



赵月,姬景红,郝小雨,等.低洼易涝区耕地改良研究进展[J].黑龙江农业科学,2023(11):151-156.

低洼易涝区耕地改良研究进展

赵月,姬景红,郝小雨,刘双全,郑雨,马星竹

(黑龙江省黑土保护利用研究院,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:低洼地是地势较低的一类耕地,其易受涝渍影响,土壤生产力低,作物产量低而不稳,是典型的中低产田,提高低洼地生产力对粮食稳产及农业可持续发展尤为重要。本文通过文献汇总,分析了当前我国低洼易涝区涝渍胁迫的形成原因和对农业生产的影响。研究表明涝渍胁迫改变了土壤的通透性、酸碱度以及土壤有机质含量等理化性质,影响土壤酶活性和微生物活性,抑制作物根系、叶片等器官的发育,进而导致作物减产;同时,从农业措施、工程措施和生物措施3个方面,总结了机械改土、栽培措施、秸秆还田、轮作、有机肥施用、田间排水(暗管排水、明沟排水和鼠道排水),以及选育耐涝渍种质资源等技术对低洼易涝区耕地的改良效果,并提出研究展望。

关键词:低洼地;涝渍;土壤;农业生产;改良

黑龙江省是我国重要的粮食生产基地,有着“中华大粮仓”之称,粮食总产连续13年位居全国第一,据国家统计局2022年发布,黑龙江省当年粮食总产量为7 763万t,约占全国粮食产量的11.3%,为我国粮食供给做出了巨大贡献^[1]。黑龙江省粮食产区面积大、地形复杂多样,部分平缓低洼地区易受涝渍灾害而导致粮食大幅度减产甚至绝产。由于土壤长期处于水分过饱和状态,涝渍胁迫会破坏土壤耕层,导致土壤质地黏重,通透性差,是黑龙江省主要灾害之一。涝渍胁迫还会导致土壤养分流失,抑制作物生长和干物质的积累^[2]。受涝渍胁迫的耕地排水不利,长期处于淹水缺氧状态,限制作物根系生长,阻碍作物地上部分生长发育,进而影响作物产量^[3]。因此,减轻涝渍胁迫,改善低洼地区的耕地质量,建立耕层良好的水分状况,是保证粮食稳产、增产的重要举措。本文分析了低洼易涝区涝渍胁迫的形成原因和及其对农业生产的影响,从农业、工程以及生物措施3个角度出发,列举出经典有效的改良措施,为今后低洼易涝区耕地土壤改良提供理论依据。

1 低洼易涝区形成原因

涝渍包括涝和渍两部分,涝是指降雨过后农田积水,超过作物的耐淹能力;渍是由于地下水位过高,导致土壤经常处于水分过饱和状态,作物根系受水分影响长期缺氧,进而抑制作物生长。涝和渍在大多数时间是同时存在的,难以区分界定,因此统称为涝渍灾害^[4]。

涝渍的形成原因主要分为外因和内因。外因主要包括地形、地貌、气候。其中地形和地貌会影响地表水和地下水的再分配,既控制了地表水的流向,也决定了地下水的分布^[5]。除地形地貌的因素外,集中的高强度降水和持续降水都会导致低洼地或岗地的地表水积聚,耕地中的障碍层阻碍地表水下渗,没有河道的地形排水不利,积水成涝,先涝后渍,最终造成涝渍灾害^[6]。内因是指土壤物理性质,主要包括土壤质地、通透性和持水性等。土壤质地黏重,物理性质不良,持水力强,渗透性弱的土壤容易发生涝渍灾害。涝渍土壤下层一般都有厚重的黏土层,上层土壤透水性好,接受降水后土壤水分就能达到饱和状态;或者地下水位长时间过高也能形成涝渍^[5]。可见,不利的地形和黏重的土壤质地是造成涝渍胁迫的基础,降水是形成涝渍的决定性因素。

耕地质量受人类农艺管理措施的影响,因此,人类对耕地的不合理利用会加剧涝渍胁迫。在耕作制度方面,长期单一种植水稻,农田灌水时间长达半年,许多地区大引大灌,而犁底层阻碍了滞水

收稿日期:2023-05-07

基金项目:国家重点研发计划(2022YFD1500905-2,2022YFD1500804-6);黑龙江省农业科学院创新工程(CX23YQ22, CX23JC03)。

第一作者:赵月(1993—),女,硕士,研究实习员,从事植物营养与施肥研究。E-mail:zhaoyue2108@163.com。

通信作者:马星竹(1980—),女,博士,研究员,从事农田土壤肥力变化、高效施肥研究。E-mail:maxingzhu@163.com。

消退,连年湿耕、浅耕堵塞土壤孔隙,使农田地下水位升高,形成大面积涝渍地^[5];在施肥制度方面,向农田中投入大量化肥、农药等产品,改变了农田土壤结构和理化性质,致使土壤中微生物和有机质含量降低、土壤团聚体增加,通透性下降^[7];在田间排水方面,部分地区存在排水工程设施损坏、老化、排水沟损毁现象,造成农田排水能力下降,涝渍胁迫加重^[8]。

2 低洼易涝区对农业生产的影响

2.1 对土壤理化性质的影响

低洼易涝区土壤长期受涝渍胁迫,与非涝渍土壤相比,受涝渍胁迫的土壤具有独特的物理性质。涝渍土壤中缺少砂土,大多是质地较细的黏壤,所以土壤质地偏黏重。黏重的质地使涝渍土壤吸水性更高,持水性更强,导水性更差,导致涝渍土壤的水分长期处于过饱和状态^[9]。长期涝渍会影响硝态氮的形态和迁移,使土壤中硝态氮在反硝化作用下转化为氮气、氮氧化物或淋失,而不能被作物吸收利用,造成作物因缺氮而减产^[10]。

受涝渍胁迫的土壤化学性质与非涝渍土壤也有显著差异。涝渍土壤的水分长期饱和,导致土壤温度偏低,土壤孔隙变少,缺氧环境会抑制有机质分解,使得涝渍土壤有机质含量高于非涝渍土壤,且受涝渍胁迫越严重的地区土壤有机质含量越高^[11]。有机质分解会产生大量有机酸、二氧化碳和硫化氢等物质,因此涝渍土壤大多呈酸性,且pH显著低于正常耕地^[12]。涝渍土壤特殊的土壤环境导致气体只能通过分子的形式进行交换,减缓了交换速度,降低了土壤氧化还原电位值,土壤表现出强还原状态^[13]。在这种还原性很强的条件下,土壤中的大量 Fe^{3+} 、 Mn^{4+} 和 NO_3^- 会被还原,在土壤中水分含量升高时,还原性物质含量会随之增加,对作物的毒害作用加重。马富亮等^[11]指出,涝渍土壤中还原性物质的含量是非涝渍土壤中含量的20多倍,其中亚铁离子和亚锰离子的含量均比非涝渍土壤高出10倍左右,且锰离子对氧化还原电位的响应更敏感。

2.2 对土壤生物活性的影响

低洼易涝的地形条件对于土壤微生物、酶活性等具有不同程度的影响。低洼地区根际土壤中微生物种群发生变化,厌氧微生物逐渐取代好氧

微生物,细菌繁殖速度快于真菌和放线菌,根际环境呈现恶化趋势^[14]。低洼地区的涝渍胁迫对不同根系作物土壤酶活性存在不同程度的抑制作用,须根系和直根系作物酶活性均下降,但须根系作物恢复土壤生物活性的能力高于直根系作物。张雯叶等^[15]的研究证实,玉米农田土壤的蔗糖酶活性受涝渍胁迫影响下降44.08%,之后逐渐回升;大豆农田土壤酶活性受涝渍胁迫影响下降15.65%,无明显回升现象。大部分土壤酶在淹水环境下的活性都呈现下降趋势,玉米农田的根际土壤酶活性在苗期受影响最大,表现为脲酶活性减少了40.32%、蔗糖酶活性减少了58.96%、酸性磷酸酶活性减少了35.35%、过氧化氢酶活性减少了36.72%^[16];相对于玉米农田而言,大豆农田土壤脲酶活性受涝渍胁迫影响较小^[15]。

2.3 对作物生长发育的影响

受涝渍胁迫的土壤经常或间歇性淹水,会改变作物的生长环境,对作物的形态结构、生长发育甚至产量产生不良影响。根系和叶片是作物的重要器官,能为作物生长发育提供营养和能量。涝渍灾害发生时,作物根系和叶片都受到不同程度的损害。对于作物根系而言,主要表现在影响根系的正常代谢,诱导形成大量次生根,长时间受涝渍胁迫甚至会导致坏根、烂根^[17];阻碍作物与土壤的空气和水分交换,抑制作物根系对养分的吸收和运输,涝渍严重时会造成厌氧环境,根系会产生并积累一些毒害物质,导致作物发育期变缓,植株变矮,各器官干物质积累量减少,结实率降低,对作物产量造成影响^[4]。作物叶片在涝渍胁迫环境中也很难维持正常生理状态,主要表现为叶片叶绿素含量减少、变黄衰老、干枯脱落以及气孔关闭,最终导致作物呼吸作用和光合作用减弱^[18-19]。涝渍胁迫下玉米的行粒数和百粒重均显著降低,甚至作物大面积死亡,进而影响作物产量^[20]。

3 低洼易涝区改良技术

3.1 农业措施

3.1.1 机械改土技术 由于耕层长期以旋代耕使得农田土壤形成坚硬的犁底层,土壤理化性质变差,甚至降低作物产量。为了构建合理的耕层,改善土壤孔隙状况,调节土壤三相,可适当采用机械改土技术。深松是机械改土的关键措施,其

能打破坚硬的犁底层,加深土壤耕层且不翻转土层,增加土壤有效孔隙,改善土壤耕层条件,有利于地表水渗入土壤,促进作物根系吸收养分和水分,对提高低洼区土壤生产力有重要作用。但在保护性耕作中,地表有大量秸秆残茬覆盖,对深松技术的实施有一定阻碍^[21]。郑培峰等^[22]在三江平原上的研究指出,深松有利于减少水分散失,保持土壤水分稳定;同时,深松有利于提高表层土壤养分含量及根际土壤酶活性,促进作物对养分的吸收转化,明显提高作物产量^[23]。对于水田而言,深松比旋耕处理的土层含水量更低,有更明显的增产效果^[24]。长期耕作会消耗表层土壤养分,深翻可以翻转土层,改变原有的土壤结构,打碎板结的土壤,提高土壤的通透性,给作物根系提供良好的生长环境。为了更好地储存降水,一般在秋季收获后实施深翻,并及时镇压^[25]。需要注意的是,根据土壤自身的特性选择合适的改土措施,才能达到增产的目的。

3.1.2 栽培技术 宽垄栽培技术适宜在低洼地块或岗坡地上应用,在大型集约化农场得到广泛推广。与常规垄相比,宽垄耕作延长了降水在垄上的停留时间,进而提高了降水入渗率;单位面积垄沟数量更少,有研究表明,与常规垄相比,宽垄栽培条件下耕地表面的坡面径流量和侵蚀量分别减少了 56.8% 和 66.9%^[26]。吕思强^[27]研究指出,大豆宽垄栽培地块蓄水能力较强,能减少降雨导致的径流和积水,在防止水土流失的同时,有效缓解低洼地区排水不畅的问题,改善耕地质量。玉米田宽窄行耕作能够改善土壤环境,提高土壤水分利用效率,增加土壤蓄水保水能力,对防止土壤水蚀、风蚀有一定作用,是可以广泛应用的保护性耕作技术^[28-29]。白浆土试验结果表明,与常规垄种植相比,玉米的宽垄双行种植可提高表层土壤含水量,同时提高作物产量^[30];宽垄种植模式同样可以提高小麦产量^[31]。因此,宽垄种植技术对低洼地块土壤结构改良和产能提升方面有积极作用。

3.1.3 秸秆还田技术 秸秆还田可以增加土壤有机质,改善土壤耕层结构,降低土壤容重,有利于土壤透气性和导水性的改善,对低洼易涝区的耕地改良和产能提升有一定的作用^[32-33]。徐莹

莹等^[34]发现不同秸秆还田方式下的耕层土壤含水量从高到低依次为覆盖还田、碎混还田和翻埋还田;翻埋还田处理下,耕层土壤容重显著低于秸秆不还田处理。因此,与秸秆覆盖还田相比,秸秆碎混还田和翻埋还田更有助于降低土壤含水量,减轻涝渍胁迫。秸秆条带还田是一种新的秸秆还田方式,与秸秆全层还田相比,秸秆条带还田使耕地具有虚实结合的土壤结构,提高土壤孔隙度,改善根系的生长环境,加速地表水分的入渗,在与翻耕耕作和旋耕耕作措施结合时,对低洼耕地的改良效果更好^[35-36]。

3.1.4 轮作技术 轮作是土壤保育的重要方向,与连作相比,轮作能够显著提高作物对肥料的利用效率^[37]。大豆可以通过自身的根瘤固氮,增加土壤中氮素含量,收获后土壤中剩余的氮素能促进后茬玉米的生长发育,且玉米收获后的残余肥料能明显增加下茬大豆产量^[38]。已有研究表明,春玉米-大豆轮作下土壤透气透水性增强,与春玉米连作相比,轮作处理的表层土壤容重明显较低^[39]。杨德光等^[40]研究指出,玉米-大豆轮作能够改善土壤物理结构,有利于团聚体结构的形成、土壤中水稳性团聚体的增加和土壤稳定性的提高,与连作相比,轮作下土壤容重下降约 10%,土壤孔隙度上升约 8%。此外,稻麦轮作能够增加土壤全氮、碱解氮、有机质、速效钾含量,降低土壤 pH^[41]。可见,轮作措施有利于改善土壤理化性质,维持土壤养分平衡,既能培肥土壤,又能提高作物产量,也是提升低洼地产能的有效措施之一。

3.1.5 施用有机肥和生物制剂 施用有机肥可促进微生物繁殖,加速有机质分解,更新土壤腐殖酸组成,有效改善土壤中水、肥、气、热状况,改良土壤理化性质和生物活性,使土壤变疏松,改善根系生长环境,减轻土壤的涝渍情况^[42]。施用生物调节剂和喷施生化制剂同样能缓解涝渍胁迫对农作物生长的危害。研究表明夏玉米受涝渍灾害后喷施抗坏血酸、脱落酸、苯基脲等能够快速恢复叶片的光合能力,提高玉米穗重,降低减产率^[43]。

3.2 工程措施

涝渍治理的重点是排残积水,控制低洼水线,为作物提供适宜生长的土壤环境,避免减产。大多采用“沟、管、洞、缝”排涝治渍系统,增加渗蓄,

明水暗排。暗管排水是治理涝渍的有效措施,已经被广泛应用。通过在地下埋设排水管道,地下水通过管壁渗入管内,再汇入排水渠,从而增加土壤孔隙度和透水性,降低土壤含水量和土壤容重,改善土壤物理性质,既不占耕地,便于机械耕作,又能降低地下水位,达到排水治渍的效果^[44]。在农田排水过程中,可利用暗管排水的辅助,提高排水效率,以实现地上和地下相结合的排水技术。鼠道排水是利用鼠道犁在土壤中挤压而形成的洞道,可应急排出洼地积水,对于质地黏重的涝渍土壤更有效果^[45]。鼠道治理标准较低,且施工简便,可在部分地区推广应用^[46]。与暗管排水相比,明沟排水的排水量可高出 50%~70%^[47]。明沟排水能够有效改善土壤结构,提高土壤总孔隙度,降低土壤密度,而且可以线性收水,地表水通过渗流的方式排入明沟,虽造价低廉,但容易影响耕地表面的使用^[48]。农田控制排水有节水、提高降水利用率、减少农业污染物排放的综合作用,对于不能自排水的耕地,只能使用机械措施排水,田间排出的水也可蓄存起来,留作灌溉、养殖使用,更符合生态要求。

3.3 生物措施

调整土地利用方式,改良低产田,能够提高农业生产能力。利用低洼易涝地区地下水源丰富的特点,将旱地改为水田,以稻治涝,水旱种养相结合,变水害为水利,有效提高经济效益。旱地改成的水田在降雨时可以容纳较多的降水,增强蓄水能力,使水资源得到合理的利用,减轻涝渍灾害^[49]。改造后的低洼涝渍地可进行淡水养殖,发展多种经营模式,既科学合理地将变害为利,又保护了生物多样性,同时提高了社会效益和经济效益^[50]。

研究作物的抗涝渍机制,注重抗涝渍品种的选育是作物稳产、增产的有效途径。在低洼易涝区优先种植耐涝渍作物品种,结合最适合的包衣剂^[51]。为适应涝渍胁迫,作物本身也会做出系列进化来适应环境。Zhang 等^[52]在耐涝性高的大麦品种不定根切片中发现大量通气组织,这些组织促进了氧气向根系的运输,提高了大麦的耐涝性。尽管已经筛选和培育出了一些耐渍种质材料,但仍然缺乏突破性品种。随着现代生物学技术的不断发展,可利用基因技术鉴定和筛选抗涝

渍高效基因,选育耐涝渍的优良品种^[53]。有学者已从 60 个玉米自交系中筛选出 8 个耐渍自交系和 10 个涝渍敏感自交系^[54]。通过基因改造将一些耐涝基因引入植物中,也可获得抗涝品种^[55]。王露等^[56]通过基因工程技术将甘露醇、脯氨酸、果聚糖等渗透保护物质生物合成的关键酶基因引入植物中,获得更耐涝的种质资源。利用生物技术辅助育种目标明确,效果显著,能有效减少涝渍灾害造成的损失^[4]。

4 展望

涝渍胁迫的危害程度和受涝渍时间长短成正比,因此,应加强低洼易涝区的土壤水分监测,提高对涝渍灾害预测的精准度;其次,加大对作物耐涝机制和对耐涝品种培育的研究力度,培育耐涝渍的优质种质资源,建立完善的抗涝渍技术理论体系;再次,加强农业基础设施建设,注重老旧设施的检查和维修,增强防灾能力,提高涝渍治理的标准,同时,加强涝渍防治和耕地保护的宣传,完善相关法规和管理制度,提高农民综合素质,让人们意识到耕地的重要性。

加强土壤改良措施的应用,有效改善土壤结构和理化性质,丰富土壤有机质和微生物种类以及培肥地力,减缓低洼带来的涝渍灾害和提升作物产能;此外,低洼易涝区耕地改良过程中,要因地制宜,合理应用改良措施,必要时多种措施相结合,形成涝前防治、涝时治理和涝后救灾的完整技术体系,才能达到理想的效果。

参考文献:

- [1] 国家统计局关于 2022 年粮食产量数据的公告[N]. 中国信息报,2022-12-13(001).
- [2] 赵花荣,任三学,齐月. 高湿和干旱对夏玉米灌浆期叶片光合特性的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(31):15-21.
- [3] 李元征,吴胜军,杜耘,等. 基于 MODIS 的渍害田和正常农田遥感特性对比研究[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(10):1287-1294.
- [4] 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.
- [5] 陈清华,朱建强,刘章勇. 农田涝渍、田间排水与涝渍地利用研究进展[J]. 长江大学学报(自然科学版),2011,8(9):252-255.
- [6] 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,2010,37(11):276-278.
- [7] 李东坡,武志杰. 化学肥料的土壤生态环境效应[J]. 应用生态学报,2008(5):1158-1165.

- [8] 王少丽,王修贵,丁昆仑,等. 中国的农田排水技术进展与研究展望[J]. 灌溉排水学报,2008(1):108-111.
- [9] 马富亮,符素华,罗广惠. 东北典型黑土区坡耕地涝渍土壤持水性和导水性研究[J]. 水土保持研究,2017,24(6):222-226.
- [10] 崔荣阳,雷宝坤,张丹,等. 浅层地下水升降对菜地土壤剖面硝化/反硝化微生物丰度的影响[J]. 环境科学学报,2019,39(9):3099-3106.
- [11] 马富亮,符素华,罗广惠. 东北典型黑土区坡耕地涝渍土壤化学性状[J]. 水土保持研究,2017,24(5):51-54.
- [12] 于君宝,刘景双,王金达,等. 典型黑土 pH 值变化对营养元素有效态含量的影响研究[J]. 土壤通报,2003(5):404-408.
- [13] 唐罗忠,生原喜久雄,户田浩人,等. 湿地林土壤的 Fe^{2+} , Eh 及 pH 值的变化[J]. 生态学报,2005(1):103-107.
- [14] AHMED F, RAFII M Y, ISMAIL M R, et al. Waterlogging tolerance of crops: breeding, mechanism of tolerance, molecular approaches, and future prospects[J]. BioMed Research International, 2013;1-10. DOI:10.1155/2013/963525.
- [15] 张雯叶,赵亲文,刘园园,等. 涝渍胁迫对不同作物根系及土壤酶活性的影响[J]. 中国农村水利水电,2023(6):209-214,221.
- [16] 任晓松. 渍水对玉米根系生理指标、根际土壤酶及产量的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2021.
- [17] 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.
- [18] YAN K, ZHAO S, CUI M, et al. Vulnerability of photosynthesis and photosystem I in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) exposed to waterlogging[J]. Plant Physiology & Biochemistry, 2018,125:239-246.
- [19] PAN J, SHARIF R, XU X, et al. Mechanisms of waterlogging tolerance in plants: research progress and prospects[J]. Frontiers in Plant Science, 2021,11:627331.
- [20] 姬静华,霍治国,唐力生,等. 鲜食玉米形态特征、生理特性及产量对淹水的响应[J]. 玉米科学,2016,24(3):85-91.
- [21] 高焕文,李问盈,李洪文. 中国特色保护性耕作技术[J]. 农业工程学报,2003(3):1-4.
- [22] 郑培峰,张晓龙,司雨,等. 深松对三江平原春玉米田土壤水分和产量的影响[J]. 水土保持研究,2023,30(1):297-303.
- [23] 宋霄君,吴会军,武雪萍,等. 长期保护性耕作可提高表层土壤碳氮含量和根际土壤酶活性[J]. 植物营养与肥料学报,2018,24(6):1588-1597.
- [24] 王秋菊,焦峰,韩东来,等. 机械化整地方式对低洼水田土壤理化性质及水稻产量影响[J]. 农业工程学报,2019,35(18):70-77.
- [25] 马卫东. 农业机械深松深翻技术推广研究[J]. 河北农机,2021(8):7-8,15.
- [26] 王磊,师宏强,刘刚,等. 黑土区宽垄和窄垄耕作的顺坡坡面土壤侵蚀对比[J]. 农业工程学报,2019,35(19):176-182.
- [27] 吕思强. 大豆大垄技术优势[J]. 农民致富之友,2018(23):70.
- [28] 王庆杰,李洪文,何进,等. 大垄宽窄行免耕种植对土壤水分和玉米产量的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(8):39-43.
- [29] 于洋,刘雪利,张玉秋,等. 玉米密植通透栽培技术[J]. 特种经济动植物,2022,25(12):133-134,153.
- [30] 韩毅强,高亚梅,郑殿峰,等. 寒区玉米大垄双行直播技术研究[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(4):128-132.
- [31] 汪顺生,刘慧,王兴,等. 宽垄灌溉方式下冬小麦耗水量及产量相互关系研究[J]. 灌溉排水学报,2015,34(11):60-64.
- [32] CATES A M, RUARK M D, HEDTCKE J L, et al. Long-term tillage, rotation and perennialization effects on particulate and aggregate soil organic matter[J]. Soil and Tillage Research, 2016,155:371-380.
- [33] 马胜兰,况福虹,林洪羽,等. 秸秆还田量对川中丘陵冬小麦-夏玉米轮作体系土壤物理特性的影响[J]. 中国农业科学,2023,56(7):1344-1358.
- [34] 徐莹莹,王宇先,刘玉涛,等. 黑龙江省不同生态区秸秆还田模式对土壤指标及玉米生长的影响[J]. 黑龙江农业科学,2022(4):1-7.
- [35] 苏思慧,王美佳,张文可,等. 耕作方式与玉米秸秆条带还田对土壤水稳性团聚体和有机碳分布的影响[J]. 土壤通报,2018,49(4):841-847.
- [36] 王洋,王美佳,苏思慧,等. 水分胁迫下秸秆还田对玉米产量和根系空间分布的影响[J]. 应用生态学报,2018,29(11):3643-3648.
- [37] 赵丹丹. 长期轮作与施肥对旱作农田土壤碳、氮库变化的影响[D]. 西安:西北大学,2017.
- [38] 张阳,黄炳林,张明聪,等. 氮磷调控对大豆-玉米轮作周年产量和养分利用效率的影响[J]. 大豆科学,2019,38(5):762-769.
- [39] 高盼,刘玉涛,王宇先,等. 半干旱区玉米-大豆轮作对土壤物理性质和化学性质的影响[J]. 黑龙江农业科学,2018(9):23-26.
- [40] 杨德光,吴玥,宋秀丽,等. 轮作对土壤肥力及玉米生长发育的影响[J]. 玉米科学,2019,27(4):127-133.
- [41] 李玲,朱松,周加顺. 稻麦轮作下耕作方式对黏性土壤化学性质及作物产量的影响[J]. 江苏农机化,2023(2):12-16.
- [42] 李倩. 几种有机肥原料对土壤生化性质和作物生长的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2013.
- [43] 晏斌,汪宗立,刘晓忠,等. 涝渍逆境下玉米叶片中谷胱甘肽的含量变化及其作用[J]. 植物生理学通讯,1993(6):416-419.
- [44] 李伦,罗强,吴士龙,等. 渔稻养作及其在涝渍地综合利用中的研究综述[J]. 节水灌溉,2016(5):75-80.
- [45] 林振荣,关云峰,姚章村. 鼠道排水实用价值高[J]. 水利天地,2008(2):44.

- [46] 杨金华. 鼠道暗管排水技术及应用前景[J]. 东北水利水电, 2009, 27(6): 55, 60.
- [47] 任晓磊, 王少丽, 杨培岭, 等. 农田不同排水措施地下排水效果模拟试验研究[J]. 排灌机械工程学报, 2023, 41(3): 253-260.
- [48] 董稳军, 张仁陟, 黄旭, 等. 明沟排水对冷浸田土壤理化性质及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(2): 114-116.
- [49] 王修贵, 张华彬, 罗文兵, 等. 湖北四湖流域涝渍地综合利用与治理对排涝模数的影响[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2015, 36(4): 1-7.
- [50] 朱建强, 黄智敏, 臧波, 等. 江汉平原的涝渍地及其开发利用[J]. 湖北农学院学报, 2004(4): 248-252.
- [51] 王志万, 何俊, 浅谈低洼易内涝地大豆高产种植技术[J]. 农民致富之友, 2017(5): 63.
- [52] ZHANG X C, ZHOU G F, SHABALA S, et al. Identification of aerenchyma formation-related QTL in barley that can be effective in breeding for waterlogging tolerance[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2016, 129(6): 1167-1177.
- [53] 李霞, 潘晨, 王小燕, 等. 施氮对涝渍胁迫下作物生长和产量影响的研究进展[J]. 中国农学通报, 2022, 38(12): 1-6.
- [54] DU H, SHEN X, HUANG Y, et al. Overexpression of vitreoscilla hemoglobin increases waterlogging tolerance in arabidopsis and maize[J]. BMC Plant Biology, 2016, 16: 35.
- [55] 郑佳雯, 何勇. 瓜类作物耐涝性研究进展[J]. 分子植物育种, 2021, 19(21): 7290-7296.
- [56] 王露, 张宇, 杨旭. 蔬菜作物耐涝性研究进展[J]. 中国蔬菜, 2017(11): 14-20.

Research Progress on Cultivated Land Improvement in Low-Lying and Waterlogged-Prone Areas

ZHAO Yue, JI Jinghong, HAO Xiaoyu, LIU Shuangquan, ZHENG Yu, MA Xingzhu

(Heilongjiang Academy of Black Soil Conservation and Utilization, Harbin 150086, China)

Abstract: Lowland is a kind of cultivated soil with low terrain, it is vulnerable to waterlogging. It's a typical medium-low yield field with lower soil productivity and unstable crop yield. It's particularly important for stable grain yield and sustainable agricultural development to improve productivity of lowland. This paper analyzed the causes of waterlogging stress in low-lying and waterlogged-prone areas and effects on agricultural production by summarizing literatures, results showed that waterlogging stress changed the physicochemical properties of soil such as permeability, pH and soil organic matter content, affected the activities of enzymes and microorganisms in the soil, inhibited the growth of crop roots, leaves and other organs, which led to crop yield reduction; at the same time, this paper summarized the improvement of cultivated land in low-lying and waterlogged-prone areas from three aspects of agricultural measures, engineering measures and biological measures, it included technologies such as mechanical soil amelioration, cultivation measures, straw return, rotation, organic fertilizer application, field drainage (subsurface drainage, open ditch drainage and mole drainage) and breeding waterlogging tolerance germplasm resources and so on. It proposed research prospects, in order to provide theoretical basis for the treatment of medium-low yield fields under waterlogging stress.

Keywords: lowland; waterlogging; soil; agricultural production; improvement

协办单位

黑龙江省作物学会

黑龙江省农业科学院水稻研究所

黑龙江省农业科学院克山分院

黑龙江省农业科学院黑河分院

黑龙江省农业科学院绥化分院

黑龙江省农业科学院佳木斯分院

黑龙江省农业科学院牡丹江分院