

渍害对小麦生长的影响及渍害监测技术研究进展

李庆禄, 陈天星, 刘 涛, 武 威, 姚照胜, 孙成明*, 霍中洋, 剧成欣

(江苏省作物遗传生理国家重点实验室/江苏省作物栽培生理重点实验室/江苏省粮食作物现代产业技术协同创新中心, 江苏 扬州 225009)

摘 要:小麦渍害是指土壤水分达到饱和,造成空气不足、土壤通透性差、排水不畅,土壤表层水位过高而对小麦正常生长发育所产生的危害,对小麦产量与品质易造成较大影响。本文从水分胁迫、气体胁迫和离子胁迫三个方面分析了渍害产生的原因;从根系、叶片、产量和营养品质四个方面阐述了渍害对小麦生长的影响;从图像处理技术、作物模型和遥感技术三个方面归纳了渍害的监测方法;从多方面提供了渍害的防御建议;并对未来小麦渍害的研究进行了展望,以期小麦渍害预警、减灾防御和减产评估提供参考。

关键词:小麦;渍害;危害;监测;防御

中图分类号:S512.1

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2022)02-0025-05

Research Progress of Monitoring Technology and the Influence of Waterlogging on Wheat Growth

LI Qinglu, CHEN Tianxing, LIU Tao, WU Wei, YAO Zhaosheng, SUN Chengming*, HUO Zhongyang, JU Chengxin
(Jiangsu Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology/Jiangsu Key Laboratory of Crop Cultivation Physiology/
Jiangsu Co-Innovation Center for Modern Production Technology of Grain Crops, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Wheat waterlogging refers to the saturation of soil moisture, resulting in insufficient air, poor soil permeability, poor drainage, high surface water level and the damage to the normal growth and development of wheat, which has a great impact on wheat yield and quality. In this paper, the causes of waterlogging were analyzed from three aspects: water stress, gas stress and ionic stress. The effects of waterlogging on wheat growth were described from four aspects: root, leaf, yield and nutrient quality. Image processing techniques and crop models were used. The monitoring methods of waterlogging were summarized in three aspects of remote sensing technology. The suggestions for waterlogging prevention were provided from various aspects, and the future research on wheat waterlogging was prospected. In order to provide reference for wheat waterlogging warning, disaster reduction defense and production reduction assessment.

Key words: Wheat; Waterlogging; Harm; Monitor; Defense

小麦是我国最重要的粮食作物之一,亦是世界第一大粮食作物。21世纪以来,全球气候变暖、极端天气现象频发并表现出了增多增强的趋势。统计表明,我国每年因受干旱、洪涝暴雨、高温及低温等极端天气和气象灾害造成的农作物受灾面积已经超过7.5亿亩。渍害是小麦生产中主要的自然灾害,全球每年约五分之一的小麦产区

受到渍害的影响,如印度、尼泊尔、孟加拉国、中国等实行稻-麦轮作的国家和地区。小麦生长中后期雨水过多,由于土壤通透性差、排水不畅,造成表层土壤水位过高而引起小麦渍害的发生,造成小麦减产^[1-2]。因此研究渍害对小麦生长和生产具有重要意义。一方面可为进一步的灾害预警、损失评估和灾害保险提供基础,另一方面亦可为农业减灾提供依据。

1 渍害产生的原因

渍害,也称作“湿害”,国外学者常用“waterlogging”来表述,是农业气象灾害之一。造成渍害的原因主要有三类:过多的水分胁迫、气体胁迫

收稿日期:2019-10-12

基金项目:国家自然科学基金(31872852、31701355、31671615、32001465);国家重点研发计划(2018YFD0300805)

作者简介:李庆禄(1995-),男,在读硕士,主要从事作物栽培及信息化研究。

通讯作者:孙成明,男,博士,教授,E-mail: cmsun@yzu.edu.cn

和离子胁迫。

1.1 水分胁迫

小麦生长季阴雨连绵,日照时间短,导致田间湿度大、地温低,土壤含水量长期处于饱和状态。由于土壤水分过多,使根系降低了对水分的吸收和蒸腾作用,进而气孔关闭,导致叶片萎蔫、根系腐烂。而且土壤中的有机物质在厌氧条件下易产生还原性毒害物质毒害根系。同时,小麦植株体内N代谢减少,叶片内N含量明显降低,造成小麦苗小叶黄^[3]。

1.2 气体胁迫

土壤水分过多时会造成土壤氧气亏缺,小麦细胞由于缺氧导致有氧呼吸速率减慢,则小麦种子萌发受到抑制,从而影响小麦生长发育,造成其叶片变黄、根系的生长受抑制、个体形态和细胞结构发生变化。过多的土壤水分也会导致根系缺氧,使小麦叶片光合作用降低,无氧呼吸速率增强,产生大量的丙酮酸、乙醇、乙醛等有毒物质,对小麦具有毒害作用;而无氧呼吸也消耗了大量的储藏物质,导致小麦营养不足,生长不良,产量降低。汪宗立等^[4]研究表明受渍害的小麦体内可溶性糖增加,并且不能合成多糖,磷成分减少,氮磷代谢受干扰。这就说明渍水会导致小麦无氧呼吸加强。Meyer等^[5]研究表明土壤渍水引起的乙烯含量增加会导致细胞分裂素(CTK)下降,激素平衡失调;引起气孔关闭,叶绿素含量减少,叶片卷曲、脱落,干物质合成减缓;抑制根生长和根系对离子的吸收,使营养失衡,正常生理代谢受到破坏。

1.3 离子胁迫

在渍害环境下,土壤溶液中的矿质养分沉淀、溶解和氧化还原均受到不同程度的影响,导致它们的有效性发生改变,进而小麦对矿质养分的吸收利用、转化和再分配也发生改变。其中主要是根系缺氧,无氧呼吸增强,使得离子主动吸收减弱,导致N、P、K等营养元素亏缺;缺氧造成土壤氧化还原电势(O/R)降低,使某些离子被还原成更可溶或更有毒的形式存在。当 $O/R < 0.33$ V时,溶液中的 O_2 分子不复存在;当 $O/R < 0.2$ V时, NO_2^- 被转化,S、Zn、Cu有效性降低,P、Si、Fe、Mn有效性升高,可溶性 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 含量增加,造成氧化还原酶作用减弱,细胞生理机能下降,导致根腐和木质化。

2 渍害对小麦生长的影响

小麦苗期受到渍害造成种子根伸展受到抑

制,次生根数量明显减少,根系发育不良,造成薄苗、小苗或烂苗,成苗率低,叶片发黄,分蘖延迟,分蘖少甚至无分蘖,僵苗不发。小麦返青至孕穗期受到渍害造成根系发育不良,根量少且活力差,黄叶多且植株矮,茎细而弱,分蘖减少,成穗率低。小麦孕穗期受渍害造成小穗小花大量退化,结实率降低,穗小粒少。小麦灌浆成熟期受到渍害使根系早衰,叶片光合作用能力下降,绿叶量减少,功能叶早衰,穗粒数变少,千粒重降低,植株出现高温高湿逼熟现象,严重的可造成青枯死亡。

2.1 渍害对小麦根系的影响

渍害主要是对根系形态和生长以及根系活力造成影响。小麦生育前期受到渍害,次生根发生变少,根系伸展受到抑制;中后期受到渍害,不仅次生根发生少,而且根系活力衰退。由此表明小麦根系受渍害越严重,单株的次生根量越少,下层根系的黑根与黄根比例越小,上层根系的黄根数量越多。肖跃成等^[6]对齐穗期受渍研究显示低洼田单株次生根比爽水田和一般田分别少4.2条和3条,下层根系黑根比例占60.5%,分别增加20.1%和10.6%,上层根系黄根占42.9%,分别增加7.5%和2.9%。李金才等^[7]对不同品种小麦受渍害研究表明渍水初期单株根干重略有增加,但渍水5 d后,单株根系干重开始下降,10 d后下降幅度加大。

在渍害环境中,小麦根系伤流、氨基酸合成能力和根系活力迅速下降,此时根的质量也随之下降,根系活跃吸收面积变小,制约着养分和水分的吸收,尤其是在拔节孕穗期间。闻瑞鑫等^[8]研究小麦伤流量的测定,结果表明小麦受渍害后其伤流量有所减少,受渍害的时间越长,伤流量减少就越多。李金才等^[7]研究表明孕穗期渍水对小麦根系活力影响很大。姜东等^[9]对扬麦5号的研究表明从孕穗期至花后5 d时,小麦根系活力呈上升趋势,渍水处理根系活力从孕穗期到开花期显著高于对照。这可能是因为渍水后很多老根死亡,同时又产生很多幼嫩新根,根系中新根所占比重较大,因而单位根重、根系活力上升。由于对照单位根重、根系活力上升速度比渍水处理快,到开花后5 d时,对照单位根系活力就开始高于渍水处理。此后,渍水处理根系活力开始呈急剧下降状态,到花后25~30 d时,根系活力已很低;而对照根系活力下降速度远远低于渍水处理,因而在开花5 d以后,对照根系活力显著高于渍水处理。

2.2 渍害对小麦叶片的影响

不同生育时期受到渍害,均造成绿叶数和叶

面积指数(LAI)的大幅度下降,下部叶片最先开始早衰,功能期变短,然后不断向上扩展直至功能叶。吕军^[10]研究表明受渍条件下,小麦不仅生长减缓,而且下部叶片的衰亡显著加快。连续受渍3 d时,小麦绿叶重比对照减少近30%。试验也发现受渍时黄叶的产生与植株根冠比的变化呈显著负相关,这表明渍水导致根系的减少,而过少的根系难以长期维持相对过多的地上部分的生长,这是使小麦叶片发黄枯死的重要原因之一。闻瑞鑫等^[8]通过1991年和1992年的数据得出对照的绿叶面积为90.6 cm²/株,受渍害5 d的为89.0 cm²/株,受渍害10 d的为76.8 cm²/株,受渍害15 d的仅为60.3 cm²/株。绿叶面积的减少意味着光合作用的减弱,以致影响小麦产量。这说明渍害不仅影响叶器官生长,并且对叶片的光合作用有明显的影响。蔡永萍等^[11]对渍害小麦开花后叶片生理的研究显示,小麦开花期受渍后,叶片光合速率急剧下降。皖麦19叶片受到的抑制高于扬麦158。等土壤不再渍水,叶片的光合速率仍快速降低,停止后8 d测定(渍水后23 d)的渍害表现依然存在。同时,在开花期受到渍害后小麦旗叶中的叶绿素含量及比叶重都有所降低。前者降低速度较快,后者变化不大或略有降低。渍水后32 d小麦叶片枯黄,并且测不出光合速率。在渍害条件下,小麦叶面气孔收缩或关闭,降低了气孔导度,阻碍了叶片内外气体的交换,限制了二氧化碳的进入,从而降低了叶片的光合作用。汪宗立等^[4,12]研究表明小麦叶片光合作用随渍害时间的增加而变化。如孕穗期渍害1 d小麦叶片光合作用不仅没有下降反而增加,渍害3 d迅速下降到最低,渍害10 d又略有回升;同时渍害也降低了叶片中叶绿素含量,渍害5 d内叶绿素含量下降较少,随后迅速下降。

2.3 渍害对小麦产量和产量构成的影响

小麦不同生育期受到渍害,无论时间长短,每亩穗数、穗粒数、千粒重和产量都会降低。但不同生育期的小麦对渍害的反应不同,因此渍害对其产量及产量构成也会有一定的影响。苗期受害,有效穗数减少较多,主茎分蘖受害更为严重,小分蘖受害比大分蘖严重,对粒数和粒重影响相比之下较小;分蘖期受害,除第一分蘖外均减产;拔节期受害,所有的分蘖穗都减产,而主茎穗并没有减产;孕穗期和灌浆期受害,主茎穗和分蘖穗都严重减产。朱旭彤等^[13]研究表明小麦不同时期受渍害均会造成产量的减少,苗期恢复时间长

且麦苗恢复能力强,所以影响较小。而小麦生育中后期受害的影响便不可弥补。其中,拔节至抽穗期,受害率均达10%;在孕穗期出现小穗小花的退化,受渍小麦退化小穗相比对照组多2.2个,结实小穗相比对照组少2.1个,相对受害率分别达37.3%和15.7%。开花期前后受渍小麦穗粒数少6.7粒和5.7粒,相对受害率达26.6%和22.9%;灌浆期受渍千粒重减少9.5 g,相对受害率达19.6%。可以看出小麦的生长与受渍害影响呈正相关,其中孕穗期减产最为严重。吴建国等^[14]对五个品种小麦进行研究,发现不同生育时期渍害对小麦产量的影响有所不同。其中,苗期渍害对有效分蘖的影响最显著,渍害5 d有效分蘖减少22%,10 d减少38.6%,其他生育期均为10~15 d有效分蘖减少较多;而对于每穗粒数在苗期则影响不大,抽穗期和灌浆期渍害10 d后粒数显著降低。对于千粒重各时期均有一定的影响,其中以抽穗以后影响最为显著,有时可达到50%以上。

2.4 渍害对小麦营养代谢的影响

由于渍害破坏了根系的活力,从而阻碍了N、P、K等营养元素的吸收与同化。魏凤珍等^[15]对不同生育期受渍小麦N、P、K吸收的研究表明无论品种如何、受渍时间长短,受渍小麦对氮磷钾吸收量均为降低,抑制效应最显著时期为孕穗期,抑制的主要器官是根系,最敏感部位是叶片。其中对N的影响孕穗期最大、苗期最小,且拔节期以后的影响远大于拔节期以前。同时,试验结果显示孕穗以前渍水主要是对N吸收的影响,而灌浆以后不仅可以影响吸收,对氮素的转运分配也具有一定的影响。渍害降低了根和叶中的N含量,增加了茎鞘和籽粒的N含量,说明渍害阻碍了根的吸N能力和茎鞘内N的运输能力。渍害对P的影响则是返青期最小,孕穗期之前渍水对小麦根系吸收P有重大影响,而灌浆期的渍害不仅对小麦根系吸收P有重大影响,同时也对P在地上部各器官中的转运和分配有影响。渍害对K的影响存在于各个生长时期,自小麦苗期开始的渍害就影响根系对K的吸收,而它对K素在小麦植株体内的运输与分配影响不大,这与常江等^[16]对渍害条件下小麦N、P、K吸收的研究结果基本一致,同时还研究了渍害对小麦Cu、Zn吸收的影响,表明渍害不仅影响到小麦对Cu的吸收,同时也抑制了Cu在体内的运输。Zn的吸收与Cu不同,受渍后小麦对Zn的吸收与N、P、K相似,主要阻碍吸收,对其在小麦植株体内的转运无明显影响。

3 小麦渍害的监测

随着信息技术的不断发展完善,其在农业方面的应用也越来越广泛,相关技术也在小麦渍害监测方面得到了广泛应用。

3.1 图像处理技术

随着计算机技术和现代农业科技的迅速发展,图像识别技术在农作物生长监测方面具有非常大的优势^[17-18]。蔡鸿昌等^[19]利用叶片的数字摄影和图像分析技术,可以精准地预测作物叶片含水量和比叶重的改变。图像技术与人眼相比,可以更为快捷且精准地监测作物水分含量。李燕丽等^[20]将数字图像技术引入小麦渍害监测中,用冬小麦的冠层图像数据来监测渍害胁迫下的冬小麦受灾程度。形态特征也可以监测作物的水分情况。渍水胁迫下作物的叶片会发生相应的变化,前人对作物叶片进行监测并获取作物相应的水分数据。彭文等^[21]基于计算机视觉监测植物水分胁迫情况,利用计算机视觉技术和对应的图像处理算法,提取叶尖倾角和叶尖相对距离的改变反映水分含量情况,对于植物水分含量的监测具有较高的价值。张南等^[22]引入图像处理技术,测量不同的水分条件下作物叶片平均高度,为作物的水分信息研究提供了参考。

3.2 作物模型

由于计算机技术的蓬勃发展,作物模型得到大幅度的深入研究和开发。熊勤学等^[23]将分布式土壤植被水文模型用于小麦渍害的农田中监测研究,动态地反演出小麦受渍过程,可为小麦渍害的研究提供可靠方法和手段。段丁丁等^[24]根据高光谱的特征参数的改变特征来分辨冬小麦的受涝状况。吴洪颜等^[25]构建了冬小麦湿渍害风险指数模型,并利用这一模型对江苏省的冬小麦湿渍害风险进行区划和评估,进而又提出了各风险区的应对措施。

3.3 遥感技术

随着遥感技术的迅速发展,高分辨率的遥感数据获取起来日趋容易,基于遥感数据监测作物渍害成为可能。SINGH等^[26]利用卫星遥感结合地下水位观测数据来反演渍害受灾面积。Liu等^[27]使用高空间分辨率卫星数据研究了涝渍对冬小麦生长(LAI和地上生物量)和产量的影响。还进行了产量绘图和产量损失估算,以确定涝渍对冬小麦生长和粮食产量的潜在影响。

4 小麦渍害的防御

4.1 培育或选择耐渍品种

向厚文等^[28]研究表明改变遗传因素增强小麦

自身耐渍性是防御渍害的有效途径。一般来说,耐渍性强的品种有较强的根系活力、光合能力,可以减弱受渍害的程度。

4.2 改善根系环境,促进根系发育

由上述渍害对小麦的影响看出影响最大部位为根系,因此,想要解决或减缓渍害必须从根系着手。可在雨季前做好田间排水工作,使明水外排,暗渍下落,保持适宜小麦生长的墒情,促进小麦的正常生长。

4.3 合理施肥和使用生长调节剂

例如合理的氮肥运筹,可促进根的吸收,减轻渍害的影响;也可通过叶面喷肥补充小麦体内营养,弥补根系受渍后营养吸收不足的情况^[29]。也可借助不同功能的生长调节剂,如合理喷施 KH_2PO_4 可减轻渍害对小麦千粒重和产量的影响^[15];开花后喷施6-BA可减缓渍害造成的影响^[30]。

4.4 适度深耕与中耕松土

通过深耕能破除坚实的犁底层,使耕作层水分有下渗的空间,降低潜层水分,加厚活性土层,扩大作物根系在土壤中的生长范围。降雨后,排除田间明水后,应及早中耕松土,截断土壤中的毛细管,使地下水无法渗透到地表,优化土壤透气性,促使微生物活动,平衡土壤墒情,促进根系发育。

5 展望

当下社会已进入信息时代,充分利用信息手段及时获取小麦渍害受害情况。着手小麦渍害形成机制、渍害风险评估和监测方法研究,对受灾情况进行一定的判定和评估,对提高小麦渍害信息服务能力具有十分重要的意义。“3S”技术甚至“NS”技术的快速发展,为小麦渍害的监测和评估提供了新的方法。将叶片模型和冠层模型获取的参数进行建模,实现渍害受害情况实时反演,是简单直观监测小麦渍害的重要方式。

综上所述,充分利用“NS”技术和地面作物模型监测小麦渍害,构建全方位立体动态小麦渍害监测系统,实现小麦渍害全程监测和小麦渍害灾前预测是未来小麦渍害研究的趋势。

参考文献:

- [1] Cannell R Q, Belford R K, Gales K, et al. Effects of waterlogging on the growth and yield of winter wheat[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 1980, 31(2): 117-132.
- [2] 蔡士宾,朱伟.国内外麦类作物耐湿性研究进展[J].麦类作物学报,1996(6):48-49.
- [3] 詹绍跃.小麦渍害的综合防治[J].农技服务,2011,28(4):

- 29-30.
- [4] 汪宗立,丁祖性.小麦湿害及耐湿性的生理研究—II.不同生育期土壤过湿对小麦某些生理过程的影响[J].江苏农业科学,1981(6):1-8.
- [5] Meyer W S, Barrs H D, Smith R, et al. Effect of irrigation on soil oxygen status and root and shoot growth of wheat in a clay soil[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1985, 36(2): 171-185.
- [6] 肖跃成,许生国.渍害对小麦生长发育的影响及其预防措施[J].上海农业科技,2000(2):39-40.
- [7] 李金才,魏凤珍,余松烈,等.孕穗期渍水对冬小麦根系衰老的影响[J].应用生态学报,2000,11(5):723-726.
- [8] 闻瑞鑫,胡新民,凌炳镭,等.渍害对小麦的影响及受渍临界指标的探讨[J].中国农村水利水电,1997(4):9-11.
- [9] 姜 东,陶勤南,张国平.渍水对小麦扬麦5号旗叶和根系衰老的影响[J].应用生态学报,2002,13(11):1519-1521.
- [10] 吕 军.渍水对冬小麦生长的危害及其生理效应[J].植物生理学报,1994,20(3):221-226.
- [11] 蔡永萍,陶汉之.土壤渍水对小麦开花后叶片几种生理特性的影响[J].植物生理学通讯,2000,36(2):110-113.
- [12] 汪宗立,丁祖性,娄登仪,等.小麦湿害及耐湿性的生理研究—I.小麦个体发育过程中对土壤过湿反应的敏感期[J].江苏农业科学,1981(4):10-18,24.
- [13] 朱旭彤,胡业正,马平福,等.小麦抗湿性研究—I.小麦湿害的临界期[J].湖北农业科学,1993(9):3-7.
- [14] 吴建国,刘淑芝,李芳荣,等.湿害对冬小麦生长发育及生理影响的研究[J].河南农业大学学报,1992(1):31-37.
- [15] 魏凤珍,李金才,尹 钧,等.不同生育时期根际土壤渍水逆境对冬小麦N、P、K素营养的影响[J].水土保持学报,2006,20(3):162-165.
- [16] 常 江,李金才.渍害条件下小麦营养吸收特点[J].安徽农业大学学报,1997(1):24-29.
- [17] Wang Y, Wang D, Zhang G, et al. Estimating nitrogen status of rice using the image segmentation of GR threshold method[J]. Field Crops Research, 2013, 149: 33-39.
- [18] Torres-Sanchez, J, PenA J M, De Castro A I, et al. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 103: 104-113.
- [19] 蔡鸿昌,崔海信,高丽红,等.基于颜色特征的叶片含水率与比叶重估算模型初探[J].中国农学通报,2006,22(8):532-535.
- [20] 李燕丽,李 磊,吴启侠,等.基于数字图像特征的冬小麦渍害监测研究[J].麦类作物学报,2019(6):1-6.
- [21] 彭 文,李庆武,霍冠英,等.基于计算机视觉的植物水分胁迫状况监测方法[J].科学技术与工程,2013,13(9):2313-2317,2330.
- [22] 张 南,李 杰,郝慧鹏.基于叶片高度信息的植物水分监控[J].电子技术与软件工程,2013(22):106-107.
- [23] 熊勤学,田小海,朱建强.基于DHSVM模型的作物渍害时空分布信息提取[J].灌溉排水学报,2017,36(6):109-116.
- [24] 段丁丁,熊勤学,刘 莉,等.持续受涝对冬小麦高光谱特征参数的影响分析[J].中国农业信息,2018,30(2):86-94.
- [25] 吴洪颜,高 苹,徐为根,等.江苏省冬小麦湿渍害的风险区划[J].生态学报,2012,32(6):1871-1879.
- [26] SINGH A. Estimating long-term regional groundwater recharge for the evaluation of potential solution alternatives to waterlogging and salinization [J]. Journal of Hydrology, 2011, 406(3/4): 245-255.
- [27] Weiwei L, Jingfeng H, Chuanwen W, et al. Mapping waterlogging damage on winter wheat at parcel level using high spatial resolution satellite data[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2018, 142: 243-256.
- [28] 向厚文,褚瑶顺.小麦耐渍性鉴定及渍害预防[J].湖北农业科学,1993(5):13-16.
- [29] 马 蓓.氮肥运筹对孕穗期受渍小麦部分生理特性和产量的影响[D].合肥:安徽农业大学,2011.
- [30] 吴进东,李金才,魏凤珍,等.氮肥和6-BA对花后受渍冬小麦抗渍性的调控效应[J].西北植物学报,2012,32(12):2512-2517.

(责任编辑:王丝语)