

Germplasm Innovation and Breeding Practices of Salt- and Alkali-Tolerant Crops

Dingxun Su¹ Qing Su²

1. Luoyang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Luoyang, Henan, 471000, China

2. Northwest A&F University, Xianyang, Shaanxi, 712000, China

Abstract

This paper focuses on the innovation and breeding practice of salt-alkali tolerant crop germplasm. The research aims to promote the development of salt-alkali tolerant crops and enhance the utilization efficiency of saline-alkali land to ensure food security. Methodologically, it first provides an overview of the characteristics of salt-alkali tolerant crops and then elaborates on practical points, including the precise exploration and systematic identification of germplasm resources, and the construction of a multidimensional evaluation system; innovative use of germplasm resources through genetic improvement technologies such as marker-assisted selection and gene editing; strengthening interdisciplinary integration involving genetics, physiology, and other fields to establish a collaborative innovation mechanism; and building a full-chain support system covering basic research, technology development, variety breeding, demonstration and promotion, and policy support. This study provides theoretical and technical support for the breeding of salt-alkali tolerant crops and contributes to the efficient utilization of saline-alkali land.

Keywords

salt-alkali tolerant crops; germplasm; breeding

耐盐碱作物种质创新与育种实践

苏顶勋¹ 苏晴²

1. 洛阳市农林科学院, 中国·河南 洛阳 471000

2. 西北农林科技大学, 中国·陕西 咸阳 712000

摘要

本文聚焦耐盐碱作物种质创新与育种实践。研究目的在于推动耐盐碱作物发展, 提升盐碱地利用效率以保障粮食安全。方法上, 先对耐盐碱作物特点进行概述, 进而阐述实践要点, 包括精准挖掘并系统鉴定种质资源, 构建多维度评价体系; 创新种质资源利用方式, 运用分子标记辅助选择、基因编辑等遗传改良技术; 强化遗传学、生理学等多学科交叉融合, 建立协同创新机制; 构建涵盖基础研究、技术开发、品种培育、示范推广及政策保障的全链条支撑体系。该研究为耐盐碱作物育种提供了理论与技术支撑, 有助于实现盐碱地高效利用。

关键词

耐盐碱作物; 种质; 育种

1 引言

盐碱地属于关键的土地资源范畴, 其开发以及利用对于保障粮食安全而言有着重大意义, 耐盐碱作物可在盐碱环境里生长, 这是开发盐碱地的关键所在, 不过目前耐盐碱作物种质资源挖掘的深度欠缺, 遗传改良技术需要创新, 多学科协同不够紧密, 全链条支撑体系也还不够完善, 深入进行耐盐碱作物种质创新以及育种实践研究, 精准挖掘优质种质, 创新利用与改良技术, 强化协同机制, 构建全链条体系, 成为当下急需解决的关键课题。

2 耐盐碱作物特点概述

耐盐碱作物指的是那些可在土壤含盐量比较高或者 pH 值呈现偏碱性这种逆境环境当中正常生长并且维持一定产量的植物, 这类作物一般都有一系列特殊的生理以及形态方面的适应机制, 以此来应对高盐、高碱所带来的渗透胁迫、离子毒害以及营养失衡等诸多问题, 它的主要特点包含以下几个方面: 其一, 有较强的离子选择性吸收以及区隔化能力, 可有效地限制钠离子等有害离子进入到细胞质当中, 把它们隔离在液泡里面, 保护细胞的代谢活动, 其二, 拥有发达的根系结构, 这可在盐碱土中更高效地吸收水分以及养分, 其三, 在体内积累相容性溶质, 比如脯氨酸、甜菜碱、可溶性糖等, 用来调节细胞渗透压, 维持水分平衡, 其四, 部分耐

【作者简介】苏顶勋 (1974-), 中国河南唐河人, 本科, 工程师, 从事生物育种、园林绿化研究。

盐碱作物的叶片有盐腺或者泌盐结构，可以主动地将多余的盐分排出到体外。另外这些作物大多时候表现出较高的抗氧化酶活性，可清除因为盐碱胁迫而产生的活性氧，减轻氧化损伤，常见的耐盐碱作物有碱蓬、甜菜、高粱、大麦、某些水稻品种以及苜蓿等，随着全球耕地盐碱化问题变得日益严峻，培育和推广耐盐碱作物可拓展农业可利用的土地资源，还可提升边际土地的生产力，对于保障粮食安全以及实现可持续农业发展有着关键的意义^[1]。

3 耐盐碱作物种质创新与育种实践要点

3.1 精准挖掘与系统鉴定耐盐碱种质资源

耐盐碱作物种质资源的挖掘是种质创新以及育种实践的基础所在，其精准程度与系统程度会直接对后续育种工作的效果产生影响，我国盐碱地分布范围较为广泛，包含滨海盐碱区、黄淮海平原盐碱区、西北内陆盐碱区等多种不同类型，各个区域盐碱地的盐分构成、浓度梯度以及土壤结构存在明显差异，这就需要种质资源挖掘有地域针对性以及生态适应性^[2]。举例来说，滨海盐碱地主要以氯化物盐为主，土壤pH值较高并且盐分表聚现象较为突出，而西北内陆盐碱地则是以硫酸盐为主，土壤板结情况严重且地下水矿化度较高，挖掘工作要结合不同盐碱区的生态特征，制定出差异化的采集策略，着重收集生长在极端盐碱环境中的野生近缘种、地方品种以及传统农家种，这些材料一般蕴含着独特的耐盐碱基因资源。

系统鉴定作为挖掘工作的拓展，需要构建有多维度以及多层次特点的评价体系，传统的鉴定方法主要依靠田间耐盐性评价，借助观察作物在盐碱地上的出苗率、存活率、生长态势以及产量表现等各项指标来开展筛选工作，然而此种方法存在周期较长、容易受到环境因素干扰的问题，并且很难揭示耐盐碱的分子机制。现代鉴定技术融合了生理生化指标检测、分子标记辅助选择以及基因编辑验证等多种手段，比如凭借测定作物在盐胁迫状况下的脯氨酸含量、抗氧化酶活性、离子吸收与转运能力等生理指标，可快速评估其耐盐性的强弱程度，利用分子标记技术定位与耐盐基因紧密连锁的标记，可实现耐盐性状的早期预测以及精准选择，结合CRISPR/Cas9等基因编辑工具，可验证候选基因的功能，为耐盐碱基因的挖掘与利用提供相应的理论依据^[3]。种质资源的保存与共享机制同样是系统鉴定的关键部分，建立耐盐碱作物种质资源库，采用低温保存、离体保存以及田间保存相结合的方式，可保证种质资源实现长期安全存储，构建全国统一的耐盐碱种质资源信息平台，达成资源信息的数字化管理与共享，可避免重复采集以及资源浪费的情况发生，促进科研机构与企业之间的协同创新。借助精准挖掘与系统鉴定，可以为耐盐碱作物育种提供丰富的基因资源，为后续的种质创新奠定坚实的基础。

3.2 创新种质资源利用与遗传改良技术

种质资源的利用效率直接决定育种实践的突破程度。传统育种方法主要依赖杂交育种与选择育种，通过人工杂交将不同亲本的优良性状组合在一起，再通过多代选择固定目标性状^[4]。现代生物技术则为种质资源利用提供了新途径，其中分子标记辅助选择(MAS)与基因编辑技术(GE)的应用尤为广泛。

分子标记辅助选择借助检测和目标性状紧密相连的分子标记，可在早期世代挑选出带有耐盐碱基因的个体，有效缩短育种周期，就像针对作物耐盐性相关的SOS1、NHX1等基因，研发出特异性分子标记，可在杂交后代里迅速筛选出耐盐性提高的植株，防止传统表型筛选的盲目性。全基因组选择技术的出现，让选择的精准性得到提高，此技术运用全基因组范围内的分子标记信息，构建预测模型，可同时多个性状展开选择，特别适合耐盐碱等复杂性状的改良。

基因编辑技术给耐盐碱作物育种给予了有革命性的进展，借助CRISPR/Cas9系统可精准地对作物里抑制耐盐性的基因进行敲除或者编辑，也可导入外源耐盐基因，快速创造出耐盐碱的新种质，比如编辑作物中的HKT1基因，它是调控钠离子转运的关键基因，编辑后可减少叶片中的钠离子积累，提高作物的耐盐性，导入拟南芥的AVP1基因，该基因编码液泡膜质子泵，导入后可以提升作物对盐胁迫的适应能力。基因编辑技术的运用突破了传统育种的物种界限，达成了耐盐碱性状的定向改良，为培育高产、优质且耐盐碱的作物新品种给予了技术支持，合成生物学技术的兴起为耐盐碱作物育种开拓了新方向，凭借设计并构建人工生物系统可重新构建作物的耐盐碱代谢途径，赋予其全新的耐盐机制。例如把蓝藻中的盐腺结构引入作物中，让作物拥有主动排盐的能力，或者构建耐盐相关基因的调控网络，以此实现耐盐性状的智能调控，合成生物学的应用会推动耐盐碱作物育种从“改良”朝着“设计”转变，为应对盐碱地挑战提供全新的解决办法。

3.3 强化多学科交叉融合与协同创新机制

耐盐碱作物种质创新与育种实践是一项复杂的系统工程，涉及遗传学、生理学、分子生物学、土壤学、气象学等多个学科领域^[5]。单一学科的研究往往难以全面揭示耐盐碱的机制，也难以解决实际育种中的复杂问题。因此，强化多学科交叉融合与协同创新机制，是推动耐盐碱作物育种突破的关键。

多学科交叉融合可推动知识的流动以及技术的整合，比如说遗传学跟分子生物学相互结合，就可揭示耐盐碱基因的分子机制以及调控网络，生理学和土壤学相结合，可阐明作物在盐碱环境里的适应策略以及土壤改良所产生的协同效应，气象学与生态学结合，可评估盐碱地作物生产的生态风险以及可持续性。借助学科交叉，可以构建起“基因—

分子—细胞—个体—群体—生态系统”这样一个全链条研究体系，为耐盐碱作物育种给予理论方面的支撑以及技术上的保障。

协同创新机制可整合科研机构、高校、企业等多方面资源，形成创新合力，科研机构以及高校在基础研究和技术开发领域有优势，可承担耐盐碱基因挖掘、分子机制解析以及新技术研发等相关任务，企业在种质资源利用、品种推广以及产业化应用方面有优势，可以推动科研成果实现转化并落地。借助建立产学研用深度融合的创新平台，可达成资源共享、优势互补以及风险共担，比如国家耐盐碱水稻技术创新中心凭借整合全国优势科研力量，开展耐盐碱水稻种质资源挖掘、基因编辑育种以及配套栽培技术研究，已经培育出多个耐盐碱水稻新品种，并且在盐碱地进行推广种植，收获了十分突出的社会效益。国际合作与交流同样是协同创新的关键途径，盐碱地问题有全球性，各个国家在耐盐碱作物育种方面积累了丰富的经验与技术，凭借参与国际合作项目、举办学术会议以及建立联合实验室等方式，可引进国外先进技术与管理经验，提升我国耐盐碱作物育种的国际竞争力，例如我国与巴基斯坦、埃及等国家开展耐盐碱作物合作研究，共同应对盐碱地挑战，为全球粮食安全贡献力量。

3.4 构建耐盐碱作物育种全链条支撑体系

耐盐碱作物种质创新与育种实践需构建全链条支撑体系，涵盖基础研究、技术开发、品种培育、示范推广及政策保障等各个环节。全链条支撑体系的构建，可确保育种工作的系统性、连续性与可持续性，推动耐盐碱作物育种从实验室走向田间地头。

基础研究作为全链条的起始点，应当着重关注耐盐碱机制的剖析以及基因资源的挖掘，借助开展耐盐碱相关基因的功能研究、代谢途径调控以及表观遗传修饰等基础性工作，可揭示作物适应盐碱环境的分子机制，为育种工作提供理论方面的依据，强化耐盐碱种质资源的收集、保存以及评价工作，搭建起全国统一的种质资源信息平台，可为育种工作提供丰富多样的基因资源。技术开发属于全链条的关键部分，需要突破耐盐碱育种的核心技术，重点推进分子标记辅助选择、基因编辑、全基因组选择以及合成生物学等现代生物技术的发展，以此提升育种的精准程度与效率，加强耐盐

碱栽培技术、土壤改良技术以及水肥管理技术的研发，形成一套配套的技术体系，为耐盐碱作物生产提供技术上的支持。品种培育是全链条的核心目标，要培育出适应不同盐碱区域的高产、优质且有多种抗性的新品种，依据盐碱地的类型和程度，制定差异化的育种策略，重点培育耐盐性强、产量稳定且品质优良的作物品种，比如针对轻度盐碱地，培育出兼顾耐盐性与高产性的品种，针对重度盐碱地，培育出耐盐性很强并且可正常生长的品种。凭借品种培育，可逐步扩大盐碱地作物的种植面积，提高盐碱地的利用效率，示范推广是全链条的关键环节，需要建立耐盐碱作物示范基地以及推广网络，凭借在盐碱地建立示范基地，展示耐盐碱作物的生长表现以及产量优势，可提高农民的种植信心和积极性，构建“科研机构—推广部门—新型经营主体”的推广网络，依靠技术培训、现场指导以及信息服务等途径，将耐盐碱作物品种以及配套技术迅速推广到生产一线，实现科技成果的转化与落地。

4 结语

耐盐碱作物种质创新与育种实践是一项长期且艰巨的任务。通过精准挖掘与鉴定种质资源、创新利用与改良技术、强化多学科交叉融合以及构建全链条支撑体系，我们已在耐盐碱作物育种领域取得一定进展。未来，仍需持续探索，不断优化育种策略，推动耐盐碱作物育种技术升级，让更多耐盐碱作物在盐碱地上扎根生长，为保障国家粮食安全和生态可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1] 张雪岩,岳亚凯,李亚涵,等. 耐盐碱内生贝莱斯芽孢杆菌BRS在盐碱胁迫下对玉米幼苗生理特性的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2025, 37 (05): 81-89.
- [2] 张温轩. 盐碱地综合治理及产业化助力乡村振兴的现状与路径研究: 以黄骅盐碱地为例[J]. 山西农经, 2025, (19): 97-101.
- [3] 刘庆,迟晓元,陈娜,等. 花生耐盐碱能力综合评价及种质筛选[J]. 花生学报, 2025, 54 (04): 412-420+439.
- [4] 刘天金,邹安然,易听雨,等. 耐盐碱菌草内生细菌的筛选及其对玉米的促生作用[J]. 广东农业科学, 2025, 52 (06): 87-98.
- [5] 吴盼盼,李剑峰,朱增银,等. 滨州市耐盐碱作物种质资源综合利用现状及发展对策研究[J]. 中国种业, 2024, (01): 48-51.