绿素含量降低,结果组织内糖分急速耗尽,引发“糖饥饿”现象^[27-28],加速了叶片衰老和脱落。另外,渍害还抑制了光合产物的分配,碳素同化率降低,导致叶片可溶性蛋白含量显著下降,叶片失绿,加快叶片衰老。在根部,“糖饥饿”现象尤为明显^[29]。有研究认为,油菜光合速率受渍水影响的敏感性由高到低依次是花期、角果成熟期、抽薹期和苗期^[24]。

2.2.3 呼吸代谢的变化及其机制 呼吸作用是植物生命活动的基础,其产生的能量及中间产物对植物生长发育至关重要。根系是植物物质与能量的地下枢纽,通过呼吸将物质能量转移到地上部促进

根部发育。植物细胞内有机物通过一系列酶的作用逐步氧化分解,同时释放能量(ATP),这个过程被称为呼吸作用。呼吸作用包括糖酵解(EMP)、三羧酸循环(TCA)和戊糖磷酸(PPP)3 个途径。一般来说,植物根系经有氧呼吸,利用分子氧将呼吸底物经由 EMP 生成丙酮酸,丙酮酸在有氧条件下进行 TCA 以及 PPP。

渍害是自下而上、从根到叶的过程。土壤渗透性下降导致氧气溶解速率降低,使得根系呼吸途径由有氧呼吸转变为无氧呼吸。无氧呼吸会导致能量供应不足,根系将有限能量用于合成厌氧相关蛋白,如乙醇发酵相关酶类等。同时,无氧呼吸产生大量的有害物质破坏细胞膜结构,导致细胞质酸中毒危害根系。此外,根系细胞活性氧清除系统活性降低,细胞中活性氧增加,细胞质膜透性剧增,破坏细胞线粒体结构,最终导致细胞功能丧失^[30]。

田间试验观察到,渍水后植物生长发育有先升后降的过程,可见无氧呼吸对渍水根系维持生长有一定的生理意义。研究发现,渍水 0 ~ 15 d 油菜根系中的乳酸脱氢酶(LDH)活性呈现出先升后降的趋势^[31]。1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)随蒸腾液流由根系向地上部分运输,地上部分的 ACC 在通气条件下转变为乙烯^[28]。然而,持续渍害后,根系大量的 ACC 氧化酶将转化为乙烯诱导激素(如木质纤维素酶),并表现为乙烯或组织缺氧条件诱导的一种细胞程序性死亡的形式。因此,渍害对植物生长发育造成了显著的影响。

总之,渍害导致土壤氧气供应不足,使植物根系呼吸途径由有氧呼吸转变为无氧呼吸,导致能量供应不足、细胞膜透性剧增、活性氧增加等一系列生理反应,最终影响植物生长发育。针对这种情况,需要加强土壤通气性、提高土壤水分调控能力等措施,减少渍害对植物的影响。

2.2.4 抗氧化酶和根际土壤酶活性的变化及其机制 油菜渍害会导致过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性下降,MDA 含量增加,细胞膜脂过氧化作用加剧,叶片衰老加快^[25]。淹水初期,SOD 活性提高,MDA 含量变化不显著;超过 5 d 后,SOD 和 CAT 活性降低,MDA 含量显著提高,根系组织坏死严重^[32]。油菜幼苗的低氧耐受性与硝态氮代谢有关,硝态氮积累量低的品种具有更强的耐淹能力^[33]。不同品种的研究表明,非耐渍型品种植株 MDA 含量增加幅度大,而耐渍型

品种 POD 活性呈现先升高后降低的趋势,变化程度较大^[34]。

土壤酶是土壤中最活跃的组分之一,能够促进物质能量的转化,与土壤养分密切相关。当渍害发生后,土壤氧化还原电位下降,根部 CO₂ 分压增加,根系代谢紊乱,根际土壤环境发生改变,土壤酶活性和种类发生变化,如酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、脲酶和芳基硫酸盐酶活性降低。研究表明,渍水显著抑制了这些酶的活性,进而影响土壤养分循环,产生负面影响,影响植物的生长发育。例如,Gu 等的研究表明,渍水油菜根际土壤中的脲酶、磷酸酶以及转化酶等过氧化物酶活性明显下降,且随着渍水时间的延长,降幅逐渐加大,与不受渍水影响的土壤相比,速效磷及氮素含量明显减少^[35]。

2.2.5 矿质元素转运的变化及其机制 矿质元素是油菜等作物生长发育所必需的营养元素,通常通过根尖吸收水分和离子态矿质元素来获取,同时也可以通过叶片吸收水和无机盐来获取^[36]。根尖吸收水分是自由扩散的方式,而吸收矿质元素则需要主动运输。植物通过蒸腾作用提供动力,促进从土壤中获取矿质元素。但在渍害下,根系呼吸减缓,叶片气孔关闭,蒸腾作用受阻,根尖吸收无机盐的能力下降。此外,在涝害发生时,无机盐易溶于水并随径流失,导致土壤速效养分含量显著降低,脲酶活性增强形成氨挥发,氮素形态改变,硫、锌、铜的有效性下降,而磷、硅、铁、锰的有效性升高^[28,37]。水过多还会造成土壤质地黏重,透气性降低,结构破坏,三相比例失调,从而阻碍植物呼吸。

此外,土壤含水量变化引起土温、有机质含量、pH 值、氧化还原电位(Eh)和土壤质地等因素改变,扰乱了土壤微生物量和理化特性。土壤氧化还原电位下降,产甲烷厌氧菌活性增强,加剧了 CH₄ 等温室气体的产生与排放,进一步损耗了有机物。诸多研究也证实,渍水土壤的 CH₄ 排放量会上升。此外,当土壤含水量为饱和含水量 45%~75% 时,通过硝化、反硝化作用,可产生较多的 N₂O,造成 N 的损失;而当土壤含水量超过饱和含水量时,N₂O 的排放则很微量。

植物在生长发育过程中,能实时响应环境的变化。渍水后,叶片中 N、K、Mg、Zn 和 Cu 含量大幅度降低,而特别积累 Mn 和 Fe。同时,耐渍型品种能富集较多的 Zn,而 P 和 Fe 相对含量反之。此外,渍害后新生叶片形态会变得窄而长,其机理有待进一步

研究。总体来说,土壤氮素对油菜的渍害减产影响较大,相对其他矿质元素更为敏感。

2.2.6 土壤微生物多样性的变化及其机制 土壤微生物是指土壤中一切肉眼看不见或看不清楚的微小生物的总称,其中包括细菌、真菌、放线菌等。土壤微生物数量庞大,每克土壤中含有成亿上百亿个微生物不等,与植物根部物质养分和微环境密不可分。大部分微生物能将土壤中的有机物矿化为无机物,供油菜吸收利用和转化,但少部分致病微生物会限制油菜的生长发育。不同油菜在根际区会逐渐形成适应自身的微生物群落,具有高抗逆性的油菜品种能汇集特定的有益微生物。

渍害胁迫直接影响根际微生物,间接影响根际微生物群落结构。涝害制造的厌氧环境能显著降低环境敏感型土壤微生物呼吸速率和活力,导致微生物群落结构的变化。长期渍害会迅速降低根际土壤细菌丰度^[38]。一般而言,耐涝品种根际土壤中的细菌数量要高于渍害敏感性品种,这可能与品种根部不定根数量、通气组织、根瘤数量、电导率和丙二醛含量等参数有关。此外,耐涝品种和涝害敏感品种中油菜初级和次级代谢物存在差异,这些差异化合物大多数都参与碳和氮的代谢以及苯丙烷途径,可能也是造成不同渍害品种中细菌数量存在差异的原因之一。

2.3 油菜响应渍涝的分子机制

油菜在渍涝胁迫下,通过脱落酸(ABA)信号通路、Ca²⁺ 信号通路、ROS 信号通路和 *NRT1.1* 基因家族等分子机制响应逆境^[7]。

ABA 是一种重要的保护植物免受非生物胁迫的植物激素^[39],渍涝下 ABA 的含量会增加,从而激活 ABA 信号通路^[40],促进油菜的根系发育和幼苗生长。研究表明,ABA 信号通路中的一些基因如 *NCED*、*PYR/PYLs* 和 *SnRK2* 等在渍涝逆境中发挥着重要作用^[41-42]。*NCED* 是 ABA 合成途径中的关键限速酶^[43],可以在渍涝胁迫下诱导 ABA 的合成。研究表明,油菜中的 *NCED* 基因家族具有不同的表达模式,其中 *NCED3*、*NCED4* 和 *NCED5* 基因在油菜渍涝逆境中表达显著上调,从而促进 ABA 的合成。*PYR/PYLs* 基因家族是 ABA 受体,在 ABA 结合后能够激活 ABA 信号通路。研究表明,在油菜渍涝逆境中,*PYR/PYLs* 基因家族的表达水平与 ABA 含量呈正相关关系。*SnRK2* 基因家族是 ABA 信号通路中的重要调节因子,能够参与油菜的逆境响应和生长

调控。研究表明,在油菜渍涝逆境中,*SnRK2* 基因家族的表达水平显著上调,从而激活 ABA 信号通路,提高油菜的抗逆性。

渍涝胁迫会导致细胞内 Ca^{2+} 浓度的升高,从而激活 Ca^{2+} 信号通路,调节油菜的生长和发育。研究表明, Ca^{2+} 信号通路中的一些基因如 *CaM*、*CMLs* 和 *CIPKs* 等在油菜渍涝逆境中发挥着重要作用。*CaM* 基因是 Ca^{2+} 信号通路中的重要调节因子,能够参与油菜的逆境响应和生长调控。研究表明,在油菜渍涝逆境中,*CaM* 基因的表达水平显著上调,从而参与 Ca^{2+} 信号通路的调节。*CMLs* 基因家族是 Ca^{2+} 信号通路中的重要调节因子,能够参与油菜的逆境响应和生长调控。研究表明,在油菜渍涝逆境中,*CMLs* 基因家族的表达水平显著上调,从而参与 Ca^{2+} 信号通路的调节。*CIPKs* 基因家族是 Ca^{2+} 信号通路中的重要调节因子,能够参与油菜的逆境响应和生长调控。研究表明,在油菜渍涝逆境中,*CIPKs* 基因家族的表达水平显著上调,从而参与 Ca^{2+} 信号通路的调节。

渍涝胁迫会导致细胞内 ROS 含量的增加,从而激活 ROS 信号通路,参与油菜的逆境响应和生长调控。研究表明,ROS 信号通路中的一些基因如 *APX*、*CAT* 和 *SOD* 等在油菜渍涝逆境中发挥着重要作用。*APX* 是抗氧化酶,在 ROS 信号通路中具有重要作用。研究表明,在油菜渍涝逆境中,*APX* 基因的表达水平显著上调,从而参与 ROS 信号通路的调节。*CAT* 是抗氧化酶,在 ROS 信号通路中具有重要作用。研究表明,在油菜渍涝逆境中,*CAT* 基因的表达水平显著上调,从而参与 ROS 信号通路的调节。*SOD* 是抗氧化酶,在 ROS 信号通路中具有重要作用。研究表明,在油菜渍涝逆境中,*SOD* 基因的表达水平显著上调,从而参与 ROS 信号通路的调节。

NRT1.1 基因家族在油菜响应渍涝过程中发挥了重要作用,它们能够调节油菜的氮代谢和吸收利用,从而提高油菜的抗逆性。研究表明,*NRT1.1* 基因家族中的一些基因如 *NRT1.1*、*NRT1.7* 和 *NRT1.8* 等在油菜渍涝逆境中发挥着重要作用。*NRT1.1* 基因是 *NRT1.1* 基因家族中的重要成员,能够调节油菜的氮代谢和吸收利用。研究表明,在油菜渍涝逆境中,*NRT1.1* 基因的表达水平显著上调,从而提高油菜的氮利用效率和抗逆性。*NRT1.7* 基因是 *NRT1.1* 基因家族中的另一个重要成员,能够调节油菜的氮代谢和吸收利用。研究表明,在油菜渍涝

逆境中,*NRT1.7* 基因的表达水平显著上调,从而提高油菜的氮利用效率和抗逆性。*NRT1.8* 基因也是 *NRT1.1* 基因家族中的一个重要成员,能够调节油菜的氮代谢和吸收利用。研究表明,在油菜渍涝逆境中,*NRT1.8* 基因的表达水平显著上调,从而提高油菜的氮利用效率和抗逆性。

目前,油菜响应渍涝的分子机制研究已经取得了一些进展。研究人员通过转录组学、蛋白质组学等手段,鉴定了大量与油菜响应渍涝相关的基因和蛋白质,如 ABA 合成相关基因 *NCED*、ABA 信号转导相关基因 *SnRK2* 和 *CaM* 等。同时,还发现了许多与油菜响应渍涝相关的 miRNA,如 miR393、miR167 等。此外,研究人员还通过遗传工程手段,成功构建了一些油菜渍涝抗性转基因材料,如转 *AtNAC2*、*OsDREB1A* 等基因,这些材料能够有效提高油菜的抗逆性和产量。

2.4 渍涝影响油菜木质素和凯氏带合成和累积的分子机制

渍害会对油菜的木质素合成和积累产生影响,其分子机制包括以下几个方面。首先,渍害能够刺激油菜体内酚类物质和酚氧化酶的合成,从而促进木质素的积累^[44]。其次,木质素合成途径中的关键基因 *CCoAOMT* 发生变化,影响了木质素的合成^[45]。再次,植物激素在木质素合成过程中起重要作用,其合成和信号转导受到渍害的调节。最后,渍害对木质素分解途径中关键酶的活性也有着重要影响。这些研究为深入探究渍害对油菜木质素合成和累积的分子机制提供了理论基础。

凯氏带 (Casparian strip) 是油菜在逆境条件下产生的一种特殊结构,具有抗逆功能。其合成过程受到多个基因的调控,其中关键基因包括 *RbohF*、*HMGR*、*FPS* 和 *GA20ox*^[46]。渍涝逆境会影响这些基因的表达量和相关酶的活性,从而影响凯氏带的合成。同时,渍涝逆境也会影响凯氏带所需前体物质的供应和多个关键酶的活性调节。此外,调节凯氏带的降解过程也受到多个酶的调控。这些研究为深入探究渍涝逆境对油菜凯氏带合成和降解的分子机制提供了理论基础。

3 油菜渍害的防治技术

3.1 渍害的预防

3.1.1 选用耐渍涝品种 抗渍涝品种应具有根系发达、凯氏带含量高、抗氧化能力强和生长速度快

等特点。抗渍涝品种的根系发达,能够更好地吸收土壤中的水分和养分。同时,这些品种的根系也具有更好的通气性和排水性,能够避免根系缺氧和烂根现象的发生。抗渍涝品种的凯氏带含量较高。凯氏带是油菜在逆境条件下产生的一种次生代谢产物,具有多种生理功能,其中包括抗逆功能。因此,凯氏带含量高的品种具有更强的抗逆能力。抗渍涝品种的抗氧化能力较强。渍涝逆境会导致油菜体内产生大量的活性氧自由基,从而引发氧化应激反应。抗渍涝品种具有更强的抗氧化能力,能够清除体内的自由基,从而减轻氧化应激反应的损伤。抗渍涝品种的生长速度较快。这些品种能够快速适应淹水环境,保持正常的生长和发育,从而避免生长停滞和死亡。许晶等认为,油菜耐渍性遗传变异广泛,一般白菜型强于甘蓝型,常规种优于杂交种,长江下游品种耐渍性优于长江中上游品种,春油菜耐渍性优于冬油菜^[47]。

抗渍涝油菜品种的选育和推广是解决渍涝地区油菜生产问题的重要途径。筛选亲本材料是选育抗渍涝油菜品种的第一步。通过大规模的遗传多样性分析和抗逆性筛选,可以筛选出具有较强抗逆性的油菜亲本材料,包括野生种、品种和自然变异体等。接下来,将选定的亲本材料进行杂交和选择,选出具有较强抗逆性和优良农艺性状的杂交后代。在选择过程中,可以结合分子标记辅助选择,提高选择效率。

进行田间试验是评估抗渍涝油菜品种性状的重要手段。将选育出的抗渍涝油菜品种进行田间试验,评估其耐淹水性、凯氏带含量、抗氧化能力和生长速度等性状。同时,还需要对其产量和品质等经济性状进行评估。经过田间试验验证的抗渍涝油菜品种可以进行大面积推广应用。此外,还可以通过示范推广、培训和技术推广等方式,向油菜种植户普及抗渍涝油菜品种的种植技术和管理方法,促进其在渍涝地区的种植。

3.1.2 建立通畅的沟渠系统 建立通畅的沟渠系统是预防油菜渍害的重要措施之一^[48]。具体措施如下:首先,定期清理农田内的沟渠,并保持沟渠畅通。其次,对于长期未疏浚的沟渠,可以使用机械设备进行疏浚。与此同时,对于损坏或变形的沟渠,及时进行修整和加固,确保沟渠结构完好。还需在土地较为平坦的地区建立分层排水系统,将不同层次的水分排除,以保持土壤湿度适宜。江汉平

原渍面积约 76.4 万 hm^2 ,占耕地总面积达 40.6%,其主要归功于围湖垦殖、筑堤修坝等加快了渍地的形成^[12]。

3.2 渍害的治理

3.2.1 合理施肥 抗渍涝油菜田的施肥原则和方法对于确保油菜在逆境条件下获得足够养分以保证正常生长和发育具有重要意义^[49]。施肥应遵循以下几个原则:增施有机肥以提高土壤有机质含量和肥力^[50],适量施氮肥并结合土壤肥力和油菜生长情况进行调整,控制磷肥用量以避免磷元素积累,适量施钾肥以提高土壤钾含量和油菜的抗逆性,注意施肥时机以避免浪费和环境污染。在抗渍涝油菜田中,应根据具体情况进行施肥原则和方法的调整。在增施有机肥方面,可以施用牛粪、鸡粪等有机肥料。适量施氮肥时,可以根据油菜生长期和生育阶段进行科学施肥。控制磷肥用量可采取磷肥与有机肥混施等方式。适量施钾肥时,可以结合土壤钾含量和油菜生长情况进行调整。在施肥时机方面,应结合气象条件和油菜生长情况进行合理安排。

抗渍涝油菜田的施肥量和时期的控制需要根据不同的生长阶段和地区气候条件进行科学调整。具体可遵循以下几个原则:在种植前期,应根据土壤肥力情况和油菜品种特点,适量施入有机肥和基础肥,以提高土壤肥力和满足油菜营养需求。在生长期中,应适量施入氮肥,以促进油菜生长并增加产量。此外,应注意控制磷肥用量,避免磷元素的积累,并适当增加钾肥的施用量,以提高油菜的抗逆性。在结实期中,应适量施入氮肥和钾肥,以提高油菜的产量和品质。同时,还要注意施肥量的控制,避免过量施肥导致浪费和环境污染。在收获后期,应适量施入有机肥和基础肥,以恢复土壤肥力和准备下一季作物的种植。同时,还要注意施肥量的控制,避免过量施肥导致土壤污染和环境破坏。

3.2.2 轮作休闲 渍涝油菜田的轮作休闲是指在油菜种植周期结束后,将土地留空一段时间,不进行任何农业生产活动,以达到土壤恢复和保护的目的。其原理和效果如下:首先,轮作休闲可以促进土壤水分和养分的调节。经过长时间的种植和施肥,土壤中的水分和养分含量会逐渐降低,影响下一季作物的生长和发育。轮作休闲可以让土地得到充分的休息和调节,促进水分和养分的重新积累和调整,为下一季作物提供更好的生长环境。其

次,轮作休闲可以减少渍涝油菜田中有害生物和病原体的数量和种类,从而控制它们对下一季作物的影响。另外,轮作休闲还可以改善土壤结构和肥力,促进土壤微生物的活动和有机质的分解,提高土壤肥力和结构稳定性。此外,轮作休闲对于环境保护和资源利用也具有重要意义。通过减少农业生产对环境的影响和资源的浪费,轮作休闲可以保护土地和水资源,提高农业可持续发展水平。

现有研究中的渍涝油菜田的轮作休闲的操作方法可以分为以下几个方面:首先,土地准备是轮作休闲的重要环节。在轮作休闲前,应对土地进行彻底的清理和整理,包括清除残茬和杂草、平整土地、开沟排水等^[51]。同时,还应施入适量的基础肥和有机肥,以提高土壤肥力和水分保持能力。其次,在休闲期间,应注意对土地的管理和保护。可以进行覆盖、深松、耕作等操作,促进土壤微生物的活动和有机质的分解,提高土壤肥力和结构稳定性。同时,还应注意防止土壤侵蚀和水土流失,保持土地的稳定性和生态环境。最后,下一季作物的选择和种植也是轮作休闲的重要环节。在轮作休闲结束后,应根据土地情况和气候条件选择合适的下一季作物进行种植。可以选择具有较强适应性和抗逆性的作物,如豆类、麦类、玉米等。同时,还应注意施肥和管理等细节问题,确保作物的正常生长和发育。

3.2.3 药剂措施 油菜抗渍涝的常用药剂主要包括生长调节剂、植物激素、有机酸和微生物制剂等。它们的种类和特点如下:生长调节剂可以促进油菜生长,增强其对逆境的适应能力。其中,赤霉素和生根粉是常见的生长调节剂,可促进油菜的生长和发育,提高其对渍涝的抗性。研究发现,喷施 6-BA、ABA、水杨酸(SA)和烯效唑均能缓解油菜渍害,且 6-BA 和 ABA 的持久效果更佳^[52]。植物激素也是增强油菜抗逆性的重要药剂。赤霉素、脱落酸和吡啶乙酸等植物激素可以促进油菜的生长和发育,提高其对渍涝的抗性^[53]。有机酸可以改善土壤酸碱度,促进营养元素的释放和吸收。柠檬酸、苹果酸等有机酸是常用的药剂,可以改善土壤环境,提高油菜的营养吸收和利用效率,增强其对渍涝的抗性。微生物制剂可以促进土壤微生物的活动,改善土壤质量和结构。枯草芽孢杆菌、磷酸解脲菌等微生物制剂是常见的药剂,它们可以促进土壤微生物的活动,提高土壤肥力和水分保持能

力,增强油菜的抗逆性。杨亚珍等在不同生育期追施印度梨形孢菌用于预防和补救,结果显示,渍害油菜的产量恢复快且抗渍性显著增加^[54]。

药剂防治的操作方法需要根据具体情况进行调整,但一般包括以下几个步骤:首先,在选药和配方时,应全面考虑油菜生长阶段、渍涝程度和药剂特点等因素。同时,还应注意药剂的毒性和安全性问题,确保防治过程的安全和有效。其次,在确定用量和施药时间时,应根据药剂的使用说明和实际情况进行科学合理的调整。要根据油菜生长阶段和渍涝程度等因素,确定合理的用量和施药时间,以提高药剂的效果和安全性。第三,在施药方式和方法上,可以采用多种方式进行施药,如喷雾、滴灌、液肥等。同时,还应注意施药均匀和覆盖面积的问题,避免施药不均导致效果不佳。最后,在施药后,应及时对油菜生长情况进行监测和评估,观察药剂的效果和副作用。如果发现药剂效果不佳或出现异常情况,应及时调整药剂用量和施药方式,以达到预期的防治效果。

4 油菜渍害的监测和预测

4.1 基于遥感技术的监测

4.1.1 遥感技术的原理和应用 油菜渍害的遥感技术是指利用遥感平台获取油菜生长期间的多光谱遥感数据,通过对数据进行处理和分析,提取出反映油菜渍害情况的指标,如植被指数、土壤湿度等,进而实现对油菜渍害的监测和评估的一种方法。其原理和应用如下。

在原理方面,油菜渍害的遥感技术主要利用卫星或飞机等遥感平台获取多光谱遥感数据,并通过数据处理和分析,提取出反映油菜渍害情况的指标,如植被指数、土壤湿度等,从而实现对油菜渍害的监测和评估。

在应用方面,油菜渍害的遥感技术具有广泛的应用前景。它可以在大范围内快速、准确地获取油菜渍害的信息,主要应用于以下几个方面:首先,油菜渍害的监测和评估^[55]。通过对油菜生长期间的多光谱遥感数据进行处理和分析,提取出反映油菜渍害情况的指标,如植被指数、土壤湿度等,实现对油菜渍害的监测和评估。其次,油菜渍害的预警和预测。通过对历史遥感数据和气象数据等进行分析,建立油菜渍害的预测模型,实现对油菜渍害的预警和预测^[56]。最后,油菜渍害的管理和决策。通

通过对油菜渍害的监测和评估,为农业生产的管理和决策提供科学依据,如优化种植结构、调整施肥方案、科学防治病虫害等。

4.1.2 遥感技术在油菜渍害监测中的应用 遥感技术在油菜渍害监测中的应用主要包括以下方面:首先,利用遥感技术获取的多光谱遥感数据,可以计算出植被指数,进而判断油菜的生长状况和渍害程度,实现快速、准确的植被指数监测。有研究表明,利用光谱反射率构建渍害识别指数 $(R_{NIR} + R_{Red}) / (R_{MIR1} \times R_{MIR2})$,通过与常见的 7 个植被指数 (NDVI、NDWI、RVI、PRI、SRPI、SAVI、SIPI) 比较分析发现,指数 $(R_{NIR} + R_{Red}) / (R_{MIR1} \times R_{MIR2})$ 对受渍油菜更为敏感,识别受渍油菜的能力优于其他植被指数,该指数可以用于快速提取受渍油菜的面积^[57]。其次,通过遥感平台获取的微波遥感数据,可以反演土壤湿度信息,进而判断油菜渍害的程度和分布情况,实现土壤湿度监测。此外,遥感图像分类也是油菜渍害监测的重要方法之一。通过对遥感图像进行分类,可以将油菜渍害区域与非渍害区域进行区分,进而实现对油菜渍害的监测和评估。常用的分类方法包括最大似然法、支持向量机等。

4.2 基于气象数据的监测与预警

4.2.1 气象数据的原理 气象数据的获取是通过气象观测站、卫星、雷达等气象测量仪器对大气环境进行实时、连续、多点的监测和观测,获得大气环境中各种气象要素的数据,如气温、湿度、风速、气压、降水量和辐射等。在油菜抗渍涝方面,气象数据主要用于监测和预测油菜生长期间的降雨情况和气温变化,为油菜种植提供科学依据。袁小康根据湖南省 4 个市(县)的农业气象观测站的实测资料分析了油菜减产的气象因子关系^[16]。

4.2.2 基于气象数据的应用预警 基于气象数据的应用主要包括以下几个方面:首先,利用气象数据,可以预测未来一段时间内的降雨情况和气温变化,为农民提供油菜抗渍涝的预测和预警信息,帮助农民及时采取防治措施。其次,通过对气象数据的分析和处理,可以了解油菜生长期间的气候变化情况,如降水量、温度等,为油菜抗渍涝的管理和决策提供科学依据,如调整种植结构、改变施肥方案等。最后,通过对气象数据的监测和分析,可以了解油菜生长期间的降雨情况和气温变化,进而评估油菜的抗渍涝能力和生长状态,为农民提供科学依据,如及时采取抢险措施、选择适宜的品种等。

5 结论

油菜渍害是影响油菜产量和质量的重要因素之一。其机制包括氧气供应不足、水分代谢紊乱、激素代谢异常和基因表达变化等方面。为减少油菜渍害的发生,需要采取综合性措施,如改善土壤排水条件、选择抗渍涝品种、调整施肥方案、预防病虫害和科学管理等。此外,监测和预测技术也可以提高油菜遭受渍害的预测和预警能力,为农民提供科学依据,采取相应的防治措施。未来的研究方向可以从抗渍涝品种的研发、渍害对生长发育机理的深入研究、渍害与植物-微生物互作的研究以及渍害综合防治技术的研究等方面展开。这些研究将为油菜渍害的防治提供更为科学的理论基础和实践指导。

参考文献:

- [1] 杨海云,艾雪莹,Maria B,等. 油菜响应水分胁迫的生理机制及栽培调控措施研究进展[J]. 华中农业大学学报,2021,40(2): 6-16.
- [2] 范成明,田建华,胡赞民,等. 油菜育种行业创新动态与发展趋势[J]. 植物遗传资源学报,2018,19(3):447-454.
- [3] 王汉中. 我国油菜产需形势分析及产业发展对策[J]. 中国油料作物学报,2007,29(1):101-105.
- [4] 陈晓艺,岳伟,王晓东. 安徽省油菜主要发育期预报业务化模型研究[J]. 中国农学通报,2012,28(3):75-80.
- [5] 刘凯文,苏荣瑞,潘建成,等. 春季湿渍害对油菜产量结构的影响与减产效应[J]. 江苏农业科学,2018,46(5):63-66.
- [6] 丁玎,周浩,周凌云,等. 桑植县茶产业现状及发展对策[J]. 茶叶通讯,2017,44(3):58-61.
- [7] 徐明月. 甘蓝型油菜发芽期耐渍相关基因的筛选[D]. 北京:中国农业科学院,2014:1-3.
- [8] Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO statistical databases in 2023[DB/OL]. (2023-04-25)[2023-06-01]. <http://www.fao.org>.
- [9] 朱建强,乔文军,黄智敏. 江汉平原农业水土环境利用与保护[J]. 长江大学学报(自科版),2005,2(11):1-4.
- [10] 张兴. 洞庭湖区低洼稻田避灾种植模式筛选及其关键技术研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2014:1-18.
- [11] Huong H T L, Pathirana A. Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam[J]. Hydrology and Earth System Sciences,2013,17(1):379-394.
- [12] 刘章勇. 江汉平原渍渍地生态恢复与开发利用技术研究[D]. 北京:中国农业大学,2004:1-13.
- [13] 胡承伟. 甘蓝型油菜不同时期的耐渍性评价和连锁图谱的构建[D]. 北京:中国农业科学院,2013:1-2.
- [14] Langevin C D, Zygnerski M. Effect of sea-level rise on salt water intrusion near a coastal well field in southeastern Florida[J].

- Ground Water, 2013, 51(5): 781–803.
- [15] 郭一鸣, 王同华, 刘新红, 等. 甘蓝型油菜亲本和杂交种苗期渍害胁迫与产量因子的相关性分析[J]. 湖南农业科学, 2020(7): 9–12.
 - [16] 袁小康. 湖南省油菜开花结荚期湿渍害指标研究[J]. 广东农业科学, 2021, 48(6): 1–6.
 - [17] 刘瑞卿, 杨太明, 王晓东, 等. 近 50 年安徽省油菜涝渍灾害时空变化分析[J]. 农学学报, 2016, 6(1): 110–116.
 - [18] 马海清, 刘清云, 高立兵, 等. 油菜初花期淹水胁迫对产量及构成因子的影响[J]. 中国农业文摘–农业工程, 2020, 32(6): 77–80.
 - [19] 王 彬. 不同涝渍条件几种植制度综合效益比较[D]. 荆州: 长江大学, 2014: 13–30.
 - [20] 谢幽兰. 湖北省油菜花角期渍害指标及时空分布规律研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018: 4–10.
 - [21] 俄有浩, 马玉平. 农田涝渍灾害研究进展[J]. 自然灾害学报, 2022, 31(4): 12–30.
 - [22] 葛均筑, 展 茗, 赵 明, 等. 渍涝胁迫对玉米生理生化的影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(21): 7–11.
 - [23] 张岁岐, 周小平, 慕自新, 等. 不同灌溉制度对玉米根系生长及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 1–6.
 - [24] 何激光. 渍害对油菜生理特性及农艺性状的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011: 1–3.
 - [25] 任佰朝, 张吉旺, 李 霞, 等. 大田淹水对高产夏玉米抗倒伏性能的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(12): 2440–2448.
 - [26] 宗 梅, 穆 丹, 范志强. 渍害胁迫及其恢复对油菜幼苗叶片 PS II 光化学特性的影响[J]. 嘉应学院学报, 2012, 30(11): 60–65.
 - [27] 何激光, 官春云. 油菜耐渍的生理研究[J]. 作物研究, 2009, 23(5): 323–327.
 - [28] 王 懋, 刘登望, 曾红远, 等. 作物涝害及耐性机理研究进展[J]. 作物研究, 2013, 27(3): 284–287.
 - [29] 邓 艳. 早涝急转对双季超级杂交稻产量形成及其生理特性的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015: 1–5, 33–35.
 - [30] 赵 婷, 李 琴, 潘学军, 等. 陆生植物对淹水胁迫的适应机制[J]. 植物生理学报, 2021, 57(11): 2091–2103.
 - [31] 李文静, 朱 进, 彭玉全, 等. 淹水胁迫对油麦菜生长、生理和解剖结构的影响[J]. 植物生理学报, 2020, 56(10): 2233–2240.
 - [32] 王 琼, 张春雷, 李光明, 等. 渍水胁迫对油菜根系形态与生理活性的影响[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(2): 157–162.
 - [33] Yu C B, Xie Y Y, Hou J J, et al. Response of nitrate metabolism in seedlings of oilseed rape (*Brassica napus* L.) to low oxygen stress[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(11): 2416–2423.
 - [34] 张晓华, 薛召东, 郝冬梅, 等. 亚麻耐渍的生理机制研究初探[J]. 中国麻业科学, 2007, 29(3): 169–172.
 - [35] Gu C M, Zhang S J, Han P P, et al. Soil enzyme activity in soils subjected to flooding and the effect on nitrogen and phosphorus uptake by oilseed rape[J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 368.
 - [36] Grattan S R, Grieve C M. Mineral element acquisition and growth response of plants grown in saline environments[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1992, 38(4): 275–300.
 - [37] 康云艳. 外源 24-表油菜素内酯对低氧胁迫下黄瓜幼苗活性氧及碳代谢的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2008: 7–9.
 - [38] 禹桃兵, 石琪晗, 年 海, 等. 涝害对不同大豆品种根际微生物群落结构特征的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(9): 1690–1702.
 - [39] Li Z X, Waadt R, Schroeder J I. Release of GTP exchange factor mediated down-regulation of abscisic acid signal transduction through ABA-induced rapid degradation of RopGEFs[J]. PLoS Biology, 2016, 14(5): e1002461.
 - [40] Zhao M K, Li Q L, Chen Z H, et al. Regulatory mechanism of ABA and ABI3 on vegetative development in the moss *Physcomitrella patens*[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(9): 2728.
 - [41] Fujii H, Chinnusamy V, Rodrigues A, et al. *In vitro* reconstitution of an abscisic acid signalling pathway[J]. Nature, 2009, 462: 660–664.
 - [42] Umezawa T, Sugiyama N, Mizoguchi M, et al. Type 2C protein phosphatases directly regulate abscisic acid-activated protein kinases in *Arabidopsis*[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(41): 17588–17593.
 - [43] Huang Y, Guo Y M, Liu Y T, et al. 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase 3 regulates plant growth and enhances multi-abiotic stress tolerance in rice[J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 162.
 - [44] Kashyap A S, Manzar N, Nebapure S M, et al. Unraveling microbial volatile elicitors using a transparent methodology for induction of systemic resistance and regulation of antioxidant genes at expression levels in chili against bacterial wilt disease[J]. Antioxidants, 2022, 11(2): 404.
 - [45] Guo Z H, Hua H, Xu J, et al. Cloning and functional analysis of lignin biosynthesis genes *Cf4CL* and *CfCCoAOMT* in *Cryptomeria fortunei*[J]. Genes, 2019, 10(8): 619.
 - [46] Lee Y, Rubio M C, Alassimone J, et al. A mechanism for localized lignin deposition in the endodermis[J]. Cell, 2013, 153(2): 402–412.
 - [47] 许 晶, 曾 柳, 徐明月, 等. 油菜耐渍性种质资源筛选与评价[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(6): 748–754.
 - [48] 雷利琴, 李小芳, 李 倩, 等. 冬油菜渍害发生特点与防治措施浅析[J]. 南方农业, 2020, 14(6): 15, 17.
 - [49] 苏玉龙. 灾年油菜夺丰收的技术经验[J]. 中国油料, 1988, 10(3): 78–79.
 - [50] Parwada C, van Tol J. Effects of litter quality on macroaggregates reformation and soil stability in different soil horizons[J]. Environment, Development and Sustainability, 2019, 21(3): 1321–1339.
 - [51] 敖礼林, 宋孝才. 油菜的湿(渍)害及综合防控[J]. 科学种养, 2017(1): 18–19.
 - [52] 王 琼. 几种植物生长调节剂对油菜渍害的缓解作用及机理研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012: 29–34.

张友为,王鑫鑫,范晓飞. 基于深度学习的玉米和番茄病虫害检测技术研究进展[J]. 江苏农业科学,2024,52(10):10-20.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.10.002

基于深度学习的玉米和番茄病虫害检测技术研究进展

张友为¹,王鑫鑫^{2,3},范晓飞¹

(1. 河北农业大学机电工程学院,河北保定 071000; 2. 河北农业大学河北省山区研究所,河北保定 071000;
3. 国家北方山区农业工程技术研究中心,河北保定 071001)

摘要:近年来,病虫害严重影响了农作物的生长和产量,在当前人口剧增、粮食短缺的背景下,解决这一问题具有急迫性和重要性。因此,深度学习凭借学习能力强和高准确性等优势,逐渐成为农业病虫害检测技术的研究热点之一。深度学习结合多种技术可以更加高效地帮助农民检测病虫害,从而及时采取措施对农作物病虫害进行防治,提高农作物产量和质量。本文以玉米和番茄为研究对象,针对农作物病虫害检测技术对病虫害检测研究中常用的深度学习模型进行了概述,并分别对深度学习与传感器技术和遥感技术结合的病虫害检测系统和不同应用场景上深度学习结合不同技术对病虫害检测起到的应用效果进行阐述;同时总结了玉米和番茄的常见害虫种类、害虫体型特点和啃食特点。最后,讨论了深度学习技术在实际应用中存在的问题和未来深度学习技术的发展方向。深度学习与先进技术的结合将为农民和农作物专家提供有效的工具,帮助他们及时发现和应对病虫害问题,提高农作物的产量和质量。

关键词:深度学习;玉米;番茄;病虫害检测;传感器技术;遥感技术

中图分类号:S126;S127 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)10-0010-11

农业作为人类社会的基本产业之一,对于人类的粮食安全和经济发展具有重要意义。然而,病虫害是农作物生长过程中的一个严重问题,会影响农作物的产量和质量。因此,如何快速、准确地检测病虫害,并及时采取有效的防治措施,是农业生产中亟待解决的问题。在众多检测方法中,基于深度学习的病虫害检测方法,通过利用大量的数据和深度神经网络的强大学习能力,并且结合其他技术,可以快速、准确地检测病虫害,为农业生产提供了

一种高效的解决方案。

近年来,前人已经在病虫害检测领域进行了大量的尝试和实践,取得了一定的进展。例如,利用深度学习技术在图像处理领域的自动识别,能够高精度地检测病虫害^[1-3]。另外,针对一些虫害检测,基于深度学习的声音识别技术可以通过捕捉声音信号^[4]实现非接触式的检测。应用传感器技术进行病害检测也可以达到较为理想的效果^[5-7]。使用先进的传感器技术来测量现场的各种参数,即通过采集环境中的气象、土壤等多种数据,进行综合分析和诊断。而对于一些特殊的病害,红外热成像技术可以根据病害的温度等特性实现病害的检测^[8-9]。深度学习技术结合不同设备对病虫害进行检测可以起到意想不到的效果。例如,基于光谱成像技术的病虫害检测方法^[10]已被用于检测植物中由各种因素引起的疾病和胁迫^[11],可以结合更多的硬件设施,进一步开发这类技术,有望为实地条件下的大规模实时病虫害监测创造一个实用工具^[12]。

收稿日期:2023-08-09

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:32072572);河北省高层次人才资助项目(编号:E2019100006);河北省重点研发计划(编号:20327403D);河北农业大学引进人才科研专项(编号:YJ201847)。

作者简介:张友为(2000—),男,河北沧州人,硕士研究生,主要从事深度学习研究。E-mail:1511313883@qq.com。

通信作者:范晓飞,博士,教授,从事智慧农业研究。E-mail:fanxiaofei@hebau.edu.cn。

[53]秦巧燕,朱建强,贾陈忠,等. 脱落酸对花荚期油菜渍害的修复效应[J]. 江苏农业科学,2018,46(9):73-76.

[54]杨亚珍,董社琴,王运生,等. 不同生育期追施印度梨形孢菌对油菜渍害预防效果的影响[J]. 湖北农业科学,2015,54(4):790-794.

[55]王晓东,岳伟,陈金华,等. 安徽沿江江南地区渍害胁迫条件

下油菜 AquaCrop 模型验证[J]. 灌溉排水学报,2020,39(12):103-110.

[56]曹宏鑫,杨天明,蒋跃林,等. 花期渍害胁迫下冬油菜生长及产量模拟研究[J]. 中国农业科技导报,2015,17(1):137-145.

[57]尤慧,刘凯文,李鑫川,等. 渍害胁迫对油菜叶片光谱的影响及识别指标研究[J]. 江苏农业科学,2019,47(16):71-77.