

中轻度盐碱化耕地适生栽培沃土增效技术 编制说明

一、目的意义

本标准旨在系统性地规范在中轻度盐碱化耕地上，以“沃土增效”为核心目标的综合技术流程。其主要目的包括：确立从土地整治、土壤改良、耐盐品种筛选、创新种子处理（如纳米物质浸种）到科学栽培管理（施肥、灌溉、病虫害防治）及收获后处理的全链条技术规范。为盐碱化耕地改良和农业生产提供一套科学、可操作、可复制的技术指南，明确关键环节的技术参数和质量要求。指导农业技术人员、种植户、农业企业等相关方科学、高效地开展盐碱地治理与利用工作，实现盐分有效调控、地力持续培肥和作物稳产增收。

我国拥有大量盐碱化土地，将其改造为良田是扩大耕地面积、提升粮食产能的重要途径。本标准的制定与推广，将为盐碱地综合治理提供强大的技术支撑，助力“向盐碱地要粮”，对保障国家粮食安全具有重大的战略意义。本标准整合了激光平地、灌排配套、多类型改良剂应用、纳米浸种等先进实用技术，形成了一套综合解决方案。它的发布将加速这些前沿科技成果的转化与落地，引领盐碱地改良技术的发展方向。标准强调“用养结合”和“绿色安全”原则，通过秸秆还田、施用有机肥、精准灌溉等措施，在改良土壤、提升产量的同时，注重培肥地力、保护生态环境，符合现代农业绿色、可持续发展的要求。通过应用本标准，可有效降低盐碱胁迫对作物生长的影响，显著

提高玉米、水稻、向日葵等主要作物的产量和品质，从而增加农民和农业生产经营主体的经济收入，具有显著的社会经济效益。

一、工作简况：包括任务来源、协作单位、主要工作过程、起草组成员及其所做的主要工作等；

1. 任务来源

本项目由中国科学院南京土壤研究所承担的“新优耐盐碱作物筛选与适生栽植控盐技术研究与示范”项目支持。

2. 协作单位

江苏省耕地质量与农业环境保护站，内蒙古农业大学，江苏诺丽慧农农业科技有限公司。

3. 主要工作过程

中轻度盐碱化耕地适生栽培沃土增效技术团体标准的编制过程可以分为以下步骤：

1) 资料收集和调研：团队成员对国内外相关中轻度盐碱化耕地适生栽培技术和行业标准进行了调研和研究，查阅了相关文献和政策法规，了解了行业发展现状和市场需求。

2) 分析和试验验证：根据收集的资料和调研成果，团队成员进行分析和试验验证，筛选出符合国际标准和国内行业要求的技术和方法，进行试验和验证。

3) 综述报告和技术经济论证：整理和总结试验和验证结果，编制综述报告，进行技术和经济论证，评估团体标准的可行性和效益，包括成本评估、社会效益评估等。

4) 草拟文本和征求意见：基于综述报告，编写团体标准的初步文本，征求各方意见和建议，进行修改和完善。

4. 起草组成员及其所做的主要工作

根据 2023 年 4 月 3 日中国土壤学会关于印发《中国土壤学会团体标准管理办法（试行）》的通知精神，于 2025 年 10 月成立以中国科学院南京土壤研究所，江苏省耕地质量与农业环境保护站，内蒙古农业大学，江苏诺丽慧农农业科技有限公司为标准起草单位；闵炬，郁洁，王相平，尹春艳，施卫明，张永涛，胡凤琴，王雨荷等为主要起草人的标准编制工作组。于 2025 年 12 月 8 日将《中轻度盐碱化耕地适生栽培沃土增效技术》立项申请表和标准草稿提交专家组审查，于 2025 年 12 月 23 日通过了来自南京农业大学、江苏省农业科学院、辽宁省农业科学院、黑龙江省农业科学院、吉林省农业科学院的 5 位专家审查，专家论证委员会查阅了标准主编单位提交的立项申请表、标准草案内容，经质询、讨论，形成以下论证意见：

- 一、 标准主编单位提供的材料齐全、内容完整；
- 二、 标准主编单位对国内外方法标准及文献进行了充分调研；
- 三、 标准定位准确，技术路线可行。

四、 标准草案内容框架合理，章节内容待立项后须进一步细化、优化、完善。

2023 年 12 月 26 日根据《中国土壤学会团体标准管理办法（试行）》规定，经自愿申请、专家评审论证，确定《中轻度盐碱化耕地适生栽培沃土增效技术》1 项团体标准符合立项要求，准予立项。并

在中国土壤学会官网进行了立项公示。

2026 年 1 月至 2026 年 6 月 25 日，起草组对标准草稿进一步细化和优化完善，并对外征求意见，共征集到 33 项意见，意见来自南京农业大学、江苏省农业科学院、辽宁省农业科学院、黑龙江省农业科学院、吉林省农业科学院等 10 家单位，意见采纳 33 项，部分采纳 0 项，未采纳 0 项。

2026 年 6 月 25 日至 2026 年 7 月 13 日，起草组针对向行业相关专家征求的意见对标准稿进行了修改完善，形成了正式的征求意见稿，提交中国土壤学会公开对外征求意见。

二、标准编制原则和确定标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据

中轻度盐碱化耕地适生栽培沃土增效技术团体标准的主要内容和技术指标的确定依据需要进行实地调研、查阅资料、试验论证等。

1. 实地调研：依托“新优耐盐碱作物鉴选与适生栽植控盐技术与示范”项目，在全国五大盐碱耕地开展了技术应用与示范，优化技术参数并评价技术效果。

2. 查阅资料：团队成员需系统搜集各类合规文件与学术资料，涵盖国家规范、行业准则、地方规程及国内外相关研究成果，全面梳理同类技术参数与管控要求，深入剖析现有研究成果与实践经验，为规范各项指标的划定提供理论支撑与参考依据。

3. 试验论证：根据标准内容适配的检测手段与仪器设备，开展定点试验与重复性检测，全方位检验规范条款与技术参数的科学性。结

合试验所得数据动态优化参数范围，保障最终规范内容贴合生产实际，具备落地价值。

4. 实地试验：结合盐碱地实际种植条件，布设标准化大田试验小区，选用玉米、水稻、向日葵等代表性作物与多种肥料或土壤调理剂处理，开展定点观测试验。系统监测田间土壤环境、作物生长状态。

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果；

1.总则

“因地制宜”原则的确立，是由中国地理条件和盐碱地资源复杂性的认识决定的，是所有治理工作的前提与基础。中国幅员辽阔，横跨多个气候带，地质地貌条件千差万别，这直接导致了盐碱地的形成原因、盐分构成、土壤性状及分布格局呈现出极其显著的地域异质性。从东北的苏打盐碱土^[1]，到西北的干旱-半干旱区硫酸盐盐渍土^[2]，再到滨海地区的氯化物盐土^[3]，其水盐动态^[4]、理化特性和成因^[5]迥然不同，这种差异决定了采用任何一种普适性的治理方法都是不科学也不可能成功的。例如，暗管排水技术在黄淮海平原等地下水位高的区域被证明能够显著改善盐碱土的理化特性并促进作物生长^[6]，但是该技术应用于西北地区，由于其地下水位较低，通常无法达到预期效果。不同类型盐碱地的核心化学障碍不同，因此使用的改良剂种类也不同，对于东北苏打盐碱地，其核心问题是高 pH 值和土壤胶体上过饱和的 Na^+ ，以及溶液中大量的 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- ，化学改良起到两种作用，一是中和碱性，二是以钙代钠。因此，石膏或脱硫石膏、磷石膏等工

业副产品是首选的改良剂^[7]，而对于黄淮海滨海盐碱地的 pH 并不极端，因此不需要对 pH 进行调节，虽然石膏也会产生一定的作用，但显然并非土壤改良剂的最优选择^[8]。

“用养结合”原则的核心在于将土地开发利用与地力的培育恢复作为一个统一的过程协同推进，最终实现经济、社会与生态效益的平衡。“用”，即开发利用，是“用养结合”的经济驱动力。在不同治理阶段，根据土壤情况不同，积极探索多样化盐碱化土地利用手段，这不仅包括种植耐盐粮食作物，也包括发展盐碱地特色农业，如种植种植高价值的耐盐经济作物^[9]、发展盐碱地牧业^[10]、开发盐碱地水产养殖^[11]以及利用盐碱地某些嗜盐植物开发生物能源。“养”，即培育涵养，是“用养结合”的生态根基。它要求在利用土地的同时必须对盐碱土进行治理，提升其综合生产能力，这包括施用有机肥等提高土壤有机质含量，改善土壤团粒结构以及使用微生物菌剂等改良土壤微生态环境。此外，某些“用”的过程本身可以达到“养”的效果，例如，种植紫花苜蓿、田菁等豆科耐盐植物，不仅能产生饲草价值，其根系的固氮作用和穿刺能力还能显著改良土壤肥力和物理结构。

盐碱地问题源于土壤中盐分的过度累积，而盐分在土壤中的运移与分配与水分运动有关，如何有效地调整土壤水盐平衡，是盐碱地能否治理成功的关键因素，通过施加灌溉水，能够溶解土壤表层及根系层的盐分，并将其淋洗至下层土壤或随怕排水系统排出，“灌排配套”原则则是为了保证淋洗的含高浓度盐分的水顺利排出，不畅的排水系统不仅会导致淋洗的盐分无法排出，还会抬高地下水位，加重盐渍化。

“灌排配套”原则中，配套是该原则的精髓所在，它强调灌溉系统与排水系统的规划必须是一个整体，例如，现代盐碱地治理中广泛应用的暗管排水技术，通过在地下一定深度铺设管道，能高效地排出多余水分和盐分，控制地下水位于临界深度以下，从而彻底改变土壤水盐运移的剖面特征，实现根系的脱盐环境^[12]。

盐碱地治理工程往往投资规模大且见效周期长^[13]，“经济高效”原则直接关系到项目能否持续进行，能否被广大农民所接受，该原则要求在盐碱地治理的决策、实施和管理中，必须进行严格的成本效益核算，力求以最小的投入获得最大的综合效益。“经济高效”原则不仅仅指初代建设成本的控制，更强调全生命周期的经济性。例如，通过大规模的水利工程进行淋洗，虽然在技术上可能非常有效，但其高昂的建设投资和持续的运行维护费用可能使其在许多地区不具备经济上的可持续性^[14]，相比之下，一些生物改良或生态农业模式^[15]虽然在起始阶段效果并不显著，但其投入成本低、能产生直接经济回报，对农民而言可能更具吸引力和可操作性。

“绿色安全”原则的首要维度是生态环境安全，盐碱地治理的很多环节都存在一定的环境风险，例如，灌排环境产生的高含盐量废水未经处理直接排放，将对下游水体造成盐污染，不当或过量使用化学改良剂也会导致土壤板结、养分失衡，甚至污染地下水^[16]。此外，“绿色安全”的另一核心维度是农产品质量安全。盐碱地治理目的之一是为了扩展更多的耕地以提供更多的农产品，但是由于盐碱地复杂的土壤环境，可能会存在某些重金属，因此盐碱地在转化为农田后，必须

要建立完善的检测体系。

2.土地整治

研究明确指出，地形参数，尤其是高程和坡度，对盐渍化的聚集有重大影响^[17]。地势的微小差异决定了地表径流的流向，在灌溉或降雨后，水分会携带溶解的盐分从地势稍高的区域流向地势低洼处。随着水分的下渗和蒸发，盐分便在低洼处不断累积，更有研究发现，土壤盐分含量与相对高程呈现出显著的相关性^[18]，地势低的区域盐渍化程度通常更高。土地平整的首要目的就是消除上述导致水盐分配不均匀的微地形，将地表改造为具有统一坡度或水平的平整面，在平整的坡面上，灌溉水能够形成均匀的水膜，避免了在低洼处汇集和在高处快速流失的现象，使得水分在整个田块的入渗机会均等。此外，低洼地由于长时间积水，土壤含水率更高，蒸发作用更为强烈，这会导致深层土壤盐分进入表层，加剧表层积盐，形成恶性循环。土壤平整消除了表明积水，从而有效阻断盐分上渗过程。

在盐碱地治理中，灌溉的作用不仅在于为作物提供水源，更在于通过淋洗主动调控水盐平衡，灌溉水渗入到土壤中，会溶解土壤颗粒表面和土壤溶液中固相和液相的盐分，在重力作用下携带盐分向下运移，将盐分带离根系主要分布区域^[19]。在两次灌溉之间或旱季，地表蒸发强烈，会产生强大的吸力，拉动下层含盐水分通过毛细管向上运移。而通过滴灌^[20]、微喷灌^[21]等现代节水灌溉技术，可以高频次、小水量地维持根层土壤的湿润状态，这有效地削弱或切断了由蒸发驱动的、自下而上的毛管水流，从而极大地抑制了深层盐分向表土的回归。

明沟排水的优势在于强大的地表排涝能力，在遭遇暴雨或进行大量灌溉时，明沟能够迅速汇集并排出地表径流，有效防止或缩短农田的淹水时间，缓解涝渍灾害，其建设技术要求较为简单，投资成本较低，这使得该技术在一些地区更具有优势，例如，如新疆某灌区长达十余年的对比试验中，明沟处理的排水控盐效果表现得更为突出^[22]，但是，明沟系统的采用占用了耕地资源，降低土地利用率，且沟内也容易滋生杂草、发生淤积堵塞，需要投入大量人力物力进行频繁的清淤和维护，管理成本高昂^[23]，敞开的水面也加剧了水分蒸发，在干旱半干旱地区尤为不利于水资源节约。

暗管排水最直接的作用则是能够将地下水位稳定控制在作物根系不致受害的临界深度以下，从根本上阻断了土壤毛细水上升导致的表层返盐路径。耿其明^[24]等提出与明沟排水相比，暗管排水工程能更有效地改良盐碱地含盐量，暗管排水也具有更高的经济效益，暗管排水区的投资可在 5-8 年内通过粮食增产收回，暗管排水固有局限主要体现在技术和成本层面，即投入相对较高以及淤堵后难以检测和修复。

“明沟+暗管”相结合的排水体系构建了完整的控盐通路，暗管网络长期稳定地将地下水位控制在安全深度，为实施灌溉淋盐提供了基础保障。淋洗下来的高盐分土壤水被暗管收集，最终通过明沟彻底的排出灌区，有效防止了排出的盐分在区域内滞留、再渗透或对下游造成污染。明沟确保了盐分真正离开土壤，实现了水盐运动的良性循环。

3. 土壤改良

使用化学改良剂作为盐碱地治理中见效最快、应用最广的手段之

一，可降低土壤的 pH 值和交换性钠离子含量。传统的化学改良剂如磷石膏可有效改良碱性土壤，尤其是 pH>8.5 的碱化土壤，其主要机理是利用钙离子置换出土壤胶体上吸附的钠离子，生成的硫酸钠溶解度高，易于随水淋洗排出，从而降低土壤的碱化度，然而，传统的磷石膏用量大，且含有的杂质有污染风险，难以大规模推广。电厂脱硫石膏因其来源广泛、成本低廉、纯度较高等优点，已成为极具潜力的新型改良材料，试验证明，脱硫石膏能够代替磷石膏降低盐碱土壤的 pH 值和土壤钠吸附比^[25]，甚至由于更高的纯度和更细的粒径，在某些情况下具有更好的效果。

与化学改良剂相比，有机改良剂的作用更为复杂和深远，有机改良剂不仅能够改善土壤物理结构，增加孔隙度，有机质能够提升土壤阳离子交换量，增强土壤保肥与缓冲能力，通过络合、吸附作用固定部分可溶性盐离子，缓解高盐胁迫。有机改良剂的来源广泛，实践中应用最普遍的包括传统农家肥、作物秸秆还田、商品有机肥等，传统农家肥和秸秆还田是最经济、最基础的有机培肥方式，长期使用这两种方法能有效提升盐碱地土壤有机质、全氮等养分含量，并对盐碱地微生物产生有益影响。例如，王婧^[26]等使用 6 000 kg/hm² 玉米秸秆还田，显著抑制了土壤积盐。

微生物改良盐碱地的机理是多方面的，固氮菌、解磷菌、解钾菌等微生物可以直接将土壤中难以利用的养分形态转化为有效态，直接提升土壤肥力。许多微生物在代谢过程中会分泌胞外多糖等黏性物质，这些物质能够促进团聚体形成，从而改善土壤结构，增加通气透水性，

缓解土壤盐碱化。例如，使用枯草芽孢杆菌和地衣芽孢杆菌组成的复合菌剂能在提高水稻产量的同时降低根际土壤电导率^[27]。此外，随着分子生物学和宏基因组学技术的发展，研究不再局限于筛选和应用单一菌株，而是转向构建功能协同的微生物菌群。杨婷^[28]等提出一种 Fe-耐盐功能菌群联用系统，该系统通过联合修复，不仅显著改善了盐碱土的 pH 和含盐量，提升了土壤全氮含量，还重塑了土壤微生物的群落结构，促进了植物的健康生长，该系统的修复功能相比单一菌株的微生物改良剂更加全面。

在许多盐碱地区，长期不合理的耕作会导致紧实的犁底层或钙积层的形成，这些层次阻碍了水分的下渗与根系的向下伸展，深耕或深松可以打破这些层次，加厚耕作层，为盐分淋洗下渗创造通道，近年来，还发展出了振动深松^[29]等耕作技术，振动深松通过高频振动降低土壤阻力，不仅能耗更低，而且对土壤结构的扰动更均匀，改良效果更为显著。

4. 种子处理

4.1 不同浓度纳米材料的耐盐促生效果

100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 浸种处理的耐盐促生效果最显著。在 60 mM 和 90 mM NaCl 胁迫下，这两种处理方式均使玉米发芽势达到 70%，平均比对照组提升 15.87%和 35.03% ($p < 0.05$)。在非盐胁迫条件下，使玉米发芽势超过 85%，比对照组显著提升 5.37%~7.22% ($p < 0.05$)。相反，SiO₂NPs 浸种处理在盐胁迫下抑制

了玉米发芽。因此，100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 可作为后续生理和机制分析的理想材料（表 1）。

	0 mM	60 mM	90 mM
CK	81.11±11.71 ab	61.11±11.71 ab	42.22±5.09 bc
50 ppm SiO ₂ NPs	56.67±6.67 d	43.33±13.33 cd	36.67±13.33 bc
100 ppm SiO ₂ NPs	52.22±3.85 d	51.11±18.36 cd	41.11±13.47 bc
200 ppm SiO ₂ NPs	51.11±11.71 d	34.44±6.94 c	41.67±1.67 bc
50 ppm ZnO-NPs	74.44±13.47 abc	48.31±11.67 cd	48.89±10.18 b
100 ppm ZnO-NPs	86.48±5.95 a	80.00±10.00 a	77.22±3.89 a
200 ppm ZnO-NPs	63.33±16.67 cd	41.67±15.00 cd	36.67±13.33 bc
50 ppm Ag-NPs	88.33±5.00 a	73.96±2.71 a	77.28±10.62 a
100 ppm Ag-NPs	66.67±3.33 bcd	63.33±3.33 ab	30.00±3.33 c
200 ppm Ag-NPs	68.89±5.09 bcd	46.67±12.02 cd	39.31±3.54 bc

表 1. 不同浓度纳米材料对玉米三天发芽势的影响。CK 表示对照；NPs 表示纳米颗粒；0、60、90 mM（毫摩尔每升）指 NaCl 溶液的浓度。数据以平均值 ± 标准差（n = 3）的形式呈现。同一列中不同字母表示在 p < 0.05 水平上数值存在显著差异。

4.2 100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 对玉米萌芽期耐盐促生效果

100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 均能提升玉米发芽率，并增强萌发稳定性。具体而言，在非盐胁迫条件下，两种材料使发芽势提升 19.71%~22.73%（p < 0.05），使发芽率提升 9.46% - 10.81%。在盐胁迫下，对照组玉米发芽势下降了 10.65%~17.98%，发芽率下降了 11.95%~18.92%。而 100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 显著缓解了盐胁迫引起的发芽抑制，使有无盐胁迫下的发芽势和发芽率差距分别缩小 6.57%和 7.65%。在 60mM NaCl 胁迫下，纳米材料浸种处理显

著提高了发芽势和发芽率（分别从 62.68% 提高到 84.85%，从 70.27% 提高到 87.38%； $p < 0.05$ ），在 90mM NaCl 胁迫下同样提高了发芽势和发芽率（分别从 55.35% 提高到 77.45%，从 63.30% 提高到 82.29%； $p < 0.05$ ）。这表明，在 60 - 90 mM NaCl 盐胁迫下，100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 均可以显著提高发芽率，平均为 17.11%~22.17%（ $p < 0.05$ ）（图 1）。

7 天动态发芽率表明，100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 均能提高发芽性能并增强萌发稳定性。100 ppm ZnO-NPs 在早期（第 1 至 3 天）表现出更优的效果，而 50 ppm Ag-NPs 在后期（第 4 至 7 天）表现出更优的效果（图 1，c-e）。

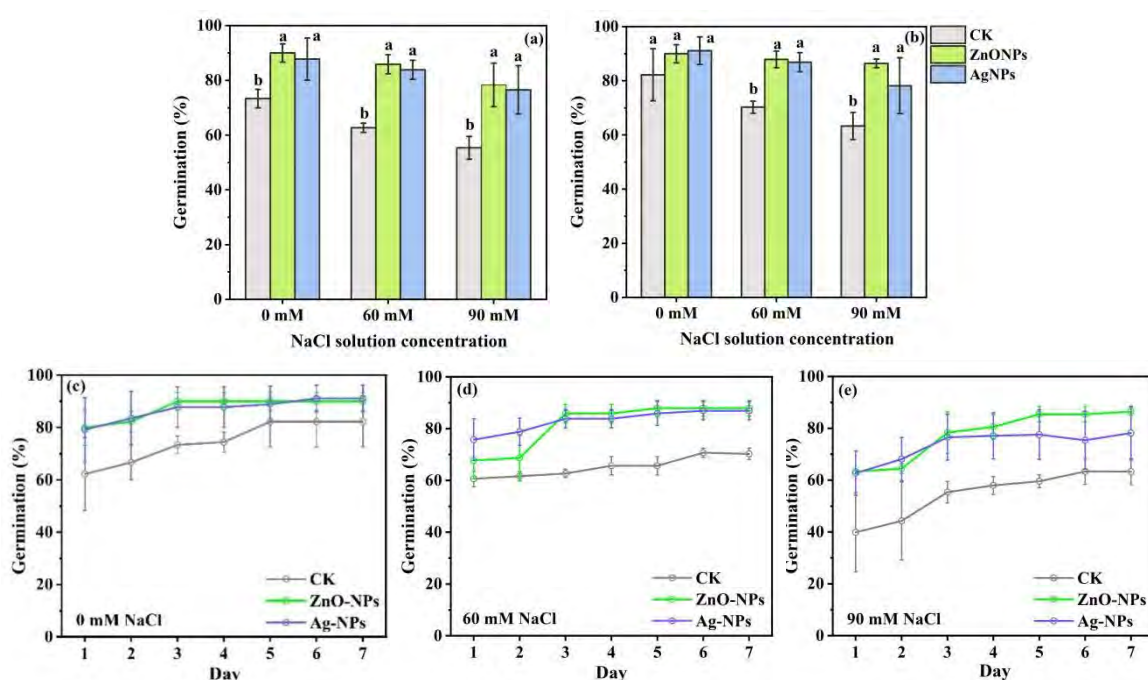


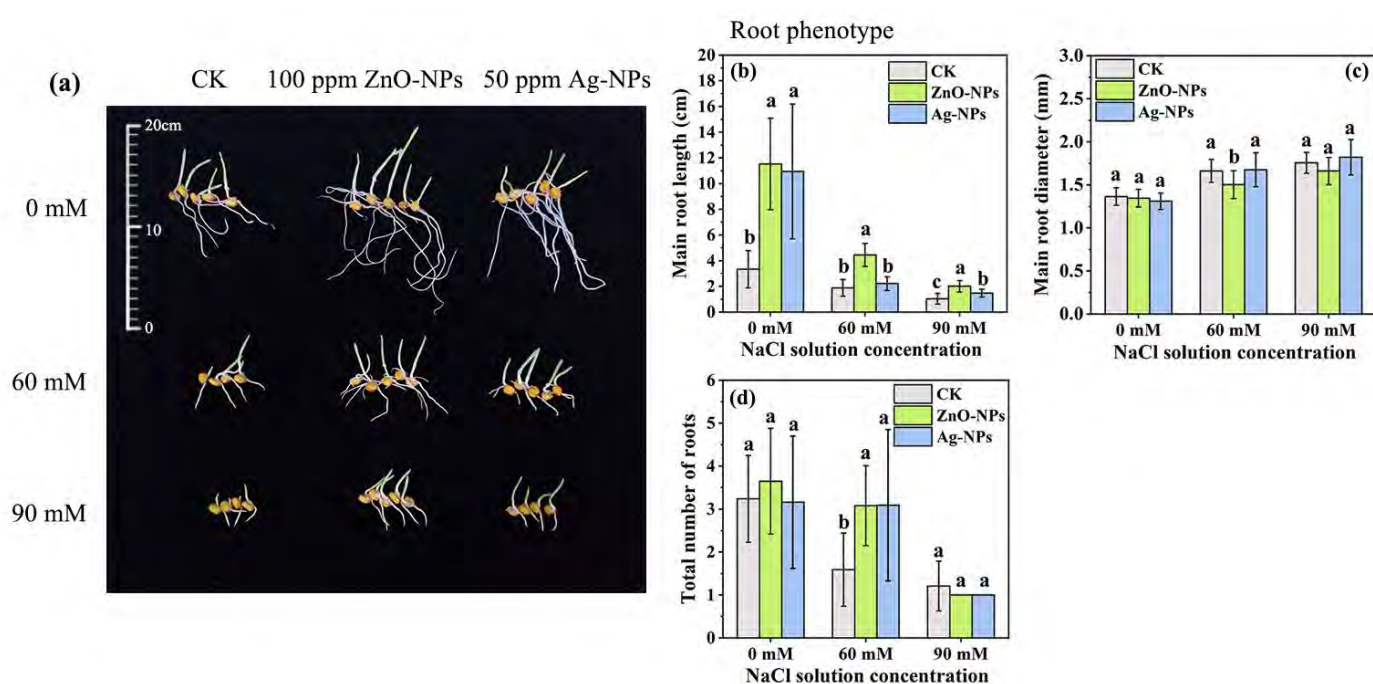
图 1. 100ppm ZnO-NPs 和 50ppm Ag-NPs 对玉米萌芽期发芽的影响。(a)、(b) 分别为发芽势和发芽率；(c)、(d)、(e) 分别为 0、60、90mM NaCl 胁迫下 7 天的动态发芽率。CK 表示对照；NPs 表示纳米颗粒；0、60、90 mM（毫摩尔每升）指 NaCl 溶液的浓度。数据以平均值（y 轴）和标准差（y 轴误差线）表示（ $n = 3$ ）。不同字母表示在相同 NaCl 溶液浓度下 $p < 0.05$ 水平上的显著差异。

100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 处理还促进了玉米根系在胁迫

胁迫下的生长，表现为根系伸长恢复以及根数增加。在非盐胁迫下，100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 均显著促进了初生根根长，分别使根长从 3.33 cm 增加到 11.53 cm 和 10.95 cm，增幅为 2.3 至 2.5 倍。在 60 mM NaCl 胁迫下，两种纳米材料分别将初生根根长从 1.88 cm 增加到 4.45 cm 和 2.23 cm。在 90 mM NaCl 胁迫下，两种纳米材料分别将初生根根长从 1.04 cm 增加到 2.01 cm 和 1.48 cm。值得注意的是，在盐胁迫下，100 ppm ZnO-NPs 表现出更显著的效果，使初生根根长增加了 93.27%~136.70% ($p < 0.05$)。在 60 mM NaCl 胁迫下，100 ppm ZnO-NPs 将初生根根长恢复到了正常水平（图 2）。

在 60 mM NaCl 胁迫下，100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 处理显著增加了根总数，与对照相比分别增加了 94.9%~100.6% ($p < 0.05$)。在非盐胁迫或 90 mM NaCl 胁迫下，均未观察到根总数的显著增加 ($p > 0.05$)（图 2）。

在非盐胁迫条件下，两种纳米材料均使初生根直径减小。在 60



mM NaCl 和 90 mM NaCl 胁迫下，100 ppm ZnO-NPs 使初生根直径分别减小 0.18 mm 和 0.1 mm。与对照相比分别减小 10.71% ($p < 0.05$) 和 5.68%。在 60 mM NaCl 和 90 mM NaCl 胁迫下，50 ppm Ag-NPs 处理与对照相比，初生根直径增加不显著（图 2）。

图 2. 100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 对玉米萌芽期根系生长的影响。（a）为玉米萌芽期照片。（b）、（c）、（d）分别为玉米的初生根根长、初生根直径和根总数。CK 表示对照；NPs 表示纳米颗粒；0、60、90 mM（毫摩尔每升）指 NaCl 溶液的浓度。每种处理的重复次数：0 mM 和 60 mM NaCl， $n = 12$ ；90 mM NaCl， $n = 9$ 。数据以平均值（y 轴）和标准差（y 轴误差线）表示。不同字母表示在相同 NaCl 溶液浓度下， $p < 0.05$ 水平上的值存在显著差异。

4.3 100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 对玉米苗期的耐盐促生效果

在盐胁迫下，100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 均显著促进了玉米苗期的发芽率。在含盐量为 6.48% 的土壤条件下，两种纳米材料均使发芽率提高了 21.42%；在含盐量为 15.39% 的土壤条件下，100 ppm ZnO-NPs 使发芽率提高了 44.29%，50 ppm Ag-NPs 使发芽率提高了 18.20% ($p < 0.05$)（图 3）。

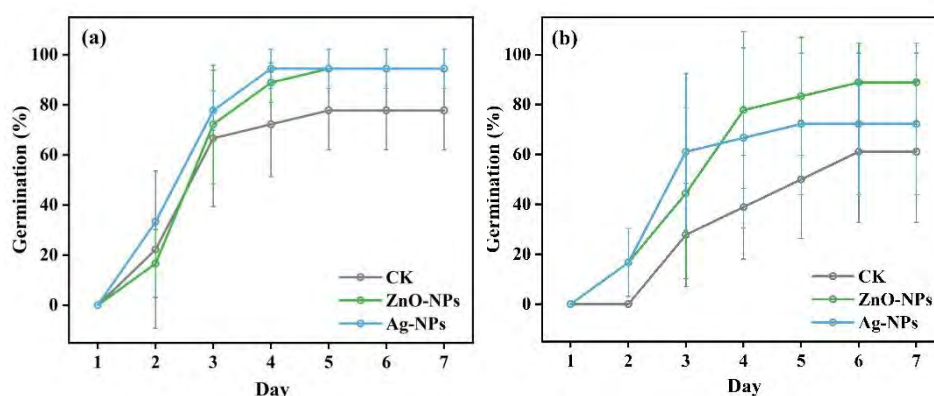


图 3. 100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 对玉米苗期发芽的影响。（a）和（b）分别为在含盐量为 6.48% 和 15.39% 的土壤条件下 7 天的动态发芽率。CK 表示对照；NPs 表示纳米颗粒。数据以平均值（y 轴）和标准差（y 轴误差线）表示（ $n = 3$ ）。

在盐胁迫下，两种纳米材料显著促进了玉米苗期的根系发育。在含盐量为 6.48‰ 的土壤条件下，100 ppm ZnO-NPs 显著增加了根表面积 (26.2%)、根体积 (29.1%) 和单位体积根长 (38.4%) ($p < 0.05$)。然而，50 ppm Ag-NPs 效果有限，根表面积、根体积和单位体积根长分别增加了 8.6%、0.2% 和 35.9%，均未达到显著水平 ($p > 0.05$)。在含盐量为 15.39‰ 的土壤条件下，100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 显著增加了根表面积 (分别为 50.7%、78.9%) 和根体积 (分别为 43.7%、46.1%) ($p < 0.05$)，但对单位体积根长的影响均不显著 (分别为 26.1%、21.9%) ($p > 0.05$)。结果表明，在盐土条件下，100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 均能促进玉米苗期的根系生长 (图 4)。

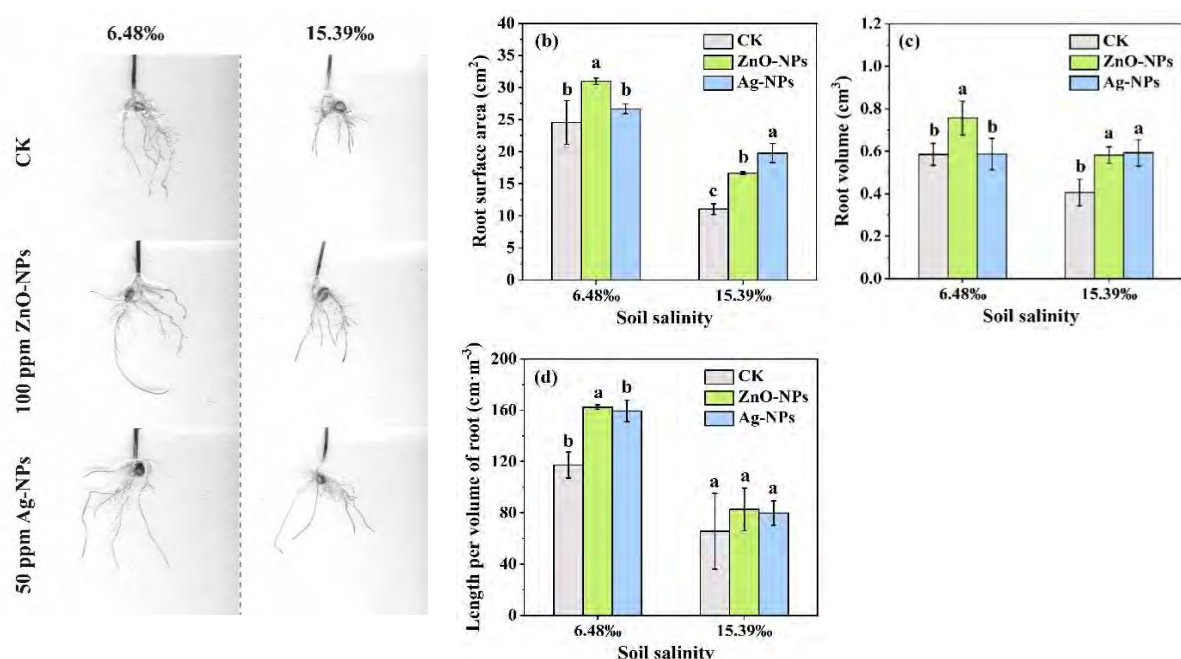


图 4. 100 ppm ZnO-NPs 和 50 ppm Ag-NPs 对玉米苗期根系生长的影响。(a) 为玉米苗期根系的扫描照片。(b)、(c)、(d) 分别为玉米根系的表面积、体积和单位体积长度。CK 表示对照；NPs 表示纳米颗粒；6.48‰、15.39‰ 分别表示土壤含盐量。数据以平均值 (y 轴) 和标准差 (y 轴误差线) 表示 ($n = 3$)。不同字母表示在相同土壤盐度下 $p < 0.05$ 水平上的值有显著差异。

4.4 100 ppm ZnO-NPs 对玉米田间的耐盐促生效果

田间试验在河北省临西县进行。结果表明，100 ppm ZnO-NPs 浸种处理显著促进了玉米在盐碱地条件下的存活和生长。100 ppm ZnO-NPs 显著提高了幼苗成活率,存活数较对照组的 102 株增加到 158 株 ($p < 0.05$)。出苗率从 60.0% 提高到 92.9%，相对提升 54.8%。此外，100 ppm ZnO-NPs 浸种处理的株高较对照组的 21.0 cm 增加到 34.3 cm ($p < 0.05$)。这些结果表明，在盐碱地条件下，用 100 ppm ZnO-NPs 进行种子处理是一种有效的农艺策略,能够提高玉米的出苗率和早期生长。

	播种穴数	成活穴数	出苗率 (%)	株高 (cm)
CK	170	102±11.4 b	60.0±6.7 b	21.0±1.13 b
100 ppm ZnO-NPs	170	158±6.6 a	92.9±3.9 a	34.3±2.69 a

表 3. 田间玉米的生长表现。每行种植 17 株幼苗。CK 表示对照；NPs 表示纳米颗粒。每处理重复数：成活穴数和出苗率 $n=3$ ；株高 $n=6$ 。数据以平均值和标准差表示。同一列中不同字母表示在 $p < 0.05$ 水平上数值存在显著差异。



图 5. 100ppm ZnO-NPs 处理对田间玉米种子萌发的影响。每行田间种植 17 株幼苗。CK 表示对照；NPs 表示纳米颗粒。

5.施肥管理

5.1 向日葵

缓释肥及缓释肥配施木醋液对盐碱耕地向日葵表现出明显的促

生效果，其中 SF+WV 处理促生效果尤为显著。与 CF 相比，SF 和 SF+WV 处理的总生物量和花盘质量比 CF 处理显著提高 30%~64%和 34%~84%。田间土壤结果显示，SF 及 SF+WV 处理均显著提高了土壤有效磷含量（79%~450%），同时增加了根际土壤铵态氮含量并降低了非根际土壤的 EC；此外，SF+WV 处理降低了非根际土壤水溶性钠离子含量。

处理	CF	SF	SF+WV
株高 (cm)	223.9±1.2 b	234.0±6.0 a	230.6±7.1 a
单叶叶面积 (cm ²)	709.0±125.2 b	681.4±54.3 b	878.2±140.3 a
茎粗 (cm)	33.13±4.75	33.33±3.29	37.75±6.52
全株叶重 (g)	0.43±0.03 b	0.56±0.17 ab	0.74±0.15 a
全株茎重 (g)	0.98±0.09 b	1.11±0.31 ab	1.43±0.19 a
花盘质量 (g)	0.81±0.07 c	1.14±0.27 b	1.49±0.13 a
花盘直径 (cm)	24.67±1.12 a	26.56±3.71 a	27±2.35 a
总生物量 (g)	2.22±0.14 b	2.8±0.72 b	3.65±0.4 a

表 4. 有机无机缓释氮肥及木醋液对向日葵生长的影响。CK 表示对照；SF 表示有机无机缓释氮肥处理；SF+WV 表示有机无机缓释氮肥+木醋液处理

	根际			非根际		
处理	CF	SF	SF+WV	CF	SF	SF+WV
pH	8.67±0.01 a	8.55±0.13 a	8.68±0.18 a	7.86±0.14 c	8.51±0.05 a	8.29±0.1 b
EC (μs/cm)	171±27 b	282±24 a	193±18 b	452±8 a	254±23 c	302±23 b
铵态氮 (mg/kg)	1.43±0.12 a	1.97±0.42 a	1.86±0.4 a	3.95±1.61 a	2.09±0.06 a	4.56±2.03 a
硝态氮 (mg/kg)	2.55±1.18 a	1.27±0.4 a	1.55±0.78 a	52.2±5.77 a	8.6±0.07 b	9.56±1.89 b

有效磷 (mg/kg)	1.72±0.64 c	4.77±0.05 a	3.08±0.24 b	1.59±0.3 b	5.29±1.54 a	8.68±2.69 a
水溶性钾 (mg/kg)	71±10 a	31±4 c	44±0 b	12.±2 b	74±15 a	81±39 a
水溶性钠 (mg/kg)	75±1 c	153±4 b	120±16 a	148±11 b	166±8 a	97±2 c

表 5. 有机无机缓释氮肥和木醋液对向日葵根际及非根际土壤性质的影响。CK 表示对照；SF 表示有机无机缓释氮肥处理；SF+WV 表示有机无机缓释氮肥+木醋液处理

5.2 玉米

缓释肥及木醋液对盐碱耕地玉米具有明显的促生效果。与 CF 处理相比，SF 处理提高了玉米产量（+3.1%）；而 SF+WV 处理株高、单叶叶面积、总生物量和产量均显著提升，其中产量显著增加 26.8% ($p<0.05$)。土壤性质结果显示，SF 及 SF+WV 处理显著提高了土壤速效养分（包括氮磷钾）含量，降低了土壤钠钾比；此外，SF+WV 处理降低了土壤 pH。

处理	CF	SF	SF+WV
株高 (cm)	248±23 c	284±22 b	321±9 a
单叶叶面积 (cm ²)	557±34 b	561±62 b	677±22 a
茎粗 (cm)	2.80±0.14 a	2.85±0.26 a	2.85±0.17 a
全株叶重 (g)	37.5±7.7 b	45.6±3.3 ab	53.7±7.7 a
全株茎重 (g)	107.8±19.6 ab	88.0±25.3 b	129.9±25.5 a
玉米穗重 (g)	193.1±34.7 a	198.3±31.3 a	219.8±23.5 a
总生物量 (g)	338.4±35.6 b	331.8±31.3 b	403.4±23.5 a
百粒重 (g)	19.42±2.03 a	20.43±2.82 a	22.07±1.50 a
产量 (kg/亩)	607±8 b	626±21 b	770±28 a

表 6. 有机无机缓释氮肥配施木醋液对玉米生长及产量的影响。CK 表示对照；SF 表示有机无机缓释氮肥处理；SF+WV 表示有机无机缓释氮肥+木醋液处理

处理	CF	SF	SF+WV
pH	8.06±0.05 a	8.15±0.12 a	7.9±0.18 a
EC (μs/cm)	440±2 b	633±15 a	699±148 a
铵态氮(mg/kg)	0.49±0.1 ab	0.36±0.25 b	0.82±0.14 a
硝态氮(mg/kg)	1.87±0.82 b	17.83±5.38 a	17.32±6.03 a
有效磷(mg/kg)	3.9±0.8 b	12.7±2.1 a	16.8±3.4 a
水溶性钾 (mg/kg)	9.5±1.0 b	15.9±2.9 a	13.7±0.3 a
水溶性钠 (mg/kg)	291±12 ab	409±41 a	176±114 b
钠钾比	30.8±4.5 a	26.7±8.0 ab	12.7±8.0 b

表 7. 有机无机缓释氮肥及木醋液对玉米土壤性质的影响。CK 表示对照；SF 表示有机无机缓释氮肥处理；SF+WV 表示有机无机缓释氮肥+木醋液处理

5.3 水稻

与 CF 相比，SF 处理显著增加了分蘖期水稻株高和地上生物量；同样，SF 处理水稻收获后的株高、生物量、千粒重、结实率和穗粒数及亩有效穗数均高于 CF 处理，产量显著提高 17% ($p<0.05$)。与 CF 相比，SF 处理土壤 pH 和 EC 分别降低了 0.12 个单位和 63 μ s/cm。

表 8. 有机无机缓释氮肥对分蘖期水稻生长的影响。CK 表示对照；SR 表示秸秆还田处理；SF 表示有机无机缓释氮肥处理。

处理	CF	SR	SF
株高 cm	32±2 b	28±2 c	40±2 a
叶龄	8.5±0.8 a	8.5±0.6 a	7.8±1.1 a
茎蘖数	8±2 a	6±1 a	6±3 a

地上部生物量 g/穴	0.9±0.3 a	0.8±0.2 a	1.1±0.5 a
地下部生物量 g/穴	0.4±0.1 a	0.4±0.2 a	0.3±0.1 a

表 9. 有机无机缓释氮肥对水稻生长及产量的影响。CK 表示对照；SR 表示秸秆还田处理；SF 表示有机无机缓释氮肥处理。

处理	CF	SR	SF
株高 (cm)	77.7±3.1 b	78.0±2.2 b	83.5±3.4 a
秸秆生物量 (g/穴)	11.5±1.0 c	14.1±1.5 b	28.0±2.2 a
籽粒生物量 (g/穴)	13.6±2.1 c	19.7±2.0 b	35.4±1.9 a
千粒重 (g)	23.74±1.72 a	24.34±1.29 a	24.50±1.50 a
结实率	0.84±0.05 a	0.86±0.06 a	0.89±0.05 a
穗粒数	82±15 b	102±14 a	110±15 a
亩有效穗数 (万/亩)	30.1±5.2 a	31.1±4.8 a	35.0±9.4 a
产量 (kg/亩)	423±50 b	450±11 ab	495±48 a

表 10. 有机无机缓释氮肥对水稻收获后土壤性质的影响。CK 表示对照；SR 表示秸秆还田处理；SF 表示有机无机缓释氮肥处理。

处理	CF	SR	SF
pH	7.69±0.10 a	7.64±0.08 a	7.57±0.03 a
EC (μs/cm)	663±20 a	783±55 a	600±68 a
铵态氮 (mg/kg)	0.82±0.15 a	0.78±0.21 a	0.78±0.15 a
硝态氮 (mg/kg)	4.21±1.87 b	6.02±1.68 b	13.71±4.53 a
有效磷(mg/kg)	34.0±3.5 a	23.1±3.8 b	29.1±2.9 ab
水溶性钾 (mg/kg)	54±2 a	39±1 b	30±3 c
水溶性钠 (mg/kg)	203±32 b	329±43 a	210.±40 b

6. 种植密度

盐碱胁迫对植物的影响是多方面的，包括高浓度盐分引起的渗透胁迫、离子毒害以及高 pH 值引起的碱胁迫共同构成的复合逆境，这些胁迫改变了植物的生长环境，从而决定了作物的种植密度。高盐分环境导致土壤水势急剧下降，造成植物生理性干旱，即渗透胁迫。植物根系难以从土壤中吸收水分，即使土壤含水量处于正常范围，植物也可能表现出萎蔫症状，为了应对这种胁迫，植物会启动一系列生理适应机制，如关闭气孔以减少水分蒸腾，但此举也同时限制了二氧化碳的进入，直接导致光合速率下降^[30]，从而影响了植物干物质的积累和叶面积的增长。例如，盐胁迫对食用向日葵现蕾期叶片光合性能有显著的负面影响，不仅降低了光合速率，还可能通过非气孔限制因素损伤光合系统本身^[31]。

离子毒害是盐碱胁迫对植物生长的另一阻碍，土壤中过量的钠离子等盐分离子被植物根系吸收后，会在体内大量积累，破坏细胞内正常的离子平衡^[32]。钾离子是植物体内多种酶的激活剂，对维持细胞膨压和正常的生理功能至关重要，而钠离子的过度积累会与钾离子产生拮抗作用，抑制关键酶的活性。例如，小米、小麦、油菜、高粱、玉米、大豆共 6 种作物在盐胁迫下，其体内 Na^+ 、 K^+ 含量及 K^+/Na^+ 比值均发生显著变化^[33]。此外，碱胁迫往往比单纯的盐胁迫对植物的危害更大，高 pH 环境会影响土壤中磷、铁、锌、锰等多种必需营养元素的有效性，导致植物出现营养吸收障碍^[34]。

玉米作为一种高光效的 C4 作物，在传统农业中，通过合理密植

以构建高光效群体是实现超高产的关键路径。然而，在盐碱胁迫下，玉米对盐分的耐受性相对较弱，玉米的高产潜力受到极大挑战，盐胁迫会显著抑制玉米的出苗和幼苗生长，降低株高和茎粗，减少叶面积^[35]，玉米根系吸收能力下降，且在盐胁迫条件下，可供吸收的水分和营养物质偏少，因此合理密植保苗是盐碱地玉米实现稳产丰产的核心栽培措施，密度约为 4200 株/667m²；中度盐碱可降至 3800 株/667m²。

向日葵作为一种具有较强耐旱、耐贫瘠、耐盐碱能力的作物，向日葵在面对盐胁迫时，能够通过积累脯氨酸等渗透调节物质来维持细胞膨压，同时其体内的超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）和过氧化氢酶（CAT）等抗氧化酶系统会被激活，以清除盐胁迫产生的活性氧，减轻膜脂过氧化损伤，这使得向日葵在一定盐浓度下能够正常生长，然而，过高浓度的盐分也会改变向日葵的冠层结构，导致总叶面积和主要功能叶面积减小^[36]。向日葵的种植密度对向日葵产量的影响呈现出典型的抛物线关系^[37]，在盐碱地中，由于单株生长本就受限，这种因密度过高而产生的负面效应会来得更早、更剧烈。因此，在轻度盐碱地，土壤对向日葵生长的限制相对较小，可以适当采用较高的种植密度，以充分利用光热资源，而在中、重度盐碱地，土壤盐碱胁迫成为限制产量的主要因素，此时应适当降低种植密度。轻度盐碱地密度为密度 2200 株/667 m²；中度盐碱可降至 2000 株/667 m²。

水稻在盐碱地中不仅是一种粮食作物，也作为一种高效的生物改良工具，其生长需要建立持续的淹水环境。这种长时间的淹水灌溉过程，本身就是一种高效的淋洗措施，可以将表层土壤中积累的盐分随着水

流向下层渗透或通过排水系统排出,从而有效降低耕作层的土壤盐分含量和电导率^[38]。此外,水稻根系和秸秆还田还能增加土壤有机质,改善土壤结构^[39]。因此,水稻在盐碱地的种植密度需要维持在一个相对较高的水平,甚至高于常规稻田,对于盐碱化程度严重的盐碱地,可适当增加种植密度^[40]。

7.水分管理

在干旱半干旱地区,自然降水稀少,蒸发强烈,灌溉成为农业生产不可缺少的手段,然而,灌溉行为本身也是一个潜在的盐分输入过程,长期使用高矿化度的水源进行灌溉是导致耕地,特别是原本非盐渍化或轻度盐渍化土壤发生次生盐渍化的首要驱动力,李宪^[41]等通过对比不同矿化度咸水的灌溉效应发现,当灌溉水矿化度高达 24 g/L 和 32 g/L 时,土壤剖面呈现出明显的积盐现象。这是由于灌溉后水分由于地表蒸发和植物蒸腾散失到大气中,而水中的盐分却几乎全部滞留在土壤中。

低矿化度水体作为溶剂,溶解土壤剖面中已存的固相和液相盐分的过程。水的矿化度越低,其溶解盐分的不饱和度就越高,淋洗效率也相应增强。灌溉水渗入土壤时,它会沿着土壤孔隙向下运移,沿途将表层和根区积累的盐分溶解,形成高浓度的盐溶液,并将该溶液带离。马云瑞^[42]等提出使用使用矿化度仅为 1.3-1.6 g/L 的回归水进行灌溉,能够有效地使中轻度盐渍化土壤实现脱盐。

作物从播种到成熟的整个生命周期中,其对水分的需求和对盐分胁迫的敏感程度都不是一成不变的,而是呈现出显著的阶段性动态变

化^[43]。例如，在开花、灌浆等阶段，作物蒸腾作用强烈，新陈代谢旺盛，对水分的需求达到顶峰。此时的灌溉直接避免了因水分胁迫导致的授粉失败、籽粒干瘪等严重后果，保证了作物产量。同时，在关键生育期到来之前，土壤中的盐分可能由于前期的蒸发作用而有所回升，对即将进入敏感期的作物构成潜在威胁。此时进行的一次足量灌溉，特别是使用低矿化度水可以为作物创造一个短暂但至关重要的低盐环境^[44]。关键期灌溉，尤其是结合滴灌等现代技术，滴灌系统可以持续且缓慢的向土壤和植物根部供水，灌溉水则不断将盐分推向湿润体的边缘地带，从而延长低盐环境的持续时间。

8. 病虫害防治

生长在盐碱地上的作物，长期处于逆境胁迫之下，如前所述，碱胁迫导致作物吸水吸肥困难，光合作用效率降低，生长发育迟缓，植株普遍矮小瘦弱，这决定了作物对病虫害防御能力偏弱，在逆境条件下，作物会消耗作物大量的能量用于渗透调节和抵抗有毒离子^[45]，植物的诱导抗性反应可能会受到干扰，使其对病原菌和害虫的识别与响应能力下降，此外，胁迫导致的代谢失衡可能使作物对某些特定病虫害更具吸引力或更容易被侵染。

“预防为主”的原则强调在虫害尚未发生或处于点始发生阶段时，就通过一系列前瞻性措施，创造不利于病虫害发生、繁殖和传播的环境^[46]，“综合防治”原则则强调根据有害生物的发生规律和危害特点，因地制宜、协调运用多种防治措施，以达到最佳的防治效果，反对超量使用和依赖农药，鼓励将农业、物理、生物和化学防治等手段有机

结合。

农业防治通过改善土壤的物理结构，从而起到间接防治病虫害的作用。例如，豆科与禾本科组合被认为是改良盐碱地的经典高效模式，豆科与禾本科植被可改善土壤物理结构、提高团聚体稳定性并调控碳氮代谢^[47]。通过通过合理的耕作方式（如深耕、深松）与残体管理相结合，主动调控土壤水盐分布和微生物区系^[48]，以及使用低浓度的盐溶液浸泡种子一段时间，在后续高盐胁迫下表现出更快的萌发速度、更高的萌发率和更强的幼苗生长势^[49]。

在综合防治体系中，盐碱地的化学防治是必要的补充和应急手段，必须在田间病虫种群密度达到经济防治指标后，才考虑使用化学农药，避免盲目、定期的预防性用药，应选择优先选用对靶标病虫高效、对天敌和环境生物相对安全的杀虫剂、杀菌剂，最大限度地保护农田生态系统中的有益生物。除化学手段外，也可选择如利用杀虫灯^[50]、性诱剂^[51]、色板^[52]等诱杀害虫以及释放害虫天敌如赤眼蜂^[53]等物理手段或生物手段，可有效减少化学农药投入、降低环境残留风险。

四、标准涉及的相关知识产权说明；

无。

五、采用国际标准的程度与水平的简要说明，与现行有关法律法规和强制性标准的关系；

经查，目前我国已有涉及农田建设、土壤检测、肥料、农药、灌溉水质等方面的基础性国家标准和行业标准，例如 GB 5084《农田灌溉水质标准》、NY/T 525《有机肥料》、NY/T 889《土壤盐分

测定》等。DB22/T 5030-2020 《吉林西部苏打盐碱地改良技术规程》（吉林省）、

DB65/T 4323-2020 《新疆盐碱地改良评价技术规程》（新疆维吾尔自治区）、DB15/T 2097-2020 《内蒙古河套灌区盐碱化耕地改良技术规程》（内蒙古自治区）、DB13/T 5220-2020 《滨海盐碱地暗管改碱技术规程》（河北省）、DB32/T 3662-2019《沿海盐土区障碍消减与地力提升技术规程》、DB32/T 4181-2022《沿海新垦盐碱地（水稻）绿色种植技术规程》、

DB32/T 2855-2015《沿海滩涂盐土稻麦两熟丰产高效栽培技术规程》、DB32/T 1827-2011《海涂水稻安全生产技术规程》、DB32/T 2154-2012《滩涂围垦区农田生态系统构建技术规程》等，这些标准为本标准的制定提供了重要的基础支撑。

传统的盐碱地栽培技术标准多围绕播种、施肥、灌溉等常规农艺措施进行规定。本标准创新之处是将纳米技术（纳米物质浸种）作为核心技术写入盐碱地改良的团体标准。标准详细规定了从纳米材料选择到浸种后效果评估的全套操作流程和技术参数。这不仅是技术上的重大突破，更是标准理念上的创新，它表明农业标准正从集成传统经验向吸纳和规范前沿科技转变，极大地提升了标准的科技含量和前瞻性。此外，许多盐碱地治理标准的核心目标是“降盐”，主要围绕“灌排洗盐”等措施展开。本标准创新性提出了“沃土增效”这一更高级、更综合的理念。其创新性体现在，标准中的各项技术不再是孤立的，而是围绕“提升土壤健康和生产力”

这一核心协同作用。例如，创新的施肥管理策略（控氮、增碳）不仅是为作物提供养分，更是主动培肥地力、改善土壤理化性状的关键一环。这种将“改良土壤”与“提升作物抗性”、“高效生产”紧密耦合的系统性思维，使本标准超越了单纯的“盐碱地治理”范畴，上升到了“盐碱地健康生态系统构建”的高度。综上，本标准并非对现有标准的重复，而是在遵循和引用上述基础标准的前提下，针对“低中度盐碱化耕地”这一特定场景，提出一套完整的、创新的、集成化的技术解决方案，填补了该领域的标准空白。

六、重大意见分歧的处理经过和依据；

无。

七、其他应予说明的事项。

无。

参考文献

- [1]马丽娜.东北苏打盐碱地种稻改良条件下土壤微生物响应特征研究[D].中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所),2020.DOI:10.27536/d.cnki.gccdy.2020.000009.
- [2]冯云格,柏超,王士超.“三北”地区盐碱地治理技术研究进展[J].现代农业科技,2020,(10):154-158.
- [3]张小栋,刘绍雄,孙宇,等.滨海盐碱地不同改良年限土壤理化性质的变化特征[J].水土保持研究, 2022, 29(1):6.
- [4]李磊,马勇宽,蒋鹏,等.“六位一体”模式对宁夏盐碱地土壤水盐动态、质量等级及青贮玉米产能的影响[J].草业学报,2026,35(03):68-82.

- [5]于功霞,李迎,刘宏元,等.我国盐碱地改良与利用技术研究进展[J].黑龙江农业科学,2025,(07):96-103.
- [6]王华,田雨雨,荆锐,等.暗管排水协同施加生物炭对黄河三角洲滨海盐碱地土壤及向日葵生长的影响[J].灌溉排水学报,2025,44(09):59-67. DOI:10.13522/j.cnki.ggps.2025026.
- [7]李健,郭颖杰,王景立.东北苏打盐碱地改良技术的研究[J].农业与技术,2019,39(01):21-24. DOI:10.19754/j.nyyjs.20190115008.
- [8]张志美,袁梦,李桑,等.不同改良剂对东营盐碱地改良效果研究[J].腐植酸,2021,(06):15-21. DOI:10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2021.06.003.
- [9]董合忠,迟宝杰,代建龙,等.黄河三角洲盐碱地作物生态高效生产策略与技术[J].山东农业科学,2023,55(03):38-41. DOI:10.14083/j.issn.1001-4942.2023.03.006.
- [10]马惠茹.河套灌区草牧业发展与盐碱地生态治理现状调查[J].家畜生态学报,2020,41(02):60-63.
- [11]王浩,吴桃,青格勒,等.黄河盐碱地池塘南美白对虾混养综合效益分析[J].水产养殖,2026,47(03):58-60.
- [12]邵孝侯,刘才良,俞双恩,等.暗管排水对滨海新垦区土壤盐分动态的影响及脱盐效果[J].河海大学学报,1995,(02):88-93.
- [13]白春礼.科技创新引领黄河三角洲农业高质量发展[J].中国科学院院刊,2020,35(02):138-144. DOI:10.16418/j.issn.1000-3045.20200201001.
- [14]刘小京,郭凯,封晓辉,等.农业高效利用盐碱地资源探讨[J].中国生

态农业学报(中英文),2023,31(03):345-353.

[15]包海岩,张勤,尤宏争,等.鱼虾菜生态循环养殖技术在北方盐碱地池塘的应用[J].中国水产,2012.DOI:CNKI:SUN:SICA.0.2012-10-036.

[16]赵鹏,黄占斌,任忠秀,等.中国主要退化土壤的改良剂研究与应用进展[J].排灌机械工程学报,2022,40(06):618-625.

[17]王建红,丁能飞,傅庆林,等.浙北砂性海涂土壤盐分运动定位观测研究[J].浙江农业学报,2001,(05):60-63.

[18]杨帆,章光新,尹雄锐,等.松嫩平原西部土壤盐碱化空间变异与微地形关系研究[J].地理科学,2009,29(06):869-873.DOI:10.13249/j.cnki.sgs.2009.06.016.

[19]于淑会,刘金铜,李志祥,等.暗管排水排盐改良盐碱地机理与农田生态系统响应研究进展[J].中国生态农业学报,2012,20(12):1664-1672.

[20]黄霖锋,陈利荣,张承焱,等.滴灌与间作对盐碱地水盐运移及高粱产量的影响[J].应用生态学报,2026,37(01):125-135.DOI:10.13287/j.1001-9332.202601.013.

[21]程奇云,任荣,马娟娟,等.微喷灌条件下基于光合指标的紫花苜蓿根系评价模型[J/OL].节水灌溉,1-17[2026-04-22].<https://link.cnki.net/urlid/42.1420.TV.20260417.0950.032>.

[22]冶福海,刘洪光,汤骅,等.明沟和暗管排水控盐效果及暗管失效后返盐规律研究[J].干旱地区农业研究,2025,43(05):212-223.

[23]衡通,王振华,张金珠,等.新疆农田排水技术治理盐碱地的发展概况[J].中国农业科技导报,2019,21(03):161-169.DOI:10.13304/j.nykjdb.2

018.0158.

[24]耿其明,闫慧慧,杨金泽,等.明沟与暗管排水工程对盐碱地开发的土壤改良效果评价[J].土壤通报,2019,50(03):617-624.DOI:10.19336/j.cnki.trtb.2019.03.16.

[25]金梦野,黄娟,侯嫔,等.三种环境材料及其复合施用对盐碱化土壤的改良效果研究[J].农业环境科学学报,2020,39(01):118-124.

[26]王婧,逢焕成,任天志,等.地膜覆盖与秸秆深埋对河套灌区盐渍土水盐运动的影响[J].农业工程学报,2012,28(15):52-59.

[27]王向向,张婷玉,范恩越,等.芽孢杆菌对盐碱地土壤 pH 值和电导率及水稻生长性状的影响[J/OL].浙江大学学报(农业与生命科学版),1-10[2026-04-22].<https://link.cnki.net/urlid/33.1247.S.20260420.0955.002>.

[28]杨婷,姜永晴,周璐璐,等.Fe-耐盐功能菌群联用对盐碱地的改良效果[J].环境工程学报,2025,19(05):1153-1165.

[29]李明生,鄢玉林,谢守勇,等.振动深松技术及装备研究现状分析[J].拖拉机与农用运输车,2024,51(03):1-10+14.

[30]朱延凯,王振华,李文昊.不同盐胁迫对滴灌棉花生理生长及产量的影响[J].水土保持学报,2018,32(02):298-305.DOI:10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.02.044.

[31]董睿潇,王永庆,王鑫博,等.盐胁迫对食用型向日葵现蕾期叶片光合性能与冠层结构的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2024,32(01):141-152.DOI:10.12357/cjea.20230227.

[32]马荣,王成,马庆,等.向日葵芽苗期离子对复合盐胁迫的响应[J].中

国生态农业学报,2017,25(05):720-729.DOI:10.13930/j.cnki.cjea.16087

1.

[33]Wang-Nian WANG, Jun-Zhu GE, Hai-Chang YANG, et al. Adaptation of feed crops to saline-alkali soil stress and effect of improving saline-alkali soil [J]. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48 (6): 1451-1462. 2022-09-19. 2026-04-23. <https://www.sciengine.com/doi/10.3724/SP.J.1006.2022.14051>.

[34]杨春武,李长有,尹红娟,等.小冰麦(*Triticum aestivum*-*Agropyron* in *termedium*)对盐胁迫和碱胁迫的生理响应[J].作物学报,2007,(08):1255-1261.

[35]彭云玲,李伟丽,王坤泽,等.NaCl 胁迫对玉米耐盐系与盐敏感系萌发和幼苗生长的影响[J].草业学报,2012,21(04):62-71.

[36]董睿潇,王永庆,王鑫博,等.盐胁迫对食用型向日葵现蕾期叶片光合性能与冠层结构的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2024,32(01):141-152.DOI:10.12357/cjea.20230227.

[37]凌一波,冯云格,王斌杰,等.密度与行距配置对向日葵冠层结构及光合特性的影响[J].作物杂志,2022,(03):155-160.DOI:10.16035/j.issn.1001-7283.2022.03.022.

[38]唐海江,郭富城,杨九菊,等.种植水稻对盐碱地土壤改良效果的研究进展[J].应用生态学报,2026,37(02):591-600.DOI:10.13287/j.1001-9332.202602.017.

[39]吕宁,汪峰,刘瑜,等.我国沿海滩涂资源: 时空演变、利用效益与发

展对策[J].植物营养与肥料学报,2025,31(07):1440-1454.

[40]王守德,周永俭,王学仁,等.盐碱地种稻技术开 展的研究[J].东北农 学院学报,1987,(02):106-112.DOI:10.19720/j.cnki.issn.1005-9369.1987.02.003.

[41]李宪,李亚光.不同矿化度咸水冬季结冰灌溉对滨海盐碱土的改良 效果[J].中国水土保持科学,2015,13(03):64-68.DOI:10.16843/j.sswc.2015.03.013.

[42]马云瑞,苗济文,张益民.宁夏低矿化度回归水灌溉对土壤盐碱化的 影响[J].农业环境保护,1998,(06):2-5.

[43]刘云鹏,王彬,张邦彦,等.干湿交替灌溉对引黄灌区盐碱地水稻光 合特性与产量的影响[J].农业工程学报,2025,41(17):111-121.

[44]董世德,万书勤,康跃虎,等.低洼重度盐碱地滴灌垄作模式土壤水 盐运移规律研究[J].北京林业大学学报,2018,40(08):82-89.DOI:10.13332/j.1000-1522.20170272.

[45]马骥,王勋陵,赵松龄.骆驼蓬属叶中氨基酸组成与抗逆性的关系[J]. 中国沙漠,1997,(01):46-50.

[46]吴孔明.“预防为主,综合防治”植保工作方针 50 周年专刊寄语 [J].植物保护,2025,51(05):1.

[47]Udom B E , Omovbude S .Soil physical properties and carbon/ nitrogen relationships in stable aggregates under legume and grass f allow[J].Acta Ecologica Sinica, 2018:S1872203217302081-.DOI:10.1016/j.chnaes.2018.05.008.

- [48]刘洪光,李智杰,李玲,等.粉垄深松深耕改善南疆重度盐碱土理化性质和棉花产量及其后效[J].农业工程学报,2024,40(13):45-57.
- [49]刘鸿,张富来,田慧娟,等.不同玉米品种萌发期及苗期的耐盐性研究[J].种子,2023,42(03):56-62+69.DOI:10.16590/j.cnki.1001-4705.2023.03.056.
- [50]王小华,王留朋,朱利群,等.杀虫灯对长江中下游稻麦轮作区水稻害虫的诱杀效果[J].江苏农业科学,2010,(04):117-119.DOI:10.15889/j.isn.1002-1302.2010.04.044.
- [51]姚士桐,郑永利,张勇勇,等.几种斜纹夜蛾性诱剂田间诱杀作用的初步研究[J].植物保护,2007,(04):127-129.
- [52]陈学亮,渠汇,啜泽润,等.不同颜色粘虫板对向日葵田花蓟马的诱集效果[J].植物保护,2025,51(01):211-217.DOI:10.16688/j.zwbh.2024029.
- [53]姜典,禹旺斌,侯洋旻,等.白雪灯蛾卵繁育玉米螟赤眼蜂对玉米螟的防治潜能[J/OL].中国生物防治学报,1-10[2026-04-24].<https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2025.09.017>.