

鲁西北黄泛区土壤障碍因子应对策略研究进展

董艳芳, 周晓琳, 李洪杰, 王玉霞, 杜梦扬, 李子双* (德州市农业科学研究院, 山东德州 253015)

摘要 鲁西北黄泛区农田面临着盐碱、干旱和涝渍3种常见的土壤障碍因子, 综述了3种土壤障碍因子对土壤性质和植物生长的危害, 从植物生理和技术措施两个层面阐述了3种土壤障碍因子的应对策略研究进展, 分析了土壤障碍因子应对研究中存在的问题, 对鲁西北黄泛区农田土壤未来合理高效利用的研究方向进行了展望, 以期对鲁西北黄泛区农田土壤的合理高效利用提供理论参考。

关键词 鲁西北黄泛区; 土壤障碍因子; 盐碱; 干旱; 涝渍

中图分类号 S155.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)05-0015-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.05.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Research Progress on Countermeasures of Soil Obstacle Factors in the Yellow River Flood Area of Northwestern Shandong Province
DONG Yan-fang, ZHOU Xiao-lin, LI Hong-jie et al (Dezhou Academy of Agricultural Science, Dezhou, Shandong 253015)

Abstract The farmland in Yellow River flood area of Northwestern Shandong Province is faced with three common soil obstacle factors; saline-alkali, drought and waterlogging. In this article, the hazards of three soil obstacle factors to soil properties and plant growth were summarized. The research progress of countermeasures for the three soil obstacle factors was expounded from the perspectives of plant physiology and technical measures. The problems existing in the study of soil obstacle factors were analyzed. The future research direction of rational improvement and utilization of farmland soil in Yellow River flood area of Northwestern Shandong Province was prospected. In order to provide a theoretical reference for the rational and efficient utilization of farmland soil in the Yellow River flood area of Northwestern Shandong Province.

Key words Yellow River flood area; Soil obstacle factors; Saline-alkali; Drought; Waterlogging

鲁西北黄泛区属于黄泛冲积平原的一部分, 是山东省内潮土的主要分布区^[1], 地表坦荡, 土层深厚, 光、热、水充足, 粮食作物增产潜力巨大。该区地貌主要因黄河多次迁徙、泛滥而形成。盐碱、干旱和涝渍是鲁西北黄泛区农田所面临的常见土壤障碍因子。鲁西北黄泛区需积极有效应对对农田土壤障碍因子, 才能真正确保鲁西北农业的可持续发展。该研究综述了盐碱、干旱和涝渍3种土壤障碍因子的危害, 从作物生理和技术措施2个层面阐述了应对3种土壤障碍因子的研究进展, 分析了土壤障碍因子应对研究中存在的问题, 对鲁西北黄泛区农田土壤未来合理利用的研究方向进行了展望, 以期对鲁西北黄泛区农田土壤的合理高效利用提供理论依据和参考。

1 3种土壤障碍因子的危害

鲁西北黄泛区最主要的地貌类型是缓坡平地、河滩高地和浅滩洼地, 面积占比见图1。其中, 缓坡平地地势平缓, 排水不畅, 地下水埋藏浅, 盐度高, 土壤属钙质潮土, 易盐渍化; 河滩高地地形部位相对较高, 由黄河干流洪水冲积而成, 土壤质地较轻, 地下水埋藏较深, 易受干旱威胁; 浅滩洼地由黄河泛滥时主河道以外的静水沉积而形成, 地势低于周边, 易积水, 易受内涝威胁^[2-3]。

1.1 盐碱的危害 盐碱地通气透水性差, 易积水, 土壤质地黏重, 会抑制土壤微生物的活性, 导致土壤养分分解缓慢, 从

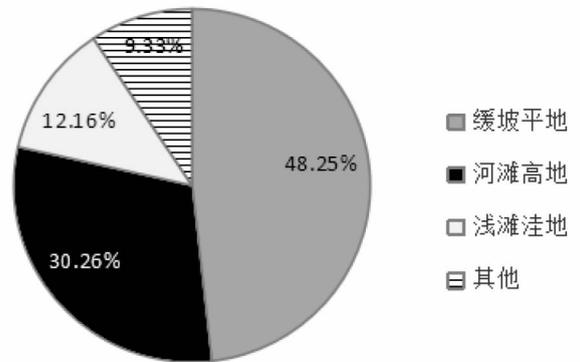


图1 鲁西北黄泛区各地貌类型面积占比

Fig. 1 Area proportion of each geomorphic type in the Yellow River flood area of Northwestern Shandong Province

而使土壤养分供应不足^[4], 盐碱危害示意图2。土壤盐碱化会阻碍地表土壤温度升高, 降低土壤酶活性和好氧微生物活性, 降低土壤有机质含量和土壤肥力, 增加土壤容重, 加剧表层土壤盐分的积累, 影响植物的正常生长^[5]。土壤盐碱化会破坏植物组织, 影响气孔收缩和养分吸收^[6]。盐碱化土壤溶液中含有大量可溶性盐分, 使渗透压升高, 导致植物根系难以吸收水分和养分, 抑制植物生长并对植物产生毒性作用, 从而引起植物生理干旱^[7], 同时, 盐碱化会导致植物体内活性氧的积累, 从而损害甚至杀死植物细胞^[8]。在盐碱地中生长的植物往往会因缺钙离子和钾离子而产生营养胁迫, 会造成植物营养失调, 表现为抑制植物组织和器官的生长^[9]。

1.2 干旱的危害 干旱导致土壤水分严重不足, 威胁土壤微生物的生长, 使土壤微生物数量急剧减少, 导致土壤各种生化活动减弱^[10], 干旱危害示意图3。研究表明, 干旱可以通过影响土壤温度、气体交换和微生物的养分输送来影响微生物种群的活动和分布, 导致土壤微生物碳减少^[11-13]。干

基金项目 国家重点研发计划项目(2021YFD1901002); 山东省重大科技创新工程项目(2019JZZY010716); 山东省重点研发计划项目(2021CXGC010804); 山东省农业重大应用技术创新项目“山东省冬小麦种肥混播技术模式集成创新与示范”; 德州市市级研发计划项目“德州农田土壤改良机理与新技术研究”; 德州市市级研发计划项目“德州地区绿肥应用模式及利用技术研究及示范”。

作者简介 董艳芳(1990—), 女, 山东茌平人, 农艺师, 从事土壤研究。
*通信作者, 正高级农艺师, 从事土壤与植物营养学研究。

收稿日期 2022-04-24

旱会促使植物发生一系列生理生化反应来适应环境,影响农艺性状的正常形成^[14-15]。干旱会降低光合效率、叶片光合速率和蒸腾速率,降低叶面积指数,最终降低生态系统的总初级生产力^[16-17]。在干旱条件下,植物细胞内产生活性氧,与生物大分子反应生成具有强氧化性的膜质过氧化物和各种

小分子降解物,导致膜过氧化,破坏膜的完整性,降低保护膜活性^[18-19]。研究表明,干旱在一定程度上抑制小麦种子萌发和幼苗生长^[20],苗期干旱显著影响小麦器官生长,从而影响小麦产量^[21];干旱可抑制苗期植物和根系的生长,降低株高,减少叶面积,降低植物生物量,增加根冠比^[22-23]。

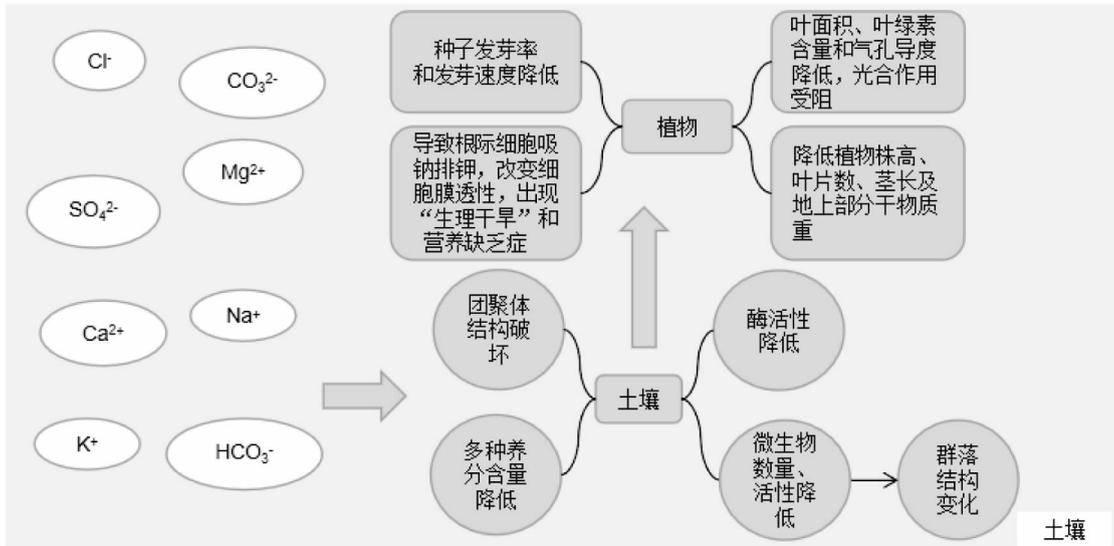


图2 盐碱危害示意

Fig. 2 Schematic diagram of hazard of saline-alkali

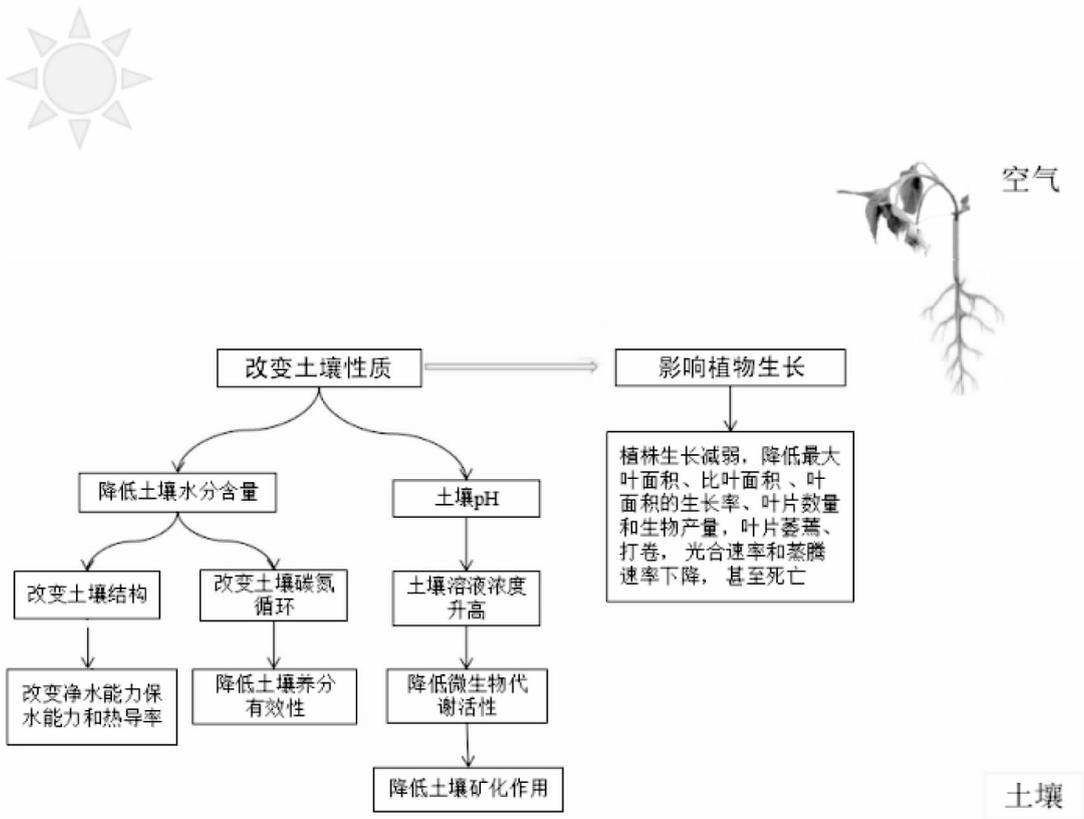


图3 干旱危害示意

Fig. 3 Schematic diagram of hazard of drought

1.3 涝渍的危害 涝渍地湿黏土壤持水能力强,释水力弱,导水能力差^[24],土壤与外界的气体交换受阻时植物呼出二

氧化碳,空气中的氧气只能通过分子在土壤中扩散的形式在土壤中扩散,这是由于氧气在土壤中的分子态扩散速率极

慢,限制对氧的需求,根区土壤呈强还原性,土壤有机质分解消耗溶解氧,产生大量毒害植物根系的有毒物质,影响根系生长,阻碍根系养分运输吸收利用,严重时产量低下甚至停产^[25-26],涝渍危害示意图4。涝渍会导致作物营养失调,品质和产量下降^[27-28];延缓叶片生长速度,使叶片失绿、萎蔫、老化等^[29-30];影响作物干物质的积累,降低穗粒数、千粒重,继而影响产量^[31],此外,涝渍还显著降低谷物中与淀粉和蛋白质合成相关的关键酶的活性,影响各成分的含量,从而影响谷物品质^[25]。

2 3种土壤障碍因子的应对策略研究进展

2.1 盐碱的应对策略研究进展

目前,植物耐盐碱的研究主要集中在种子萌发、幼苗生长、生理生化等方面,通过加入外源物质、与真菌的协同效应、利用生物技术手段、培育耐盐碱品种等方式,可以提高植物的耐盐碱能力。在低浓度盐溶液条件下,紫花苜蓿种子的发芽特性优于蒸馏水^[32]。苜蓿

种子在高盐浓度下能够发芽,在低盐浓度下获得较高的发芽率^[33]。外源硅诱抗可以提高在碱胁迫下紫花苜蓿抗氧化、渗透调节以及离子平衡调控能力,进而提高碱胁迫下紫花苜蓿的耐碱性^[34-35]。野生大豆S-腺苷蛋氨酸合成酶基因的过表达通过增加抗氧化酶和羟基氧化酶的活性及相关基因的表达来提高转基因水稻的耐盐碱性^[36-38]。在盐胁迫情况下,绒毛白蜡植株通过增加脯氨酸含量提高过氧化物酶的活性来保护植物免受伤害,以提高耐盐碱性^[39-42]。在盐碱胁迫下,增加钙离子含量可以提高水稻、小麦、番茄的耐盐碱能力^[43-45]。叶面喷施亚精胺会明显促进番茄生长,提高其耐盐碱性^[46]。在小麦上接种内生菌可提高植物的耐盐碱性^[47]。过表达SISAMS1在番茄中可以促进多胺的积累,提高过氧化氢酶的活性,减缓细胞的氧化损伤,增强其耐盐碱能力^[48]。发芽前用不同梯度的盐水溶液浸泡种子,种子吸水膨胀后,可提高植物的耐盐碱能力^[49]。

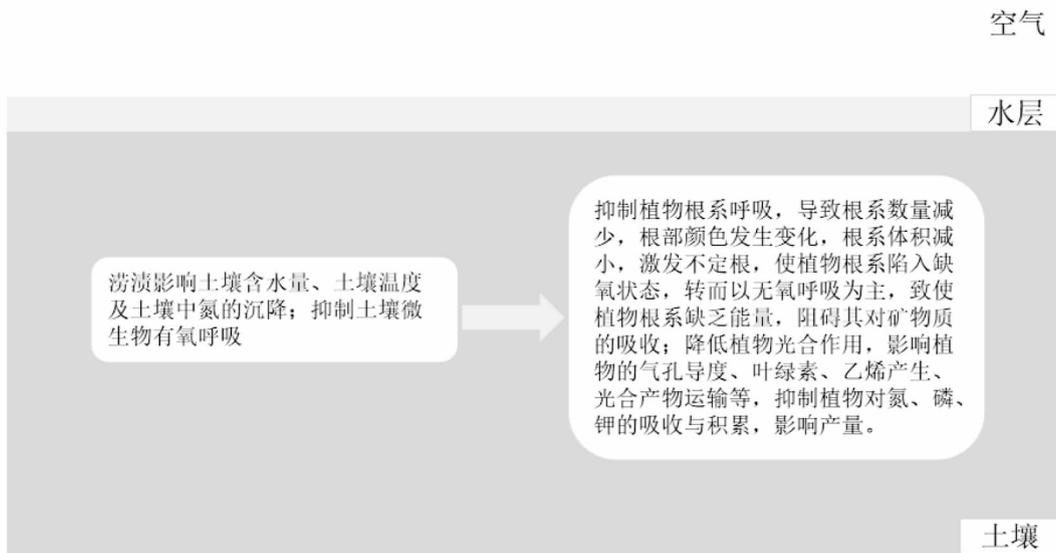


图4 涝渍危害示意

Fig. 4 Schematic diagram of hazard of waterlogging

盐碱地改良主要通过工程措施、农艺措施、化学措施、生物措施^[50-51]。工程措施包括水利工程措施和土地整治工程措施,其中,水利工程措施主要有灌溉洗盐、排水脱盐、节水控盐和改排为蓄^[4]。陕西卤泊滩盐碱地治理工程坚持因地制宜,探索了“改排水为蓄、水地共生、和谐生态”的治理模式^[52]。土地整治工程措施主要有平整土地、客土改良、铺沙压碱^[4]。宫秀杰等^[53]采用“土层置换+秸秆阻断”的方法,显著降低了松嫩平原北部盐碱地土壤耕层的盐分。农艺措施主要有耕作、覆盖及培肥。研究表明,地膜覆盖种植油菜结合沙封种植孔,可促进盐碱地油菜生长^[54]。乐陵盐碱地高粱田试验研究表明,垄沟深松、耕深松能促进作物根系发育,显著提高作物产量^[4,55]。化学措施主要在土壤里施入改良剂来改善土壤理化性质和土壤团聚体结构。高肥力结合土壤改良剂和高肥结合有机肥的施肥模式可以显著降低土壤盐分含量,促进土壤养分积累,显著提高小麦和玉米的产量^[56]。在沿海盐碱土壤中添加生物炭和EM可降低盐分含

量并改善土壤质量,改善植物养分吸收刺激植物生长^[57]。在沿海盐碱地作物栽培中,施用造纸干粉和糠醛渣可缓解盐碱胁迫,提高土壤微生物代谢活性^[4,58]。生物措施主要是植物改良措施和微生物改良措施,其中,植物改良措施主要包括种植耐盐植物和种植绿肥植物^[4,50]。研究表明,耐盐植物显著降低土壤容重和地表土壤盐分,增加土壤微生物量^[59]。从美国引进的多年生阿尔冈金苜蓿在西哈茂草原大面积种植,改善了土壤理化性质,增强了保水保肥能力^[4,60]。微生物改良措施包括利用微生物提高植物的耐盐性和施用微生物肥料^[50]。麦秆和纤维素分解真菌同时接种麦秆可提高豆科植物在盐环境中的固氮能力,增强抗盐性^[4,61]。在盐碱地施用生物菌肥可促进可溶性蛋白质的增加,降低叶片中脯氨酸的含量,增加土壤养分,提高作物的耐盐碱性^[62]。

2.2 干旱的应对策略研究进展

干旱条件下,作物会形成一系列应对干旱胁迫的反应和抵御干旱的机制^[63]。近年来,作物抗旱性的研究主要集中在作物种子的发芽特征、形

态特征、生理生化等方面。适度的干旱促进藜麦种子中游离氨基酸含量的增加,促进过氧化物酶活性提高,促进种子萌发^[64]。干旱胁迫下,藜麦叶片蒸腾减少,叶片保持较好的水势,形成较低的渗透势,提高水分利用效率,增强抗旱性^[62,65-66]。在干旱条件下,根系会增加土壤中的体积和根长密度,从而改善土壤水分供应^[67]。在一定的干旱胁迫下,植物细胞可以通过合成更多的可溶性蛋白质和可溶性糖来提高渗透势,促进根系对水分的吸收,适应干旱^[68-69]。在干旱胁迫下,脱落酸在根部积累并通过木质部运输到枝条保卫细胞,调节气孔开放和叶片生长^[70-71]。对甜菜抗旱生理生化及分子机制进行系统研究发现,干旱胁迫下增加脯氨酸和甜菜碱含量可提高甜菜抗旱性^[72-75]。

为了提高应对干旱灾害的能力,减少干旱对农业生产带来的损失,学者们进行了大量研究,提出了一系列因地制宜的防旱抗旱措施。玉米栽培实践中,采取秸秆覆盖、深耕深翻、推广应用节水灌溉技术等抗旱措施^[76]。对茶园茶树通过浅耕除草,盖遮阳网、盖膜,培土铺草覆盖的方式抗旱^[77]。豫北麦区抗旱措施有对干旱灾害预测预警、培育耐高温抗热害高光效的新品种、深耕打破犁底层、采用农家肥与化肥结合、科学灌溉等抗旱措施^[78]。苹果果园抗旱管理措施主要有覆膜、覆草、覆沙等覆盖措施,全园生草,穴贮肥水,节水灌溉等^[79]。我国南方干旱应对策略主要有在旱灾高危地区实施人工天气和开发空气水资源,在脆弱地区实施生态环境改造,保障粮食安全与实施策略降低农业风险,合理利用水资源等^[80]。

2.3 涝渍的应对策略研究进展 涝渍条件下,植物积极适应和抵抗涝渍的环境^[81]。植物在淹水条件下形成不定根,降低氧扩散阻力,增加吸氧面积^[82]。大豆淹茎基部逐渐增厚产生不定根,不定根和主根的皮肤均形成通气组织^[83]。一些水稻植株在淹水过程中通过节间伸长、叶片伸长和叶鞘伸长获得氧气^[84]。在涝渍胁迫下,植物体内诱导合成了一些新的蛋白质和酶^[85]。花生根部在涝渍胁迫下表现出一定的增粗现象,这与发育良好的通气组织的形成有关^[81]。水涝胁迫下,菊花谷胱甘肽含量随胁迫程度的加深而升高^[86]。耐涝性高的大麦品种不定根切片中存在大量通气组织,促进了氧气向根系的运动,提高了作物的耐涝性^[87]。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,使其过表达,可在一定程度上提高植物的抗涝性^[88-89]。黄瓜淹水后,游离脯氨酸在植物体内迅速积累,清除羟基自由基,降低细胞渗透势,减轻淹水对植物的伤害^[90]。通过基因改造将一些耐涝基因引入植物中,可获得抗涝材料^[91]。

涝渍地管理的原则是及时排出田间多余的水分,控制地下水水位,为作物提供适宜生长的水土环境。涝渍地的管理方式包括明渠排水、暗管排水、联合排水和控制排水。其中,明渠排水加快了农田水分的运动^[92]。暗管排水可降低地下水位和土壤含水量,提高土壤温度,降低土壤容重,提高总孔隙度,提高渗透系数,改善土壤理化性质^[93]。农田控制排水具

有节水、提高农业水肥利用效率、提高雨水利用率、减少农业污染物排放的综合作用^[94-95]。涝渍地治理的最终目标是提高涝渍地的综合利用效益^[92]。涝渍地具有巨大的生产潜力,可用于农业种植和水上种植及多种经营的开发^[96-97]。采用棉花秸秆还田技术改良涝地,对提高土壤有机质含量、土壤肥力、土地自然生产力,增加土壤速效养分含量,减少化肥消耗及降低农业生产成本具有积极作用^[94]。

3 研究中存在的问题

近年来,国内外在应对3种土壤障碍因子方面进行了很多有益探索,提供了大量可靠的数据和理论支持,但也存在一定的局限。

(1)对盐碱条件下的植物生理层面的研究存在着模糊盐化条件和碱化条件的现象,虽然盐化与碱化经常同时发生,相互影响,但是在研究中需明确主导影响因子,才能确保研究的科学性。此外,植物生理层面的研究缺少对植物生命全过程的关注,仅仅集中在种子萌发、幼苗生长等方面,缺少对植物不同生长时期不同部位的研究及分子机制方面更深层次的研究。在盐碱地的改良措施中,工程措施投资高且易带来次生盐渍化现象,农艺措施作用时间短,化学措施容易带来二次污染,生物措施周期相对较长^[51]。目前各地对盐碱地进行统筹规划的重视程度尚不够,未能充分发挥出盐碱地的土地资源优势。

(2)对干旱条件下的植物生理层面的研究存在分子机理研究不深入,缺乏综合性指标鉴定体系,育种进程缓慢等问题。在不同抗旱措施方面,干旱监测体系建设不够完善,多种抗旱措施结合的研究不够,作物抗旱性与各种抗旱措施相结合研究的重视程度不高。

(3)对涝渍条件下的植物生理层面的研究存在耐涝渍机制基因型研究少,对耐涝渍基因的遗传特性、耐涝渍育种的研究力度不足等问题。在应对涝渍措施上,涝渍监测不够及时精准,抗涝技术理论体系尚未建立,对作物抗涝性的适应机理研究还不够。

4 展望

针对鲁西北黄泛区农田土壤所面临的3种土壤障碍因子现状,除应统筹应对3种土壤障碍因子,统一规划碱旱涝,完善排灌系统,推广多元化种植,完善农业产业结构,改善耕地质量,提升土壤肥力,充分发挥地方资源优势外,建议今后从以下几个方面开展相关研究。

(1)在农田盐碱地改良利用方面,需结合农田土壤实际情况,采取物理改良、化学改良与生物改良相结合的方式,突出多种措施的优点,因地制宜,并进一步加大培育耐盐碱植物的研究力度,加大对耐盐碱植物不同生长时期不同部位的研究力度,更深入地研究耐盐碱植物分子机制方面,积极筛选土壤改良剂、选择和培育耐盐碱的植物新品种,尽快建立起完善的植物耐盐碱体系。

(2)在农田防旱抗旱方面,在生产实际中需创新思路,在完善干旱监测体系、制定好因地制宜的防旱抗旱措施的同时需着力对作物抗旱生理生化及分子机制进行研究,完善干旱

综合性指标鉴定体系,加快抗旱植物育种进程,培育高产稳产作物新品种。

(3)在农田防涝抗涝方面,利用多种土壤水分监测方法及时做好作物涝渍监测,结合实际地形特点选取适合的排涝与除涝措施,加大作物抗涝性的适应机理的研究,建立完善的抗涝技术理论体系,选育优良耐涝的种质资源。

参考文献

- [1] 李秀娟. 黄泛区不同耕地利用方式对土壤质量的影响研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006: 12.
- [2] 张洪业. 鲁西北地区土地资源条件与土地利用变化趋势的研究[J]. 地理科学进展, 1998, 17(1): 19-28.
- [3] 刘富刚. 鲁西北微地貌类型及表层沉积物粒度特征分析[J]. 资源与产业, 2008, 10(1): 112-115.
- [4] 胡一, 韩霖昌, 张扬. 盐碱地改良技术研究综述[J]. 陕西农业科学, 2015, 61(2): 67-71.
- [5] 杨万勤. 土壤生态退化与生物修复的生态适应性研究: 以金沙江干热河谷为例[D]. 重庆: 西南农业大学, 2001.
- [6] 杨玉坤, 耿计彪, 于起庆, 等. 盐碱地土壤利用与改良研究进展[J]. 农业与技术, 2019, 39(24): 108-111.
- [7] 李迎春, 陈双林. 竹子耐盐性研究述评[J]. 山地农业生物学报, 2008, 27(5): 451-455.
- [8] 孟国花. 不同氮磷钾水平对盐胁迫下甜高粱生长的影响[D]. 济南: 山东师范大学, 2012.
- [9] 顾文婷, 董喜存, 李文建, 等. 盐渍土壤改良的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(6): 1620-1623.
- [10] 王君. 多重干湿交替对农田土壤碳循环的影响研究[D]. 上海: 东华大学, 2013.
- [11] 刘学华. 干湿交替下土壤 C、N 养分流失机理研究[D]. 上海: 东华大学, 2015.
- [12] YI Z G, FU S L, YI W M, et al. Partitioning soil respiration of subtropical forests with different successional stages in south China[J]. Forest ecology and management, 2007, 243(2/3): 178-186.
- [13] 刘秉儒. 贺兰山东坡典型植物群落土壤微生物量碳、氮沿海拔梯度的变化特征[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 883-888.
- [14] 詹海仙, 杨志坚, 魏爱丽, 等. 干旱胁迫对小麦生理指标的影响[J]. 山西农业科学, 2011, 39(10): 1049-1051.
- [15] 杨阳, 申双和, 马绎皓, 等. 干旱对作物生长的影响机制及抗旱技术的研究进展[J]. 科技通报, 2020, 36(1): 8-15.
- [16] 刘明, 吕爱锋, 武建军, 等. 干旱对农业生态系统影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(32): 165-171.
- [17] LAW B E, FALGE E, GU L, et al. Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation[J]. Agricultural and forest meteorology, 2002, 113(1/2/3/4): 97-120.
- [18] 宋吉轩, 李金还, 刘美茹, 等. 油菜素内酯对干旱胁迫下羊草渗透调节及抗氧化酶的影响研究[J]. 草业学报, 2015, 24(8): 93-102.
- [19] 石新建, 王彦芹, 李志军. 盐旱胁迫对花花柴种子萌发与幼苗生理生化特性的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(9): 1855-1862.
- [20] 彭晓婷, 秦绍龙. 干旱胁迫对小麦萌发及苗期生理活性的影响[J]. 陕西农业科学, 2020, 66(9): 1-5.
- [21] 田梦雨. 干旱胁迫对小麦苗期生长的影响及其生理机制[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [22] 赵先雨, 张玉书, 纪端鹏, 等. 辽宁苗期玉米根叶对水分胁迫的响应[J]. 中国农学通报, 2011, 27(30): 21-26.
- [23] 杜彩艳, 段宗颜, 潘艳华, 等. 干旱胁迫对玉米苗期植株生长和保护酶活性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(3): 124-129.
- [24] 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.
- [25] 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): 142-148.
- [26] 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.
- [27] SAIRAM R K, KUMUTHA D, EZHILMATHI K, et al. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants[J]. Biologia plantarum, 2008, 52(3): 401-412.
- [28] 郭太忠, 袁刘正, 赵月强, 等. 涝渍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.
- [29] IRFAN M, HAYAT S, HAYAT Q, et al. Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging[J]. Protoplasma, 2010, 241(1): 3-17.
- [30] 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.
- [31] 余卫东, 冯利平, 胡程达, 等. 苗期涝渍对黄淮海地区夏玉米生长和产量的影响[J]. 生态学报, 2015, 34(8): 2161-2166.
- [32] 程贝, 樊文娜, 刘家齐, 等. 盐分胁迫对紫花苜蓿发芽特性的影响[J]. 江西农业学报, 2019, 31(9): 61-67.
- [33] NEDJIMI B, MOHAMMEDI N, BELKHEIRI S. Germination responses of medic tree (*Medicago arborea*) seeds to salinity and temperature[J]. Agricultural research, 2014, 3(4): 308-312.
- [34] LIU D, LIU M, LIU X L, et al. Silicon priming created an enhanced tolerance in alfalfa (*Medicago sativa* L.) seedlings in response to high alkaline stress[J]. Frontiers in plant science, 2018, 9: 1-11.
- [35] 刘铎, 白爽, 杨庆山, 等. 紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 耐盐碱研究进展[J]. 生物学杂志, 2021, 38(1): 98-101, 105.
- [36] 才晓溪, 沈阳, 胡冰霜, 等. 过表达野生大豆 S-腺苷甲硫氨酸合成酶基因 GsSAMS 提高水稻耐盐碱性[J]. 核农学报, 2022, 36(1): 50-56.
- [37] CAI W, LIU W, WANG W S, et al. Overexpression of rat neurons nitric oxide synthase in rice enhances drought and salt tolerance[J]. PLoS One, 2015, 10(6): 1-17.
- [38] 王英, 张浩, 马军韬, 等. 水稻抗旱研究进展与展望[J]. 热带作物学报, 2018, 39(5): 1038-1043.
- [39] 范馨月, 张华, 赵继业, 等. 绒毛白蜡耐盐碱响应机制的研究进展[J]. 中国农学通报, 2021, 37(28): 28-34.
- [40] VAN ZELM E, ZHANG Y X, TESTERINK C. Salt tolerance mechanisms of plants[J]. Annual review of plant biology, 2020, 71: 403-433.
- [41] SHEN Q F, YU J H, FU L B, et al. Ionic, metabolomic and proteomic analyses reveal molecular mechanisms of root adaption to salt stress in Tibetan wild barley[J]. Plant physiology and biochemistry, 2018, 123: 319-330.
- [42] KAVI KISHOR P B, SREENIVASULU N. Is proline accumulation *per se* correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue? [J]. Plant, cell & environment, 2014, 37(2): 300-311.
- [43] ABDULA S E, LEE H J, RYU H, et al. Overexpression of *BrCIPK1* gene enhances abiotic stress tolerance by increasing proline biosynthesis in rice[J]. Plant molecular biology reporter, 2016, 34(2): 501-511.
- [44] TIAN X Y, HE M R, WANG Z L, et al. Application of nitric oxide and calcium nitrate enhances tolerance of wheat seedlings to salt stress[J]. Plant growth regulation, 2015, 77(3): 343-356.
- [45] WANG X P, GENG S J, MA Y Q, et al. Growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of tomato plant under sodium-or potassium-salt stress and alkali stress[J]. Agronomy journal, 2015, 107(2): 651-661.
- [46] 张毅, 石玉, 胡晓辉. 外源亚精胺对盐碱胁迫下番茄幼苗光合特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(2): 144-150.
- [47] ZAREA M J, KARIMI N, GOLTAPHEH E M, et al. Effect of cropping systems and arbuscular mycorrhizal fungi on soil microbial activity and root nodule nitrogenase[J]. Journal of the Saudi society of agricultural sciences, 2011, 10(2): 109-120.
- [48] GONG B, WANG X F, WEI M, et al. Overexpression of S-adenosylmethionine synthetase 1 enhances tomato callus tolerance to alkali stress through polyamine and hydrogen peroxide cross-linked networks[J]. Plant cell, tissue and organ culture, 2016, 124(2): 377-391.
- [49] 王俭珍, 刘倩, 高娅妮, 等. 植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(16): 5565-5577.
- [50] 周昕南. AM 真菌对向日葵生长及耐盐碱性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2019.
- [51] 邵雪娟. 盐碱地改良技术研究综述[J]. 种子科技, 2021, 39(6): 71-72.
- [52] 王伟, 解建仓, 黄俊铭, 等. 盐碱地治理新模式研究[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(5): 117-119, 122.
- [53] 官秀杰, 来永才, 钱春荣, 等. 耕作方式对松嫩平原北部盐碱地土壤理化性状的影响[J]. 作物杂志, 2014(1): 115-120.
- [54] 杜社妮, 白岗栓, 于健, 等. 沙封覆膜种植孔穴促进盐碱地油葵生长[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 82-90.
- [55] 孙建敏. 不同耕作方式对盐碱化土壤改良效果试验[J]. 山东农业科学, 2010, 42(5): 74, 82.
- [56] 张密密, 陈诚, 刘广明, 等. 适宜肥料与改良剂改善盐碱土壤理化特性并提高作物产量[J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 91-98.
- [57] CUI Q, XIA J B, YANG H J, et al. Biochar and effective microorganisms promote *Sesbania cannabina* growth and soil quality in the coastal saline-

- alkali soil of the Yellow River Delta, China[J]. Science of the total environment, 2021, 756: 1-11.
- [58] 崔向超, 胡君利, 林先贵, 等. 造纸干粉和糠渣对滨海盐碱地玉米生长和土壤微生物性状的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(3): 331-335.
- [59] 肖克庵, 吴普特, 雷金银, 等. 不同类型耐盐植物对盐碱土生物改良研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(12): 2433-2440.
- [60] 朱大为, 王永丰, 随媛媛. 阿尔冈金紫花苜蓿在吉林省西部盐碱地引种试验研究: 以榆树县西哈毛草场种植为例[J]. 水土保持应用技术, 2014(2): 9-10, 15.
- [61] ABD-ALLA M H, OMAR S A. Wheat straw and cellulolytic fungi application increases nodulation, nodule efficiency and growth of fenugreeek (*Trigonella foenum-graceum* L.) grown in saline soil[J]. Biology and fertility of soils, 1997, 26(1): 58-65.
- [62] 黄铖程, 刘景辉, 杨彦明. 生物菌肥对盐碱地燕麦生理特性及土壤速效养分的影响[J]. 北方农业学报, 2018, 46(5): 57-61.
- [63] 侯丽媛, 董艳辉, 李亚莉, 等. 藜麦抗旱性研究进展与展望[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(11): 22-28.
- [64] 宿婧, 史晓晶, 梁彬, 等. 干旱胁迫对藜麦种子萌发及生理特性的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(6): 928-932.
- [65] YANG A, AKHTAR S S, AMJAD M, et al. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress[J]. Journal of agronomy and crop science, 2016, 202(6): 445-453.
- [66] 岳凯, 魏小红, 刘文瑜, 等. PEG 胁迫下不同品系藜麦抗旱性评价[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(3): 52-59.
- [67] 李文尧, 张岁岐, 丁圣彦, 等. 干旱胁迫下紫花苜蓿根系形态变化及与水分利用的关系[J]. 生态学报, 2010, 30(19): 5140-5150.
- [68] SADAK M S, EL-BASSIOUNY H M S, DAWOOD M G. Role of trehalose on antioxidant defense system and some osmolytes of quinoa plants under water deficit[J]. Bulletin of the national research centre, 2019, 43(5): 1-11.
- [69] 杨利艳, 杨小兰, 朱满喜, 等. 干旱胁迫对藜麦种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 种子, 2020, 39(9): 36-40.
- [70] 刘长海, 周莎莎, 邹养军, 等. 干旱胁迫条件下不同抗旱性苹果砧木内源激素含量的变化[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(5): 94-98.
- [71] 厉广辉. 花生抗旱性性状鉴定及不同品种抗旱的生理机制研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [72] 邹利茹, 张福顺, 刘乃新, 等. 甜菜干旱胁迫响应研究进展[J]. 中国糖料, 2021, 43(1): 36-44.
- [73] LI G L, WU H X, SUN Y Q, et al. Betaine aldehyde dehydrogenase (BADH) expression and betaine production in sugarbeet cultivars with different tolerances to drought stress[J]. Sugar tech, 2016, 18(4): 420-423.
- [74] ANJUM S, TANVEER M, HUSSAIN S, et al. Exogenously applied methyl jasmonate improves the drought tolerance in wheat imposed at early and late developmental stages[J]. Acta physiologiae plantarum, 2016, 38(1): 25-35.
- [75] 田富容. 浅谈植物抗旱生理研究进展与育种[J]. 种子科技, 2021, 39(20): 135-136.
- [76] 李云. 玉米高产栽培技术及抗旱措施[J]. 江西农业, 2019(18): 19, 22.
- [77] 汪云刚, 漠丽萍, 李建军, 等. 干旱季节茶树防旱抗旱技术措施[J]. 云南农业科技, 2019(5): 29.
- [78] 屈涛, 范永胜, 宋树柏, 等. 豫北麦区抗旱减灾应对措施[J]. 农业科技通讯, 2017(8): 273-274.
- [79] 巩祥. 苹果园春季抗旱管理措施[J]. 西北园艺(综合), 2018(5): 32.
- [80] ZHANG Q, YAO Y B, WANG Y, et al. Characteristics of drought in Southern China under climatic warming, the risk and countermeasures for prevention and control[J]. Theoretical and applied climatology, 2019, 136(3/4): 1157-1173.
- [81] 刘周斌, 周宇健, 杨博智, 等. 植物抗涝性研究进展[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(18): 4385-4389, 4393.
- [82] 班甜甜. 草石蚕对水分胁迫的生理及形态响应[D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [83] 王芳. 大豆耐淹性鉴定及其形态解剖特征、遗传与 QTL 定位[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
- [84] 王丽, 李瑞莲, 周仲华, 等. 植物抗涝性研究进展[J]. 作物研究, 2013, 27(1): 75-80.
- [85] 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.
- [86] 张志远, 郭巧生, 邵清松. 淹水胁迫对药用菊花苗期生理生化指标的影响[J]. 中国中药杂志, 2009, 34(18): 2285-2289.
- [87] 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.
- [88] 唐睿. 白三叶液泡膜 Na⁺/H⁺ 逆向转运蛋白基因的克隆及其功能表达分析[D]. 上海: 华东师范大学, 2009.
- [89] 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.
- [90] BARICKMAN T C, SIMPSON C R, SAMS C E. Waterlogging causes early modification in the physiological performance, carotenoids, chlorophylls, proline, and soluble sugars of cucumber plants[J]. Plants, 2019, 8(6): 160.
- [91] 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.
- [92] 田秋颖, 林晓红, 宋长虹. 林甸灌区排渍设计[J]. 黑龙江水利科技, 2010, 38(2): 205-207.
- [93] 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.
- [94] 艾天成. 涝渍地土壤改良技术研究与应用[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [95] 刘大为. 农田排水资源灌溉利用适宜性评价研究: 以宁夏银北灌区为例[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2013.
- [96] 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.
- [97] 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.
- [20] 魏宗游, 陆莹霞, 杨军成, 等. 冠突散囊菌对贵州夏秋茶发花中真菌多样性及品质的影响[J]. 生命的化学, 2021, 41(6): 1189-1195.
- [21] 冉莉莎, 刘宝贵, 陈崇俊, 等. “金花”菌分离鉴定及其对茯茶化学成分的影响[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2021, 39(5): 96-103.
- [22] 陈西林. 茯砖茶发酵的热湿传递特性与烘房气流组织优化研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2021.
- [23] 赵仁亮. 茯砖茶加工中微生物演变及对品质形成影响的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- [24] 赵仁亮, 胥伟, 吴丹, 等. 黑毛茶不同产区发花对茯砖茶品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(21): 8-14.
- [25] 白通通, 南晓红, 金宝红, 等. 竖壁贴附送风改善冷藏库内流场特性[J]. 农业工程学报, 2019, 35(22): 331-337.
- [26] JIN B H, NAN X H, LIU L J, et al. Air distribution system suitable for tea brick fermentation process-Upward vertical wall attached ventilation[J]. Biosystems engineering, 2020, 198: 235-247.
- [27] 宁旭昊. 茯砖茶发酵、干燥工艺全周期能耗分析与节能特性研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2020.
- [28] RHEE K N, SHIN M S, CHOI S H. Thermal uniformity in an open plan room with an active chilled beam system and conventional air distribution systems[J]. Energy and buildings, 2015, 93: 236-248.
- [29] SHAN W Y, RIM D. Thermal and ventilation performance of combined passive chilled beam and displacement ventilation systems[J]. Energy and buildings, 2018, 158: 466-475.
- [30] 纪晓明, 周兴长, 黄亚亚, 等. 自动控温节能型茯砖茶烘房: CN201120475518. 2[P]. 2012-08-15.
- [31] 胡歆, 唐自强, 张乐, 等. 一种新型茯茶发酵系统: CN201720125235. 2[P]. 2017-10-10.
- [32] 刘军, 吴耀森, 李浩权, 等. 黑茶热泵发花干燥技术研究及应用[J]. 现代农业装备, 2019, 40(3): 71-75.
- [33] 杨庆新, 刘仲华, 黄建安, 等. 一种智能控温的散茶发花烘房控制系统: CN202010512896. 7[P]. 2021-09-07.

(上接第 14 页)