



高中超,孙磊,王丽华,等.黑龙江省涝渍的成因和危害及治理措施[J].黑龙江农业科学,2019(11):142-147,148.

黑龙江省涝渍的成因和危害及治理措施

高中超¹,孙磊¹,王丽华¹,李伟群¹,宋柏权²,张俐俐³,杜春影⁴

(1. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与资源环境研究所,黑龙江 哈尔滨 150086;2. 黑龙江省寒地生态修复与资源利用重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150080;3. 黑龙江省农业科学院,黑龙江 哈尔滨 150086;4. 黑龙江省大庆市萨尔图区农业局,黑龙江 大庆 163000)

摘要:涝渍为黑龙江省主要灾害之一,涝渍侵蚀耕作土壤,破坏土壤理化性质、微生物群落结构,抑制作物根系呼吸、降低叶片光合作用,进而影响到作物生长发育及产量,是造成粮食产量低而不稳的主要因素。本文主要分析了黑龙江省涝渍的成因、危害及其治理措施,针对涝渍灾害,明确涝渍机理和完善涝渍灾害的防灾、减灾及抗灾治理的防御体系,为今后涝渍研究治理提供技术支撑。

关键词:涝渍;土壤;作物;危害;措施

黑龙江省幅员辽阔,耕地面积 1 472.8 万 hm^2 ,其中易涝面积为 446.6 万 hm^2 ,占耕地面积的 31.7%^[1]。黑龙江省商品粮总产量自 2004 年已越升为中国第一位,而且粮食总产量保持 13 连增,但粮食单产只有 5 132.3 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,低于全国平均水平 8.1%^[2]。涝渍是造成黑龙江省土壤退化的诱因,在农业生产中仅次于干旱、冷害,位居第三位,发生更为普遍,发生范围和频率还不断提高,危害面广、灾又重,如松嫩、三江平原的低洼、沼泽地带以及广大丘陵漫岗地,进入降雨集中季,降雨量大、持续时间长,耕作土壤出现水分过饱和,对作物生长造成危害,轻则减产,重则颗粒无收。涝渍时间短,可预测性差,已影响到黑龙江省粮食生产安全,今后要做好防涝渍减灾工作,是粮食稳产、增产的重要举措。国内外对涝渍地治理主要是高投入、高标准为特点,进行土地平整^[3-5]、暗管工程^[6-8]及施用土壤结构改良剂、作物抗涝剂等,取得了良好的效果,耕地生产潜力有所提高。根据涝渍区域特点,黑龙江省采取主要措施:洼地、低平地进行旱改水,并配套相应的高产栽培、耕作措施,甚至不惜代价采取工程措施进行涝渍排水。前人研究涝渍对土壤理化性质及作物的形态、生理机制乃至细肥学特性的研究^[9-14],明确涝渍发生的时期、强度对作物生育及产量构成危害,

其下降的幅度与作物的品种特性、栽培措施及发生涝渍时的淹水时间长短有关。本文根据黑龙江省涝渍灾害特点,明确涝渍机理和完善涝渍灾害的防灾、减灾及抗灾治理的防御体系,总结概括了涝渍灾害对作物生长影响的阶段成果,进一步探讨农艺与农业气象相关领域的科学研究,为今后农业生产的防涝渍灾害体系提供技术支撑。

1 涝渍形成的原因及危害

土壤涝渍是指地势低、土壤水势高、质地粘重、透水透气性差、土壤季节性过湿或超饱和,各别地块出现积水现象而造成的灾害。涝是由于降雨集中、时间长、强度大或地形较低致客水侵入而使农田水汇聚而导致的;渍是由于降雨入渗使地下水位过高或耕层土壤水过饱和而形成的。黑龙江省涝渍形成有两种原因:第一种是外因,包括地形、地貌、气候、水文等。黑龙江省地形多样,如岗中洼、河滩地、低平地、二洼地等,使地表径流重新汇聚,变向的使降雨重新分配,积水而形成的涝,如在广阔的三江平原、松嫩平原上,虽然有河流,但多属于沼泽性河流,没有河道,难以排水;区域性地形较复杂,大平小不平,是成涝的主要原因。外因最主要的决定性因素是自然降雨,近 20 年来黑龙江省的涝渍区域的年降水量 500~550 mm,但降雨分布不均,同时存在地域间及季节间差异,形成东部地区多、西部地区少;全年降雨量约有 70%~90%集中在 6-9 月(图 1),其他月份的降雨量只占全年 10%~30%,历史上经常出现春旱秋涝。外因次要的是人为因素,人们把低湿易涝地开垦成农田,建设的标准偏低和自然地理条件差等原因,这部分土地抵御自然灾害能力较差,易形

收稿日期:2019-05-16

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0300405)。

第一作者简介:高中超(1977-),男,硕士,副研究员,从事土壤改良研究。E-mail:gaozhongchao0713@163.com。

通讯作者:杜春影(1980-),女,硕士,副研究员,从事耕作栽培研究。E-mail:dcy1979@163.com。

成灾害。第二种是内因,土壤性质是产生涝渍的内因因素,主要包括土壤质地、持水性、导水性、通透性等^[15-16]。地形低洼易涝渍区域的耕作土壤质地粘重,比重大,存在犁底层、白浆层等障碍层,障碍层次毛管孔隙小而少,起到隔水作用,导致土壤通透性差,雨水渗透不下去,而积集地表或形成上层渍水和潜水,造成土壤过湿和成涝。改革开放以来,黑龙江省重视粮食生产,许多沼泽地、低洼地,被开垦成农田,然而只有干旱的年份才有收益,大部分年份是因涝而亏本;近些年来,部分地又被开垦了水田,因干旱缺水而亏本。

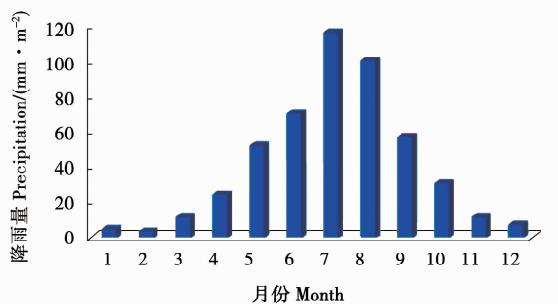


图1 黑龙江省涝渍区域 2005-2015 年的月平均降雨量

Fig. 1 Average monthly rainfall in waterlogged areas of Heilongjiang Province from 2005 to 2015

1.1 涝渍对土壤性质的影响

黑龙江省涝渍区域耕地的土壤类型主要为黑土、草甸土、泥炭土、白浆土等,其中白浆土为三江平原典型代表性土壤,约占耕地面积的 25%,其特点:质地粘重,通水性能差,排水不畅,在降雨集中季 7-9 月,地势低洼处常常积水,影响到作物生殖生长,继而影响到产量。涝渍区域湿粘土壤,其中物理性粘粒大于物理性沙粒,毛管孔隙多,非毛管孔隙少,土壤固持水能力强,释水力弱,导水能力差,即使土壤水分处于饱和也不会被释放^[17]。土壤长期处于水分饱和或淹水状态下,土壤与外界环境之间的气体交换受阻,植物呼吸出的二氧化碳、空气中的氧气只能通过分子形式在土壤中扩散,但分子态的氧在土壤水中的扩散速率非常缓慢,限制了根区对氧的需求,土壤表现出强烈的还原性^[18];涝渍土壤在积水、缺氧和低温条件下,氧化还原电位降低,在有机质分解过程中,消耗溶解氧,并产生大量有机酸、硫化氢、亚铁、亚锰等侵害作物根系的有毒物质^[19],影响作物根的发育,根系长势弱,不利于养分运输、吸收和利用,导致作物产量低、严重时甚至绝产。涝渍耕地,适耕期短,中耕过湿,阻力大,碾压易形成犁

底层,使土壤耕性变劣,理化、生物性质恶化,导致雨水不下渗,而集在地表造成土壤过湿和成灾^[20]。因涝湿耕,易造成土壤板结,导致土壤抗灾能力下降,生产潜力降低,影响耕作土壤可持续再生产能力。

1.2 涝渍对土壤微生物的影响

土壤水分状况与作物生长、微生物多样性之间存在密切的关联。土壤微生物是土壤养分转化和循环的动力,是土壤中最活跃的因子,当土壤水分长期处于过饱和时,土壤中的氧容量严重减少,厌氧细菌增加,破坏微生物生长适宜环境;土壤中微生物群落发生改变土壤微生物的活性降低^[21-22]。

1.3 涝渍对作物生长发育的影响

涝渍对作物造成的影响从各方面展开了科学性研究,如涝渍的时间长短、强度等对作物生育及生产力的影响^[23-24],明确涝渍对作物关键生育期影响及减损情况。涝渍对作物生育的危害研究主要集中在以下几个方面:

1.3.1 对根系的影响 涝渍灾害引起的低氧胁迫首先对作物根部的生长起到抑制作用,进而降低其对矿质离子和有益微量元素等养分的吸收,这是最终导致作物营养失调、品质下降、产量降低的主要原因之一^[25-27]。在涝渍胁迫下导致作物根系呼吸所利用的溶解氧浓度降低,呼吸代谢缓慢,呼吸速率下降,生长受到抑制,根系活力下降,根的数量显著减少,侧根发生、不定根产生、根尖变褐色、根体积变小等^[28-29]。涝渍造成土壤缺氧,限制根系有氧呼吸,而促进其进行无氧呼吸^[30]。植物进行无氧呼吸时,糖酵解过程受到抑制,导致根系呼吸代谢功能降低,使植物缺乏足够的 ATP 维持生长;植物通过无氧呼吸的乳酸发酵和乙醇发酵生成的乳酸和乙醇在细胞内累积,对细胞产生毒害^[31]。涝渍胁迫条件下,耐涝能力差的旱生作物,如马铃薯、大麦、玉米,在缺氧条件下主要通过糖酵解、乳酸发酵和乙醇发酵等代谢途径获得机体生长所需的能量^[32];而耐缺氧能力强的作物,如水稻、高粱、黑豆,遭受缺氧胁迫时,可通过多条代谢途径,如脂类代谢、乙醇发酵、磷酸戊糖途径、弱化的或不完整的三羧酸循环来获得 ATP 以抵抗涝渍的胁迫^[33]。涝渍胁迫下的缺氧环境,导致土壤中氧浓度降低、二氧化碳浓度增加,影响了作物根系的扩展,进而影响根系对养分的吸收。

1.3.2 对叶的影响 叶子是植物光合作用的主要器官,是制造干物质的“源”。涝渍伤害作物根的同时也会引起植株体的次级伤害,叶片生长速度延缓,随着时间的延长会致使叶片失绿、萎蔫、老化、叶柄偏上性生长(叶片弯曲下垂)等^[34-35],同时会引起叶片气孔张开度变小,气孔阻力增加,气孔导度下降,进而影响到光合作用、蒸腾作用的正常进行,继而影响光合相关酶类的活性^[36]。梁哲军等^[37]研究表明,玉米遭遇涝渍,苗期表现为叶面积和新叶的抽出速度影响较大,对叶型指数影响较小,胁迫解除后,植株的出叶速度加快,叶片伸展扩张,叶面积增大;王文泉等^[38]研究证实,芝麻后期遇上涝渍,影响到光合产物的积累和向果穗运输的能力,进而影响到群体物质生产。涝渍胁迫导致植株心叶出现黄化,叶缘卷曲,出现褐色斑点,生长延缓或停滞。任佰朝等^[39]研究表明:涝渍胁迫,导致叶片中的 ZR、IAA 和 GA 的含量显著降低,代谢平衡失调,进而会加快叶片的黄化和衰老,影响叶片的正常生理功能,进而影响到作物产量。

1.3.3 涝渍对抗氧化系统的影响 作物在逆境条件下,因缺氧而改变细胞质膜通透性,随即启动膜脂过氧化作用与酶保护系统,进而影响到作物体内新陈代谢^[40-42]。涝渍灾害导致作物的形态和结构逐渐改变,以适应低氧逆境环境,作物表现为维管束皮层细胞的栓质化和木质化,根器官内氧分子的纵向扩散减少,选择透性的变弱或丧失,细胞内的电解质及某些小分子有机物的大量渗出,代谢紊乱,严重的导致作物死亡^[43-44]。不同作物在涝渍胁迫的条件下,自身的调控能力不同,其变化结点不同,丙二醛含量随涝渍胁迫时间延长呈上升趋势,且随胁迫强度的加深,其变化越快、越强烈;可溶性糖类、脯氨酸含量先增加或先增加后减少^[44-47]。涝渍胁迫下会产生大量的活性氧而对植物体造成伤害,防御生物活性氧产生与清除的酶性保护系统启动并处于动态平衡状态,而植株体内存在的抗氧化酶系统和非酶抗氧化剂能够清除或减轻胁迫下产生过多的活性氧^[48-49]。涝渍胁迫能够诱导自由基的生成,破坏酶平衡系统,导致活性氧自由基的积累,膜脂过氧化作用增强,使植物细胞受到伤害^[50]。晏斌等^[51]研究指出:玉米土壤淹水后叶片中的氧离子的产生速率和过氧化氢含量均显著增加,而且氧离子的增加幅度大于过氧化氢含量的变化,可能是因为涝渍胁迫削弱了活性氧清除系统,使超氧

化物歧化酶、过氧化物酶和过氧化氢酶活性下降,引起抗坏血酸和谷胱甘肽含量的下降,从而导致活性氧在植株体内的不断积累,破坏细胞膜结构。短期的涝渍,抗氧化系统启动调节对植株体起保护作用;长期逆境,抗氧化系统遭到破坏,严重时导致植株体死亡。

1.3.4 涝渍对籽粒产量和品质的影响 水分是影响作物籽粒产量和品质的关键因子。作物受涝渍灾害时产量下降,其下降幅度与涝渍发生的生育关键时期、强度、时间长短密切相关^[52]。前期-营养生长期影响的主要是作物“源”的大小,后期-生殖生长期主要影响“库”的大小^[53]。涝渍抑制作物根系呼吸,诱导通气组织和不定根的产生^[42],根系的生长发育发生紊乱,影响到营养物质的运输和吸收,进而影响籽粒营养物质的积累^[54]。余卫东等^[55]指出:涝渍影响到干物质的积累,导致穗粒数、千粒重降低,最终影响到玉米产量。研究表明,淹水胁迫后籽粒的淀粉和蛋白质等相关合成的关键酶活性显著降低,从而影响到各成分的含量,从而影响籽粒品质;淹水后籽粒胚乳细胞增殖速率下降而导致夏米产量降低。涝渍胁迫后致灾,使作物籽粒的可溶性糖、蔗糖、淀粉含量及其支/直比值、蛋白质降低,粗脂肪含量和粗蛋白显著升高,品质变恶^[56]。

2 涝渍灾害治理措施

黑龙江省地形复杂、土壤类型各异,再加降雨集中,产生渍涝形式多样,治理难度大,又于当前经济、技术所限,成为黑龙江省治理的难题。治涝渍一是顺应大自然规律而采取疏导治涝渍的工程措施,工期长,成本大,效果显著;二是采取与大自然规律相对抗的人为措施,如机械耕作、农业育种、栽培及生物技术等措施。2017 年,黑龙江省除涝面积为 339.4 万 hm^2 ^[2],取得了一定的成绩,但今后还有很长的路要走。

2.1 兴修水利

黑龙江省治涝的同时发展灌溉,从根本上解决土壤旱涝的问题。在水利建设方面,开发江河两岸的耕地同时修建大量的防洪工程;加强农田工程配套建设,治理闭流区,排除内涝,修建渠道,增加了灌溉或排涝面积。涝渍严重带,排水困难,常年积水,利用局部地势低洼,圈筑围堤建设蓄水工程设施——水库,变害为利,丰水季储水,缺水季供水,保证低洼地旱田改水田时作物对水的需求。水库地势较低,也可以作低洼易涝地排水池。

2017年,黑龙江省水库数达到1 130座,总库容量267.6亿 m^3 ^[2]。如三江平原最大的龙头桥水库,控制流域面积1 730 km^2 ,总库容6.15亿 m^3 ,为农田排涝及灌溉做出巨大贡献。

2.2 调整土地种植结构

涝渍地多为地下水源丰富,地势低洼地,土层粘厚,土壤的通气透水性能差,干旱年为旱田的高产田,涝年粮食颗粒不收,现常采取种稻治涝办法。黑龙江省稻田面积近年来急剧上升,就是充分利用水资源,追求效益的最大化。部分区域地势较高的应采取水旱轮作,丰水年种稻,提高水分利用率;缺水年改种旱田作物,节省水资源。随着机械化的发展,平整土地,减少积水坑,在涝渍地上广泛种植,效果极佳。

2.3 涝渍地机械改土和暗管排水技术

防治土壤涝渍,利用机械耕作改土与治水紧密结合,对涝渍耕地采用的振动深松、深翻加秸秆还田、暗管排水、鼠洞犁等技术,形成“沟、松、缝、洞”工程治理模式。低洼易涝地,地势低,较冷凉,深耕,大垄高台,起到放寒散墒提升地温,打破坚硬犁底层,增厚耕作层,提高土壤的通气、透水性能^[1]。暗管排水技术可明显降低地下水位、耕作层土壤含水量降低和土壤三项比更加合理化,提高土壤总孔隙率和渗透系数,改善耕作土壤理化性质^[57-58]。暗管排水是一项工程,需要大量的劳动力和资金,同时要根据地块的土壤类型及坡向度铺设暗管,土壤坚硬存在犁底层的需打破,土壤透性差的暗管铺设的密度相对要大,暗管的排水口需要有沟渠,及时排出管内存水。暗管技术成本高,但节约土地多,增效大,后效长。

2.4 农艺抗涝渍措施

通过良种选育,在易涝地区先种植耐涝作物,其次是选择耐涝的品种。涝渍灾害发生后采取合理的补救措施:及时排水,适时适量补施肥料,特别是高效生物有机肥,防止作物脱肥,促进作物根系恢复生机。

2.4.1 选育抗涝渍品种 涝渍灾害对作物的影响,就是要在灾害发生时,增强作物抗灾的能力,从而使作物的减产降到最低。目前抗涝渍品种的筛选主要从根系活力、叶片相对含水率、硝酸还原酶、POD、SOD、可溶性糖、丙二醛、脯氨酸、抗氧化酶、叶片膜透性等抗逆生理指标的变化,进行分级,根据抗性指标的变化,筛选出高产、稳产、多抗、广适的优良品种。

2.4.2 科学施肥和应用抗涝渍制剂 涝渍土壤

增施有机肥或有机生物肥料与化肥配施,通过微生物降解为作物生长提供速效养分,提高了肥料利用率;同时增加土壤腐殖质,形成有机无机复合胶体,促进水稳性团粒结构形成,改善土壤结构性和孔隙性,增加土壤通透性能,调节土壤水、肥、气、热状况,从而减轻涝渍对作物的危害。作物灾害发生后经常采取应急补救措施,追施氮肥、喷施抗涝制剂,延缓叶片SPAD值含量下降,增加不定根或气生根的形成,促进作物生长发育,从而使作物的减产降到最低。张恩让等^[59]指出,外源 Ca^{2+} 可通过调节辣椒幼苗根系内呼吸代谢来缓解淹水胁迫对植株的伤害。焦彦生等^[60]指出:低氧胁迫下营养液加钙处理能够提高黄瓜幼苗根系乙醇发酵能力,避免乳酸和乙醛的积累,从而提高黄瓜幼苗耐低氧的能力。晏斌等^[61]指出:各种活性氧清除剂单独使用皆能缓解受淹玉米的涝害,从而增强玉米的抗涝性。曾珊珊等^[62]研究表明:喷施亚精胺(Spd)可提高渍涝玉米叶片的Pn、Gs和Fv/Fm,降低Ci和非光化学淬灭系数,同时提高了根系SOD、CAT、IDH和SDH等酶的活性,从而有效缓解了淹水对玉米的叶片光合、根系生理及产量的影响。肥料和植物生长调节剂都能有效地缓解短期内渍涝对作物生育的影响,但单项技术防御灾变能力差,今后还要结合相配套的耕作或工程措施,才能更好地抵御涝渍灾害。

2.5 因地制宜,易涝则水

在改土治水的基础上,要科学调整农作物种植比例,易涝区域种植耐涝渍作物,大力发展水稻种植生产,做到宜水则水,宜旱则旱,水旱轮作全面发展。

3 存在问题

黑龙江省地形多样,土壤结构复杂,降雨分配不均,涝渍经常出现在7-9月,发生地多为低湿地,农田建设标准低,农民靠天吃饭,对灾害认识不足;气象预报超前时间不足,位点不够准确,农民来不急采取相关的应对措施,灾前防灾效果差;铺埋暗管必须泵站、沟渠相配套,能及时排出沟渠涝水,一次性投资较大,推广有难度;市场上缺少成型的抗涝渍产品;不同作物及不同品种对涝渍反映不同,机理摸不清楚,缺少相关的阈值,满足不了农业遥感技术对作物的预判,当前农业遥感技术精度不高,缺少相应的模型,不能更好的与农业无缝对接。

4 展望

涝渍给作物带来的伤害而导致其生理和生化

等多方面的变化,目前已经有了较为深入的研究及相应的应对措施。今后应加强农技与农业气象、遥感技术相结合,建设高精度预警平台,对涝渍灾害发生及其规律进行提前预判;同时农技上加强对灾害发生前御灾、发生时抗灾、发生后减灾的相应措施,今后在黑龙江省应加强开展以下几方面的研究:

4.1 农业气象方面

一是灾害发生规律:搜集黑龙江省历史气象灾害信息的收集工作,建立历史气象灾害数据集,总结历史发生规律及今后气象预判和模型的建立;二是灾害监测技术:建设高精端遥感技术和高精密的小型气象物联网站,扑捉作物灾变过程,为农艺提供更加准确的信息和应对手段,为今后高效减灾提供数据支持。三是气象灾害预警评估关键技术平台的建设,为农业部门提供技术支撑。

挖掘历史数据,明确数据种类,对预判明确的、模糊的数据进行整理;对各类描述性信息进行调研,明确信息内容。基于现有技术产品结合农业的需求做技术适应性开发。

4.2 农艺上应方面

一是作物耐涝渍品种基因型的筛选及品种储备库的建立:根据作物在灾害时生育抗逆特性,利用分子生物学技术及转基因技术培育超抗涝渍性品种材料,同时对现有的主推品种进行收集整理并进一步筛选,建立抗涝渍的作物品种库;二是作物涝渍灾害机理的研究:作物耐涝机制的研究,有助于提高作物的抗逆性,培育新的抗灾品种^[63]。根据涝渍发生规律及其特点,通过人工模拟气象环境,研究灾变因子对作物关键生育的影响,明确作物致灾机理及生理指标变化阈值,明确不同灾害防御措施的最佳介入期,同时为气象灾害指标的修订和完善提供依据;三是作物涝渍防御与减灾保产关键技术研究

物理措施:通过机械改土和培肥地力,为作物生育增加土壤库容,深松浅翻技术、秸秆粉碎还田、耕地质量提升技术和大垄栽培技术,提高东北春玉米抗涝渍综合防御。

生化措施:进行春玉米抗灾能力的新型肥料、增强种衣剂和生长调节剂的研发试验。

农艺措施与农业气象无缝对接,是黑龙江省农业防御涝渍灾害及体系建立的关键,才能够实现灾前防灾、灾中抗灾和灾后救灾的完整技术体系。此体系的成功建立为黑龙江省乃至中国农业的可持续发展提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 黑龙江省统计局. 黑龙江统计年鉴[M]. 哈尔滨: 中国统计出版社, 2017.
- [2] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- [3] 夏良椿. 大比例尺地形图在土地平整中应用的研究[J]. 武汉水利水电大学学报, 1995, 28(4): 382-387.
- [4] 许迪, 李益农, 李福祥, 等. 常规土地平整方法与激光平地技术组合应用分析[J]. 水利学报, 1999(10): 52-56.
- [5] 李福祥, 许迪, 李益农. 农田土地平整方法的组合应用及效果[J]. 农业工程学报, 2000, 16(2): 50-53.
- [6] 许丁兵, 温季, 李云京. 巴基斯坦明普卡什暗管排水工程设计与施工技术[J]. 灌溉排水, 1995, 14(2): 46-49.
- [7] Ravelo C J. Ln corperating crop needs into drainage system design [J]. Trans., ASAE, 1982, 25(3): 623-629.
- [8] Bolton E F. Corn, soybean and wheat yields on Brookston clay drained by plastic tubing installed by two methods for seven spacing, and two depths[J]. Canadian Agri. Engineering, 1980. 22(2): 145-148.
- [9] 吕宪国. 湿地科学研究进展及研究方向[J]. 中国科学院院刊, 2002, 17(3): 170-172.
- [10] 李红艳, 刘庆华, 魏永霞. 三江平原涝渍灾害成因及治理过程的思考[J]. 水利科技与经济, 2003, 9(3): 218-219.
- [11] 朱建强. 易涝易渍农田排水应用基础研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [12] 乔樵, 沈善敏, 周绍权. 东北北部黑土水分状况之研究 I. 黑土水分状况的基本特征及其与成土过程的关系[J]. 土壤学报, 1963, 11(2): 143-158.
- [13] 任佰朝, 张吉旺, 李霞, 等. 大田淹水对夏玉米养分吸收与转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 298-308.
- [14] 任佰朝, 张吉旺, 李霞, 等. 大田淹水对夏玉米叶片衰老特性的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(4): 1022-1028.
- [15] Cos J W, Mc Farlane D J. The cause of waterlogging in shallow soils and their drainage in southwestern Australia[J]. Journal of Hydrology, 1995, 167(14): 175-194.
- [16] Hatton T J, Nulsen R A. Towards a chieving fuctional ecosystem mimicry with respect to water cycling in southern Australian agriculture[J]. Agroforestry Sys-tems, 1999, 45(13): 203-214.
- [17] 马富亮, 符素华, 罗广惠. 东北典型黑土区坡耕地涝渍地土壤持水性和导水性研究[J]. 水土保持研究, 2017, 24(6): 222-226.
- [18] 川口桂三郎. 水田土壤学[M]. 北京: 农业出版社, 1985.
- [19] 徐瑞瑚, 杨礼茂. 江汉平原渍害田机理与地下水治渍[J]. 地域研究与开发, 1995, 14(4): 62-66.
- [20] 刘兵, 朱广石, 王平, 等. 东北农田涝渍成因和治理研究概况[J]. 广东农业科学, 2010(11): 276-278.
- [21] 郭太忠, 袁刘正, 赵月强, 等. 渍涝对玉米产量和根际土壤微生物的影响[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(3): 505-507.
- [22] Norton U, Mosier A R, Morgan J A, et al. Moisture pulses, trace gas emissions and soil C and N in cheatgrass and native-grass-dominated sagebrush-steppe in Wyoming, USA[J]. Soil

- Biology & Biochemistry, 2008, 40: 1421-1431.
- [23] Greenway H, Gibbs J. Mechanisms of anoxia tolerance in plants. II. Energy requirements for maintenance and for energy consuming processes[J]. Functional Plant Biology, 2003, 30(10): 999-1036.
- [24] Dat J F, Capelli N, Folzer H, et al. Sensing and signaling during plant flooding[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2014, 42: 273-282.
- [25] Sairam R K, Kumutha D, Ezhilmathi K. Physiology and biochemist try lf waterlogging tolerance in plants[J]. Biologia Plantarum, 2008, 52(3): 401-412.
- [26] Irfan M, Hayat S, Hayat Q, et al. Physiological and biochemic changes in plants under waterlogging[J]. Protoclasma, 2010, 241: 3-17.
- [27] 张恩让, 任媛媛, 胡华群, 等. 钙对淹水胁迫下辣椒幼苗根系生长和呼吸代谢的影响[J]. 园艺学报, 2009, 36(12): 1749-1754.
- [28] 董合忠, 李维江, 唐薇, 等. 干旱和淹水对棉苗某些生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(10): 1695-1699.
- [29] 秦洪文, 刘云峰, 王德炉, 等. 水淹对水芹生长的影响[J]. 山地农业生物学报, 2009, 28(3): 193-197.
- [30] 钟雪花, 杨万年, 吕应堂. 淹水胁迫下对烟草油菜某些生理指标的比较研究[J]. 武汉植物学研究, 2002, 20(5): 395-398.
- [31] 许小妍. 淹水胁迫对紫丁香和暴马丁香酶活性及同工酶谱的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
- [32] 吴荣生, 姜承光, 宋祖武. 涝渍对夏玉米的危害及其防御途径[J]. 江苏农业科学, 1986(5): 12-14.
- [33] 王良桂, 杨秀莲. 淹水对 2 个桂花品种生理特性的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2009, 36(3): 382-386.
- [34] 支丽燕, 胡松竹, 余林, 等. 涝渍胁迫对圆齿野鸭椿苗期生长及其叶片生理的影响[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(2): 279-282.
- [35] 罗振, 董合忠, 李维江, 等. 盐渍和涝渍对棉苗生长和叶片某些生理性状的复合效应[J]. 棉花学报, 2008, 20(3): 203-206.
- [36] Sachs M M, Freeling M, Okimoto R. The anaerobic proteins in maize[J]. Cell, 1980, 20: 761-767.
- [37] 梁哲军, 陶洪斌, 王璞. 淹水解除后玉米幼苗形态及光合生理特征恢复[J]. 生态学报, 2009, 29(7): 3977-3986.
- [38] 王文泉, 梅鸿斌, 郑永战, 等. 芝麻对涝害的反应及适应性变异 I 模拟涝害胁迫下芝麻基因型间的形态、生物量及产量变化[J]. 中国油料作物学报, 1999, 21(4): 29-32.
- [39] 任佰朝, 张吉旺, 李霞, 等. 淹水胁迫对夏玉米籽粒灌浆特性和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(21): 4435-4445.
- [40] 刘华山, 孟凡庭, 杨青华, 等. 土壤渍涝对芝麻根系生长及抗氧化酶活性的影响[J]. 植物生理学通讯, 2005, 41(1): 45-47.
- [41] 陈龙, 李季平, 杨光宇, 等. 灌浆期涝渍胁迫对小麦生理生化特性的影响[J]. 河南农业科学, 2002, (6): 8-9.
- [42] 汪天, 王素平, 郭世荣, 等. 植物低氧胁迫伤害与适应机理的研究进展[J]. 西北植物学报, 2006, 26(4): 847-853.
- [43] 赵可夫. 植物对水涝胁迫的适应[J]. 生物学通报, 2003, 38(12): 11-14.
- [44] 张阳, 李瑞莲, 张德胜, 等. 涝渍对植物影响研究进展[J]. 作物研究, 2011, 25(4): 420-424.
- [45] 孟凡庭, 贾东坡, 刘华山, 等. 渍涝对芝麻幼苗叶片中有机物质含量及水分状态的影响[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(4): 374-376.
- [46] 宋桂范, 张树权, 张艳馥. 水淹胁迫玉米幼苗生理变化分析[J]. 齐齐哈尔大学学报, 2007, 23(1): 116-117.
- [47] 常春丽, 王展, 王晶英. 淹水胁迫对丁香幼苗形态及生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2018(17): 105-110.
- [48] 郭欣欣. 淹水胁迫对不结球白菜光合特性及根系生长的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [49] 王爱国, 邵从本, 罗广华, 等. 活性氧对大豆下胚轴线粒体结构与功能的损伤[J]. 植生理学报, 1990, 16(1): 13-18.
- [50] 曲丹阳, 顾万荣, 张立国, 等. 壳聚糖对镉胁迫下玉米幼苗根系抗氧化酶活性和内源激素水平的影响[J]. 西北植物学报, 2017, 37(4): 719-727.
- [51] 晏斌, 戴秋杰, 刘晓忠, 等. 玉米叶片涝渍伤害过程中超氧自由基的积累[J]. 植物学报, 1995(9): 738-744.
- [52] Zaidi P H, Selvan P M, Sultana R, et al. Association between line perse and hybrid performance under excessive soil moisture stress in tropical maize (*Zea mays* L.) [J]. Field Crops Research, 2007, 101: 117-126.
- [53] 陈国平, 赵仕孝. 玉米的涝害及其防御措施的研究(Ⅲ) 氮肥用量对减轻涝害的作用[J]. 华北农学报, 1989, 4(2): 26-31.
- [54] Margret S. Root responses to flooding [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2013, 16: 282-286.
- [55] 余卫东, 冯利平, 胡程达, 等. 苗期涝渍对黄淮地区夏玉米生长和产量的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(8): 2161-2166.
- [56] Ozturk A, Aydin F. Effects of water stress sat various growth stages on some quality characteristics of winter wheat [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2004, 190: 93-99.
- [57] 马文波, 曹志超, 齐占东. 农田地下排水土壤渗透系数的验证[J]. 黑龙江水利科技, 2000, 2(2): 36-37.
- [58] 张瑜芳, 张蔚秦, 沈荣开, 等. 淹灌稻田的暗管排水中氮素流失的试验研究[J]. 灌溉排水, 1999, 18(3): 12-16.
- [59] 张恩让, 任媛媛, 李晓慧. Ca^{2+} 对淹水胁迫下辣椒幼苗生长和碳水化合物含量的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(22): 151-157.
- [60] 焦彦生, 郭世荣, 李娟, 等. 钙对根际低氧胁迫下黄瓜幼苗活性氧代谢的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2056-2062.
- [61] 晏斌, 戴秋杰. 外源活性氧清除剂对玉米植株涝害的缓解[J]. 华北农学报, 1995, 10(1): 51-55.
- [62] 僧珊珊, 王群, 张永恩, 等. 外源亚精胺对淹水胁迫玉米的生理调控效应[J]. 作物学报, 2012, 38(6): 1042-1050.
- [63] 时明芝, 周保松. 植物涝害和耐涝机理研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(2): 209-210.



孙磊,王丽华,高中超,等.黑龙江省玉米低温冷害致灾机理及防御措施[J].黑龙江农业科学,2019(11):148-153.

黑龙江省玉米低温冷害致灾机理及防御措施

孙磊,王丽华,高中超,刘卜鸣,佟玉欣,张磊,王爽,常本超

(黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:黑龙江省是农业大省,是主要的玉米产地。我国北方热量资源少,气候变异性大,玉米极易发生低温冷害。低温冷害会破坏膜结构的完整性、导致叶绿体形态明显变化、生殖器官和功能异常、蛋白质不可逆分解加强、产生有害物质等,影响玉米生长发育,使灌浆推迟、灌浆速率下降,造成减产。本文从低温冷害的判别指标、危害、范围、致灾机理、预防及改善措施等几方面进行了探讨,并提出了展望,旨在为今后低温冷害防治的发展提供参考。

关键词:玉米;低温冷害;防御措施

2015年我国玉米总产量达到2.24亿t,是中国第一大作物^[1],东北三省玉米产量占全国玉米总产量的29%,对我国粮食产量贡献较大^[2]。玉米是喜温的C₄作物,对温度反映敏感,生长发育所需积温在1800~2800℃,玉米易发生低温冷害。低温冷害会使膜结构^[3]、光合器官和生殖器官等发生异常^[4];影响玉米植株的生理代谢^[5-6];

同时低温冷害也会产生有害物质^[3];影响玉米生长发育,导致减产。低温冷害是最重要的农作物非生物胁迫之一,会给粮食安全带来极大的危机。

黑龙江省是农业大省,主要的商品粮产地,黑龙江省粮食产量对我国粮食产量起关键作用。东北地区为温带大陆性季风气候,热量资源少,全年无霜期一般为100~150d,年均温由北向南分布在一5~4℃,年均温为2.6℃^[7],是全国温度最低的省份,并且秋季降温急,约每3~5a发生一次低温冷害^[8],低温冷害是影响黑龙江省农作物生长发育的主要气象灾害。如2016年哈尔滨年平均气温5℃^[9],8月和9月平均气温20.15℃,较低的温度不利于玉米灌浆,10月气温4.6℃,易

收稿日期:2019-05-20

基金项目:国家重点研发计划(2017YFD0300405);黑龙江省应用科技研究与开发计划(GA17B001);中央引导地方科技专项(ZY17C07)。

第一作者简介:孙磊(1981-),男,硕士,副研究员,从事土壤肥料研究。E-mail: tufeisuosunlei@163.com。

Causes, Harms and Control Measures of Waterlogging in Heilongjiang Province

GAO Zhong-chao¹, SUN Lei¹, WANG Li-hua¹, LI Wei-qun¹, SONG Bai-quan², ZHANG Li-li³, DU Chun-ying⁴

(1. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resource, Heilongjiang Academy of Agricultural Science, Harbin 150086, China; 2. Heilongjiang Pro-vincial Key Lab of Cold Region Ecological Restoration and Resource Utilization, Harbin 150080, China; 3. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 4. Saertu District Agri-cultural Bureau of Heilongjiang, Daqing 163000, China)

Abstract: Waterlogging is one of the main disasters in Heilongjiang Province. Waterlogging erodes cultivated soil, destroys soil physical and chemical properties, microbial community structure, inhibits root respiration, reduces leaf photosynthesis, and then affects crop growth and yield, which is the main factor causing low and unstable grain yield. This paper mainly analyzed the causes, hazards and control measures of waterlogging in Heilongjiang Province. In view of waterlogging disasters, the mechanism of waterlogging is clarified and the prevention, mitigation and control system of waterlogging disasters is improved, which provides technical support for future research and control of waterlogging.

Keywords: waterlogging; soil; crop; harm; control measures