

主要耐盐园林树木

主 编 张凌云 崔宏伟
参 编 邹金环 张爱萍 王玉珍
谢小丁 张凌燕 王智华

图书在版编目 (CIP) 数据

主要耐盐园林树木 / 张凌云, 崔宏伟主编. — 合肥: 合肥工业大学出版社, 2024.1
ISBN 978-7-5650-6468-5

I. ①主… II. ①张… ②崔… III. ①园林树木—耐盐性—教材 IV. ①Q948.113

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 189674 号

主要耐盐园林树木

主编 张凌云 崔宏伟

责任编辑	张 慧
出版发行	合肥工业大学出版社
地 址	合肥市屯溪路 193 号
网 址	www.hfutpress.com.cn
电 话	人文社科图书出版中心: 0551-62903205 营销与储运管理中心: 0551-62903198
规 格	787 毫米 × 1092 毫米 1/16
印 张	12
字 数	299 千字
版 次	2024 年 1 月第 1 版
印 次	2024 年 1 月第 1 次印刷
印 刷	三河市海新印务有限公司
书 号	978-7-5650-6468-5
定 价	49.80 元

如果有影响阅读的印装质量问题, 请与出版社营销与储运管理中心联系调换。

前言

FOREWORD

园林绿化具有美化环境、改善生态的作用，园林的发展和建设对于现代的生活和未来的发展方向有着越来越重要的作用。园林树木是构成园林风景的主要素材，也是发挥园林绿化效益的主要植物群体。园林树木在园林绿化中是骨干材料，有人比喻乔木是园林风景中的“骨架”、灌木是园林风景中的“肌肉”、藤本是园林风景中的“筋络”。园林树木既是优良环境的创造者，又是园林美的构成者。

党的十八大报告将美丽中国建设和生态文明建设写入党章，随着美丽中国建设的推进，园林发展恰逢前所未有的机遇，城市生态、园林景观、城乡环境的绿化美化都是美丽中国建设的重要任务。但对于盐碱地区来说，园林发展存在很大障碍，土壤中过多的盐分使植树造林比较困难。根据我国第二次土壤普查，我国的盐碱地面积为 $3.5 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，相当于耕地面积的 33.3%，同时有 $6.7 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 的耕地受到了次生盐碱化的威胁。盐碱土壤 pH 值高，含盐量超标，有机质含量低，土壤结构性差，严重影响植物的正常生长。因此，盐碱地区绿化是一个艰巨且必须解决的问题。

选择适宜的园林树木是解决盐碱地区绿化问题的关键。多年来，编写者一直致力于耐盐园林树木的试验和研究。山东省东营市以东营职业学院农科专业教师为主要研究人员成立了东营市农业科学研究所，是研究耐盐植物较早的机构。他们在黄河三角洲地区滨海盐碱地上，对耐盐树木进行了多年探索研究，筛选出了刺槐、桑树、构树、臭椿、火炬树、苦楝等多种耐盐树木，选育出了耐重盐碱的乔化怪柳、松柏怪柳等多个新品种，为滨海盐碱地绿化树种筛选提供了基础材料并积累了一定经验。1998 年，东营市建立了国内首家盐生植物园，筛选引进的部分耐盐树木被用于盐碱地造林绿化和生态恢复建设。种植耐盐树木，抑制土壤水分蒸发，增加土壤根系数量及微生物活性，改善土壤理化性质，达到治理盐碱地的目的，展示了耐盐树木在滨海盐碱地生态恢复中的广阔前景。

本书采用章节格式，共七章，介绍了盐碱地、耐盐碱植物、园林树木基础知识、主要耐盐乔木、主要耐盐小乔木或灌木、主要耐盐藤本及耐盐树木种植技术。在编写过程中，注重科学性和实用性，每种树木从形态特征入手，依次介绍其形态特征、生长环境、园林用途及栽培技



术，并附有园林应用案例。

本书主要面向园林技术及相关专业学生、园林绿化工作者，主要为盐碱地区园林绿化提供一定的技术支撑和参考。

本书在编写过程中，得到了东营市农业科学研究院的帮助、指导以及同行的支持，参考并借鉴了许多研究者的观点、文献及专著，在此表示衷心的感谢与诚挚的敬意。

本书凝聚了编写者多年在耐盐植物方面的科研探索 and 不断创新的成果，但由于水平和能力有限，书中难免存在不足和疏漏，请广大读者多提宝贵意见，以便日后进一步修改和完善。

编 者

目录

CONTENTS

第一章 盐碱地概述·····	1
第一节 国外盐碱地基本情况·····	1
第二节 我国盐碱地基本情况·····	3
第三节 黄河三角洲滨海盐碱地基本情况·····	11
第四节 盐碱地的危害及改良措施·····	15
第二章 耐盐碱植物·····	27
第一节 耐盐植物研究概况·····	27
第二节 植物的耐盐性研究机制·····	30
第三节 植物耐盐类型分类·····	34
第四节 耐盐园林植物应用概述·····	36
第三章 园林树木基础知识·····	43
第一节 园林树木概述·····	43
第二节 园林树木分类·····	45
第三节 园林树木的作用·····	63
第四章 主要耐盐乔木·····	67
第一节 耐轻度盐碱乔木·····	67
第二节 耐中度盐碱乔木·····	86
第三节 耐重度盐碱乔木·····	103
第五章 主要耐盐小乔木或灌木·····	116
第一节 耐轻度盐碱小乔木或灌木·····	116
第二节 耐中度盐碱小乔木或灌木·····	130
第三节 耐重度盐碱小乔木或灌木·····	141



第六章 主要耐盐藤本	146
第一节 耐轻度盐碱藤本	146
第二节 耐中度盐碱藤本	153
第七章 耐盐树木种植技术	158
第一节 常规育苗技术	159
第二节 现代育苗技术	169
第三节 苗木移栽	176
第四节 田间管理	178
参考文献	182



第二章 耐盐碱植物

耐盐碱植物 (saline-alkali tolerant plant), 简称耐盐植物, 是 1996 年经全国科学技术名词审定委员会审定发布的园林学名词, 是指具有较强的抗盐碱能力, 可以在盐渍环境中良好生长的植物。

在自然界中, 植物生长环境非常复杂, 应对的逆境因子变化无常。比如, 植物经常遭受干旱、洪涝、高温、盐碱及风沙等诸多因子的胁迫。在逆境条件下, 植物会表现出光合、呼吸、蒸腾、气孔、水分利用等特性, 及其对干旱、高温、高光等因子的响应。

第一节 耐盐植物研究概况

一、研究现状

(一) 国内外研究概况

我国的耐盐植物研究主要从 20 世纪末开始取得较多的研究成果, 基本奠定了耐盐植物的研究基础和方向。2005 年后, 随着植物分子生物学的快速发展, 对植物耐盐性的研究已深入耐盐相关基因的克隆、基因结构与功能的分析及其表达特性的研究。2021 年 10 月, 习近平总书记在山东省东营市视察期间强调, 开展盐碱地综合利用对保障国家粮食安全、端牢中国饭碗具有重要战略意义, 并提出要转变育种观念, 由治理盐碱地适应作物向选育耐盐碱植物适应盐碱地转变, 挖掘盐碱地开发利用潜力, 这为耐盐植物研究提出了新的方向。

早期耐盐植物研究多侧重于作物、灌木和牧草等的耐盐品种筛选及鉴定方面。东营市农业科学研究所是研究耐盐植物比较早的机构, 成立了国内首家盐生植物园, 对 40 多种耐盐植物的耐盐能力进行了鉴定, 对耐盐植物的种植技术进行了研究: 番茄经过多年的自交、纯化与单株选育, 初步确立了 3 个高产番茄新品系; 进行了耐盐大麦新品系小区试验, 在含盐量 0.8% 的土壤上产量可达 3 750 kg/hm², 具有一定的推广价值。利用杂交选育和辐射育种技术初步培育出性状优良的碱蓬品系, 并先后引种了美国蓖麻和芦笋品系, 取得良好的效果。

在耐盐林木研究方面, 我国韩希忠等根据树木生长状况和年均生长量将黄河三角洲滨海

地带引种的 50 余种耐盐园林树种分为强耐盐、中度耐盐、轻度耐盐和不耐盐 4 个等级。苑增武等认为乔木树种 109 柳与灌木树种怪柳、枸杞耐盐碱能力最强,是盐碱地(土壤 pH 值 8.9 以下)改良绿化的主要造林树种,其他树种耐盐碱能力则相对较差。汪贵斌等以叶片中 Na^+ 浓度、 Na^+/K^+ 作为树木耐盐能力评价指标,认为刺槐和侧柏最强,能在含盐量 0.3%~0.5% 的土壤上生长;银杏次之,能在含盐量 0.3% 左右的土壤上生长;火炬松则只能在含盐量 0.3% 以下的土壤上生长。袁杰(2020)等选取 409 份水稻种质资源在新疆进行水培种植,对其进行耐盐性鉴定和水稻苗期耐盐性相关指标的测定。笔者在黄河三角洲地区以氯化物为主的盐渍土上,对耐盐树木进行了多年研究。沙枣在根层总含盐量为 0.8%~1.0% 时生长受到严重抑制,在含盐量为 0.6% 以下时能正常生长,在含盐量为 0.4% 以下时旺盛生长;苦楝能在含盐量 0.5% 以下的土壤中正常生长,在土壤含盐量为 0.7% 左右的土壤中能存活;白蜡在土壤含盐量为 0.4% 以下的滨海盐碱地上能正常生长;白刺可在土壤含盐量为 0.6% 左右的泥质氯化物盐碱地上生长。根据有关资料,在 0.2%~0.4% 的盐碱地上可直接栽植白蜡、刺槐、杜梨、金丝小枣等树种;在 0.4%~0.6% 的盐碱地上,经一个雨季淋洗可栽植紫穗槐、刺槐、抗虫白榆等树种。综上所述,适宜在我国盐碱地区造林的植物相当有限。

近年来,对耐盐植物的研究多侧重于部分特定植物的分子层面。2020 年,李君霞等系统地阐述了 MYB 转录因子的基本结构及其在拟南芥、烟草、水稻、大豆、番茄等植物耐盐基因工程中应用的研究进展,为 MYB 转录因子的利用及植物耐盐遗传改良及育种提供参考。2021 年,刘晓蕊综述了植物耐盐机制研究、耐盐相关基因克隆及其在基因工程中的应用等方面的最新研究进展;薛琼琼通过对近年来有关盐生植物分类、盐渍化对植物的影响和耐盐机制等方面的研究进行了梳理和分析,归纳总结了影响盐生植物耐盐性的各种因素,为更好地了解和开发利用盐生植物提供了理论依据。2022 年 7 月,王宁宁发表论文,揭示了将具有转录后调控功能的小肽 N7 融合到衰老负调节因子 SSPP (SENESCENCE-SUPPRESSED PROTEIN PHOSPHATASE) 的 N 末端,所构成的融合基因 N7-SSPP 能够在不影响植株正常生长发育的情况下,显著提高转基因大豆对高盐胁迫的抗性,为抗盐作物新品种培育提供了新的策略。

美国联邦农业部于 20 世纪 60 年代就成立了国家盐碱地实验室,建立了草本、蔬菜、粮食和果树等多种植物的相对耐盐性数据库。Moya J.L. 等利用盐敏感型柑橘和耐盐型柑橘的相互嫁接试验对其可传递耐盐性状进行鉴定,认为叶中氯化物含量较低、茎生长量少和木质部中导管较小是最重要的可传递耐盐性状。Corney H.J. 等指出叶绿素荧光参数可作为赤桉耐盐性的评价指标。美国 Curtis E.S. 博士收集并总结了西科罗拉多三河地区的各种温带观赏植物的耐盐性,包括乔木、灌木、藤本和草本植物等,对盐碱地引种、栽培和造林具有重要的指导意义。

综上,美国、加拿大、澳大利亚等发达国家,在耐盐碱树种选育和盐碱地治理上做了大量工作,通过区域化试验,已选出耐盐碱树种 200 多种,并对这些树种的耐盐碱等级进行了排序分类,制定了相应的造林技术标准,具有很强的系统性和实用性。我国在植物抗盐性、抗盐植物品种资源的发掘和利用等方面的研究较国外还相对较少。所引进的树种中在 0.3% 以上的重盐碱地上能够成片栽植并且生长较好,对淹涝和病虫害抗性较强,能产生经济效益和生态效益的则为数不多。针对我国滨海盐碱地区,南京大学生物技术研究所引种三角叶滨藜到江苏盐城沿海滩涂获得成功;上海林业站从国外引进了杂交柳和良种刺槐,在崇明岛建立引种试验区;南京林业大学的汤庚国教授通过农业部“948”项目资助,先后从美国东南部引种械

树、白蜡树等 10 多个品种, 培育苗木数 10 万株, 在盐城市、上海市等滨海盐碱地推广造林数百亩。总的来说, 国内研究工作较为破碎, 系统性不强且效果不够好, 严重制约了盐碱地改良、城乡绿化发展。

(二) 植物耐盐的分子生物学研究进展

最近十几年来, 植物耐盐的分子生物学和植物耐盐基因工程正在成为学术界的研究热点。分子生物学的技术进步已经使基因的定位、分离、转移成为现实。植物耐盐性受到复杂的多基因控制, 而且常常是整个生物系统的综合反应, 是一种典型的数量性状。研究作物数量性状遗传的重要方法——分子连锁图谱数量基因定位 (Quantitative trait locus, QTL) 已经开始应用于植物耐盐性遗传中。丁海媛等运用 RAPD 分析标记水稻耐盐突变系的耐盐主效基因, 认为水稻耐盐突变系的性状变异虽呈现数量性状遗传特征, 但不排除存在主效基因。龚继明等应用 MAPMAKER/QTL 1.1 和 PLABQTL 1.0 软件将水稻耐盐主效基因 Std 定位于第 1 染色体的 RQ 612 和 C 131 之间, 其加性效应来源于亲本籼稻窄叶青 8 号, 而定位的另外 7 个 QTL 位点的耐盐等位基因多数来源于亲本粳稻京系 17。张艳萍等 (2020) 研究表明, 盐碱土地环境, 破坏植物渗透平衡系统, 抑制养分吸收, 严重影响植物生长; 黎明辉等 (2021) 以 Koshi×Nona 为亲本, 在第 9 号、11 号染色体上获得了 2 个关于发芽率的耐盐基因 QTL; 张德等 (2021) 研究发现, 不同苹果砧木在 100 mmol/L NaCl 处理 40 天后, 叶片各组成部分均明显变薄, 而抗性较强的苹果砧木垂丝海棠“9-1-6”海绵组织厚度和叶肉组织结构疏松度 (SR) 均显著高于抗性弱的山定子; 郝兰兰 (2022) 从细胞膜透性、POD、SOD 等生理特性方面分析了果树对盐碱复合胁迫的响应机制, 多角度分析了果树抗盐碱的分子机理; 王继莲 (2021) 从根际微生态角度探索植物耐盐胁迫的生理与分子机制, 提出通过调节微生物生物量及区系, 建立有利于植物自身生长的根际微生物群落, 以适应或忍耐盐胁迫。

分子生物学的技术进步, 将促进与盐胁迫有关的遗传和生理过程的研究。目前, 已经有学者尝试通过农杆菌介导法转移与水稻耐盐有关的基因, 期望将来可以把耐盐基因直接注入盐敏感品种中来提高耐盐性。Apse 等应用基因工程方法, 将一种拟南芥植物拥有和表达了使离子向液泡运输的基因, 从而创造了一种能吸收更多 Na^+ 并储存在液泡内的植物。国内外学者用分子生物学的方法培育耐盐植物品种虽然取得了一定进展, 但遗憾的是至今成功的例子太少, 此领域研究方兴未艾。

二、研究展望

总结国内外诸多学者所做工作可以发现: 通过对比我国与西方国家的盐碱地植物选育, 以及应用耐盐性植物治理盐碱地的水平可知, 西方国家由于发展历史更长, 投入的资金和人力更多, 所以其技术处于领先水平。因此, 在治理我国的滨海盐碱地时, 需要积极学习西方发达国家的先进技术, 不断引进国外耐盐性能优良的植物, 并引进与植物相匹配的栽培技术。需要注意的是, 在引进西方先进技术和植物时, 要充分考虑本地土壤的特性, 尽量保证引进植物能够存活并发挥出良好的效果。由于滨海盐碱地植物耐盐性研究是一个系统工程, 只有系统研究植物的耐盐性, 建立耐盐植物数据库, 针对性地根据盐碱地类型选择适宜的耐盐植物, 才能实现盐碱地的改良。

耐盐林木种质是一种丰富的基因资源,它对生态环境的作用比其他作物、草本无法取代的。耐盐林木对于当地生态的作用十分强大,为了提高盐碱地的生态水平,需要结合当地的情况适当引进具有良好耐盐性的树木。因此,有必要更系统地研究其他盐生植物和非盐生植物等,特别是林木中造林绿化树种的耐盐性及生理生态特性,尤其在植物耐盐机制和内在规律方面应有更大的突破。要通过比较林木现有的、自然界本身创造的树种之间耐盐能力的差异,分析树木耐盐性的原理和作用机制,并对大面积的树木进行系统的评价,准确得出对应树种的耐盐水平及阈值,在此基础上广泛筛选和深入挖掘具有优良耐盐种质的树木,进一步进行深入的研究,在考察当地具体土壤特征的基础上合理应用各种耐盐性植物,使之更好地服务于林业生产和工程,为滨海耐盐碱树种的全面选择提供有力的理论依据。

分子生物学和基因工程的发展将促进与盐胁迫有关的遗传和生理过程的研究,筛选、鉴定和利用优良抗盐基因,从而使植物耐盐性改良向人工控制的方向发展。要积极运用当前最先进的科学技术,如分子生物学、基因工程等,研究植物盐胁迫有关的遗传和生理过程,从众多树种之中选取具有良好耐盐基因的树种,促进滨海地区盐碱地生态系统的多样性。以上这些方面仍会是今后植物耐盐性研究的重要课题,成为国内外植物耐盐性研究的热点。

要通过扩繁技术,建立区域试验林和示范林,构建耐盐碱树种(品种)及其滨海盐碱地治理技术体系,推广耐盐碱树种及其栽培技术,建设多树种、多林种、多层次、高效益的综合沿海防护林体系,对于沿海地区生态系统的恢复,提高该地区生态防御能力,减少灾害损失都将起到积极的促进作用。不仅如此,还要更充分利用海岸盐土这一重要的土地后备资源,进而提高我国滨海盐碱地区生产力,尤其对东部沿海地区的土地资源开发和利用具有重要意义。同时要辐射到其他地区,尤其是为广大内陆盐碱地的治理和内陆抗盐树种的研究与选育提供理论依据和技术支持。

第二节 植物的耐盐性研究机制

对于植物耐盐机制,主要是研究在盐逆境条件下植物生长发育受到的影响。这也是有效地选育耐盐植物的重要指标和目的。要通过应用多种先进的技术手段对逆境胁迫下植物气孔调节、代谢调节、渗透调节以及逆境信号传递等进行深入的研究,并从不同层面和角度阐明耐盐植物适应逆境的机制或策略。总的来说,盐胁迫环境确实抑制了植物地上部分及地下部分的生长,降低了侧根的长度和数量,并且导致叶面积扩展速率降低、茎秆变细及地上部分和地下部分重量减轻。适宜盐逆境可为植株提供营养物质,在小范围内增强生长发育状态,但是盐分过高会造成大量的 Na^+ 摄入,进而造成叶子的过早成熟或衰老,从而使得植物的生长发育严重受阻,甚至不能正常发育。

植物的耐盐机制非常复杂,与植物的小分子渗透物质合成和积累、离子摄入和区域化、大分子蛋白的合成和基因的表达有关。植物在盐胁迫下处于休眠或者细胞进行主动调节以忍受盐渍环境,其忍耐机制包括使渗透胁迫或离子不平衡降到最低或减轻由胁迫造成的次生效应。植物耐盐的途径也因植物的不同而分为泌盐、稀盐、拒盐、隔盐、避盐、忍盐、离子拮抗、螯合作用等不同方式。国内外研究普遍认为,耐盐性是多基因控制的植物学特性,目前公认

的盐害主要造成的不利方面有：①盐害破坏了植物体离子均衡；②产生渗透胁迫；③次生盐害主要为氧胁迫。

一、植物耐盐性评价研究进展

植物耐盐能力是通过形态和生理上的改变对盐渍化环境适应的总体表现，要想引进耐盐新品种，培育耐盐新品种，必须建立在对植物耐盐能力进行评价的基础上。首先在自然的盐渍化区域进行调查，可初步筛选出对盐渍化环境适应性强的植物。但是调查法不能对植物的耐盐能力指标进行量化，而且植物在盐渍化环境中形态和生理生化都有比较复杂的变化，所以要客观准确地评价其耐盐能力，必须选取恰当的、能够数量化的指标，对其耐盐性能进行量化评定，这是耐盐植物筛选工作中十分重要的环节。植物耐盐性评价需要有一个系统的指标体系，这个体系一般包括筛选时期、植物材料培育方法、评价指标确定及采用的综合分析方法等方面。

由于品种其耐盐能力有所不同，因此筛选、鉴定植株耐盐能力可以有效地评价作物种质资源，植株的耐盐能力的鉴定可以有效地选育出耐盐种或可以投入实际应用中的新品种（杨淑萍等，2013）。而目前选育耐盐种的手段是通过当前种质资源中的耐盐能力来进行下一步的评定选育。通过有效评价这些植物的抗盐性，可以深入地研究其抗盐机制，进一步提高植物耐盐能力并且对其充分开发利用。支晓蓉等（2018）将我国常见的343种绿化植物按耐盐级别进行了分类，其中特耐盐植物80种、强耐盐植物103种、中度耐盐植物93种、轻度耐盐植物55种；王晓燕（2021）研究了白榆、刺槐、银杏在无盐碱胁迫和NaCl、NaHCO₃盐碱溶液4个浓度梯度下的生长变化情况和耐盐碱能力；张德顺等（2021）对21种常见园林树种不同盐分浓度胁迫下的指标变化、耐盐机理及耐盐能力进行探讨。USSL曾在耐盐性评价方面居世界前列，其通过建立NaCl响应模型，对65类植物、25类蔬菜和果树、27类含纤维和禾谷等植物进行抗盐的筛选及评定，并以此构建了涵盖诸多植被的耐盐资源库（Tanji, 1990）。根据植物的耐盐程度，可以划分出4个耐盐等级，从低到高分别为敏感（S）、中度敏感（MS）、中度耐性（MT）、强耐性（T）。比如，苹果的萌发期和苗期是对盐胁迫最敏感的时期，在苹果的萌发期和苗期对棉株进行鉴定具有一定的实际意义（王庆惠等，2018；Liu et al., 2010）。前人对能够鉴定苹果品种抗盐性的指标实施了筛选及验证，发现鲜重、植株含水率、叶片净光合速率、叶绿素含量、最大光化学效率等指标，可以快速鉴定棉株耐盐性（戴海芳等，2014；彭振等，2014）。

需要指出的是，耐盐植物研究和筛选多数情况都是在控制变量下的单一或某几个个体研究，由于植物间相互作用关系很难在实验室条件下模拟和重复，同时田间试验则变量太多存在难以控制的局限性，因此研究环境与植物的自然实际生长条件有较大差距。同时，虽然当前耐盐指标研究较深入，但尚未形成系统的评价体系，特别是针对不同地区不同气候土壤条件下的耐盐性指标评价体系，如黄河三角洲滨海盐碱地和西北荒盐碱地的成因不同，适宜植物种也不同，故而评价体系也应不同，这也为植物耐盐性评价研究提出了新的课题和研究方向。

二、盐胁迫对植物光合作用、生长的影响研究

光合作用是植物在可见光照射下,经过光反应和暗反应,利用光色素将 CO_2 和 H_2O 转化成有机物,并释放出 O_2 的生化过程。植物光合作用是一系列复杂代谢反应的总和,主要分为光反应与暗反应两个阶段。光反应主要在叶绿体中的膜体构造——类囊体中进行,最终产物为高能量的化合物 ATP、NADPH、 O_2 ;暗反应在叶绿体基质中合成糖类。光合作用是植物赖以生存的生理基础,也是植物对外界环境因子最敏感的生理过程之一(云建英等,2006)。植物光合生理对逆境的适应能力在一定程度上反映出其在逆境中的生存和竞争能力。生长在干旱、高温以及风沙流等条件下的植物,为了更好地适应生境,在光合速率、光合调节机制以及光合途径等方面,可以做出特殊的改变。

光合作用能够稳定作物产量并且实现高产,且其强弱程度会受植物类型和环境差异的影响。植物在盐胁迫环境下其光合作用显著降低,并且伴随着 NaCl 浓度和胁迫时长的增加,受到的抑制作用也会更明显(Zhu et al., 2017; Ma et al., 2017)。盐逆境下通常会造成叶绿体结构的破坏,从而造成植株体内叶绿素含量的下降,而叶绿体作为植株光合作用反应的场所,其含量能够体现植株光合强度的大小(姜超强等,2010)。在 NaCl 胁迫下,植株的发育速率会降低,并且发育速率随着地下部分渗透压的变低而降低。关于植物生长的耐盐机制已有诸多研究,植物生长发育受盐分的影响归结为以下 3 个方面:①盐胁迫环境下,其低水势的结果造成了植物叶片水势的下降,从而导致了气孔导度的降低,这也是生理生化过程中植物受盐分影响如此之大的根本原因;② Na^+ 毒害作用会使得光合系统功能下降,造成能量供应的下降,并且进一步影响了植株的成长;③盐离子毒害造成某些环境下特殊酶或者新陈代谢遭到破坏(Munns, 1993)。

张川红等认为,盐胁迫下单叶净光合速率和单株总叶面积的下降是杨树(中林 46 杨)生长量下降的主要原因,而影响核桃和绒毛白蜡生长的主要原因是单株总叶面积的下降,单叶净光合速率和单株总叶面积都不是引起国槐生长下降的主要原因。Ruiz Dionisio 等研究了不同盐浓度和不同盐胁迫时间下 4 种柑橘的相对生长(RGR)、净同化速率(NARw)、叶重率(LWR)及养分的吸收和利用。刘会超等认为,盐胁迫下光合作用的下降与膜的伤害、糖的反馈性抑制及细胞内离子平衡关系的破坏有关,与气孔导度和胞间 CO_2 浓度无关。

三、盐胁迫对植物渗透调节的影响研究

渗透调节(Osmotic adjustment)是指细胞通过增加或减小溶质以降低或提高渗透势的调节作用。部分耐盐植物,可以在干旱、高温、盐渍等多种逆境造成的水分胁迫下,通过主动积累各种有机溶质和无机溶质来提高细胞液浓度,降低细胞渗透势,提高细胞吸水或保水能力,从而适应水分胁迫环境的过程,即渗透调节。植物的渗透调节是植物抗旱至关重要的过程之一,渗透调节可降低植物的水势,在干旱胁迫下植物吸收水分,减轻缺水对植株造成的伤害。渗透调节物质有很多,常见的有脯氨酸、脱落酸(ABA)、甜菜碱等。另外,吸收无机离子也可维持渗透胁迫下根的膨压,尤其是 K^+ 对调节干旱和盐胁迫下的细胞膨压都很重要。积盐型盐生植物可将大量 Na^+ 区域化于其发达的液泡中,调节植株的渗透势;多浆旱生植物也可通过吸化和积累大量的 Na^+ 适应干旱环境,可显著降低荒漠多浆植物的渗透势,提高其光合能力,

从而缓解盐胁迫对植株的伤害。

植物在遭受水分亏缺时组织内积累的渗透调节物，一是通过调控离子吸收、转运等途径，从外界环境进入细胞内部无机离子，如 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 等；二是细胞内合成并积累的大量小分子有机质溶质，如可溶性糖、脯氨酸、甜菜碱等。这些渗透调节物拥有许多独特性质，如分子量小且易溶解，在生理 pH 值范围内的有机调节物不带静电荷，能被细胞膜保持住，对酶结构变化的作用极小，酶结构出现变化时能维持酶构象稳定而不被溶解，生成快速且能积累到足以引起渗透调节的量。

盐胁迫环境下首先对植物造成的危害表现为渗透胁迫，然后进一步造成离子稳态失衡，引发离子毒害和营养元素的匮乏，最终产生氧化反应并且使其膜透性发生转变、代谢失衡以及聚集有害的物质，从而造成植株的生长发育及形态受到影响（Zhang and Shi et al., 2013；Kronzucker et al., 2011）。盐逆境中由于植株聚集了大量 Na^+ ，从而造成了活性氧的形成与消除的平衡稳态出现问题，进一步使过氧化反应及脱脂作用的产生，膜结构遭到毁坏。刘佳等（2017）发现，山桃栅栏组织发达、海绵组织紧密，在碱胁迫处理下其叶片上表皮和角质层变厚，能更好地适应碱胁迫。赵滢等（2021）研究发现，盐胁迫使沙枣、葡萄愈伤组织和叶片的细胞膜透性增加，膜透性和膜质过氧化MDA含量有关。付晴晴等（2018）研究发现，葡萄应对较高浓度盐碱胁迫时，抗氧化酶系统中的POD表现极显著。

YANG Y Q（2018）研究认为，植物通过调控复杂的信号网络来应对盐碱胁迫。SOS（Salt Overly Sensitive）信号途径是已被发现的植物耐盐性的重要信号通路，盐过度敏感的SOS信号通路将钠离子挤压到质外体中，在维持离子稳态中发挥着关键作用。盐碱胁迫会破坏植株的光合系统，减弱PSII对光合电子传递速率和光能的吸收利用，导致光合作用减弱、叶片衰老，引起各种代谢途径的失调。

现有结果已经发现提高耐盐性的方式有以下两个：一是提高植株抗氧化酶的活性；二是提高植株抗氧化代谢水平。这些抗氧化酶包含了SOD、POD和CAT等酶。SOD酶能够清除植株体内超氧自由基（ $O_2^{\cdot-}$ ），其在膜保护系统中居于主要位置。酶活性增强加速了 $O_2^{\cdot-}$ 的清除，能够使细胞自由基内的积累下降。盐胁迫环境下抗氧化酶的活性明显高于正常水平，其通过共同作用来降低盐逆境造成的氧化伤害。通过MDA含量的高低，能够表现出过氧化作用的强弱，从而说明植株遭到的破坏程度的大小（Liu et al., 2013）。活性氧数量的增加还会破坏具有膜结构细胞器的结构，譬如线粒体DNA的突变现象，细胞衰老的现象，内质网部分向外扩张、线粒体数量急剧降低并且体积膨胀、液泡膜发生破碎等多种状况（张金林等，2015）。

陈少良等认为，渗透调节能力高是胡杨耐盐性强的重要生理基础之一。肖雯等对枸杞、沙枣、玫瑰等几种盐生植物进行了相关抗盐生理指标的测定，认为膜透性、MDA含量以及渗透调节物质的种类和含量对植物抗盐性具有比较明确的指示意义。有研究认为，高盐浓度下卡里佐枳橙中有害影响主要来自细胞内的 Cl^- 毒害而非盐诱导的氧化胁迫。

在盐渍条件下，植物通过渗透调节来减轻或避免伤害。植物以在细胞液泡中积累无机离子或合成有机溶质等方式进行渗透调节。其中，可溶性糖、脯氨酸、无机离子等物质是植物体内重要的渗透调节剂。

科学家对脯氨酸的研究最多，它的增加和积累有助于细胞和组织的保水，同时还可作为一种碳水化合物的来源、酶和细胞结构的保护剂。但在脯氨酸的合成和积累的生物化学基础、

调控机制和作用以及脯氨酸能否作为植物抗逆性指标等问题上,科学家意见不一,其与耐盐性的关系还有待于进一步研究。

四、耐盐基因及耐盐突变体选育研究

植物耐盐基因的分离和克隆已经取得了巨大进展,成为实验室的常规性操作,有的已经转入高等植物中。基因表达谱分析是近十几年来鉴定植物耐盐相关基因最流行的方法之一,这一方法主要是比较胁迫和未胁迫条件下基因的表达,再通过差异显示等分子技术克隆那些在胁迫中增强表达的基因。目前,耐盐基因工程的研究主要集中在逆境条件下才能表达的某些基因以及在抗逆代谢过程中某些酶的研究。王鸣刚等以离体培养筛选出的耐盐小麦变异系及其后代为材料,对其耐盐稳定性进行了有关生理生化特性的分析。王淑芳等采用PCR方法从 *E.coli* TG 1 菌株中扩增得到胆碱脱氢酶基因 (*betA*),并将其整合到番茄基因组中,已经证实该转基因番茄的耐盐性高于对照番茄。

张绮纹等以杨树无性系的嫩茎为外植体进行耐盐培养,已获得耐盐的杨树再生植株。中天杨田间抗逆性试验正在进行,并成功培育出世界上第一个可用于大田生产的转基因抗盐碱杨树,它可在土壤含盐量为 0.4%~0.6% 的滨海盐碱地、8‰~12‰ 的内陆盐碱地、pH 值为 8~9 的碱土地区及 -35℃ 地区良好生长,这为盐碱地的开发治理找到了一条可操作的新途径。目前在橡胶树中也获得了由根瘤农杆菌转化的遗传转化和转基因再生植株,并利用 PCR 和 Southern 杂交已经证实 Hevea 基因组中确实存在 *uidA*、*nptII* 和 *HbSOD* 基因。陆胜波 (2020) 研究发现,在核桃幼苗根系样品转录组发现钙信号通路,类黄酮、脂肪酸以及其他次级代谢物的生物合成等代谢通路均可响应盐胁迫,证实了通过提升转录因子的调节能力是增强果树耐盐性的有效途径之一。

虽然利用分子生物学研究植物耐盐机制已经取得了一定进展,但目前的转基因研究基本上是转入单个基因,对改善植物的耐盐性仍不是很显著。耐盐基因是如何相互作用来影响植物耐盐性的,目前还不太清楚。

第三节 植物耐盐类型分类

根据 Breckle (1995) 的划分方法,有两种分类方法。一是根据植物抗盐能力的大小,将植物分为三大类。

真盐生植物:在 200~500 mmol/L NaCl 条件下能继续生长并完成生活史。代表植物为碱蓬属植物、滨藜属植物等。如碱蓬、海蓬子等生长的盐度范围为 1.5%~2%;海带属藻类的生长范围为 5%~9%;一些抗盐的真菌甚至可以在 20%~30% NaCl 的培养基中生长。

类盐生植物和非盐生植物:在 200 mmol/L NaCl 以上条件下生长缓慢的植物。类盐生植物的代表为一些单子叶植物,一般不能肉质化。甜菜、高粱等抗盐能力较强;棉花、向日葵、水稻、小麦等抗盐能力较弱;荞麦、燕麦、亚麻、大麻、豆类等抗盐能力最弱。

盐敏感植物:代表植物如一些果树等。同一植物在不同生育期,对盐分的敏感性也不同,幼苗时很敏感,长大后能逐渐忍受,开花期忍受力又下降。植物对土壤中含盐量的缓慢升高

比迅速升高较易忍受。

二是根据植物在盐胁迫下反应的不同机制,按照植物避盐的方式主要分为4种:稀盐植物、泌盐植物、聚盐植物和拒盐植物。目前,大多数研究学者比较认可该分类方式。

一、稀盐植物

稀盐植物在盐生植物环境中通过薄壁细胞大量增加,吸收和存储大量水分,使叶片或茎部不断肉质化。当植物吸收过多的盐离子时,由于其本身发达的薄壁组织含有充足的水分,使进入植物体的盐分被稀释,将植物体内的盐浓度始终保持在较低的水平。稀盐植物还可将大部分盐分储存在液泡内,以降低细胞质内盐离子的水平,使植物免受盐渍伤害。其主要有三种方式:一是非盐生植物通过不断地进行营养性生长,使有机物质、胁变数量和植物体积增加的速度远远超过离子的摄入速度,最后植物体虽吸入一定量的盐离子,但其浓度却有一定程度的降低,使植物免受盐离子的毒害;二是肉质化、盐胁迫下,植物叶片或茎部的薄壁细胞组织大量增生,增加薄壁细胞组织,使细胞质膨胀,增大细胞壁伸展度等,细胞数目增多,体积增大,在生长过程中不断形成新的有机物质并大量吸收水分,通过吸收和储存大量的水分,以补充水分不足和稀释盐分,使植物体内的盐浓度保持在较低的水平,以减少盐离子的危害,盐越多,肉质化越增加;三是离子区域化,一些植物将吸收的盐分集中于细胞内的某一区域,如液泡等,从而降低细胞质内离子浓度,避免毒害作用。

稀盐是部分植物表现出叶片和茎肉质化的特征,在盐渍环境下薄壁细胞大量增加,从土壤及土壤溶液中大量吸收和储存水分,当过多的盐离子进入植物体时,可在体内被稀释,从而将植株中的盐分维持在较低的浓度,使植物免受盐分的毒害。

二、泌盐植物

泌盐植物是通过植株地上部分的表皮细胞在发育过程中分化的泌盐结构——盐腺或盐囊泡将体内过多的 Na^+ 排出体外,以适应盐渍生境。盐胁迫下,盐腺泌盐可直接调节其体内的离子稳态平衡,保护光合器官免受 Na^+ 的伤害,同时还要维持细胞的渗透势。

泌盐植物分为两类,一类是向内泌盐盐生植物,该类植物具有盐囊泡,可将吸收的过多盐分泌到盐囊泡中,暂时储存起来,如冰叶日中花等;另一类是向外泌盐盐生植物,该类植物具有盐腺,可通过盐腺将盐分排出体外,如二色补血草、柽柳等,在二色补血草、野生大豆、红树植物、灯芯草和柽柳中都发现了盐腺。阎秀峰等在星星草叶表面下陷的气孔上发现了盐的结晶,并且观察到初始排盐的气孔。

盐腺和盐囊泡广泛分布在泌盐植物的叶表面和茎部中,在调节离子平衡、维持渗透压的稳定性及增强耐盐性方面都起着重要的作用。在功能上看,盐囊泡和盐腺有较大的差别。盐囊泡是将植物体内的盐分储存在泡状细胞的大液泡中,积累到一定数量后,泡状细胞就会破裂,从而把盐分排出。它实质上是一类特殊的盐腺,表现在它并非将盐分直接排出体外,而是暂时积存在一个泡状细胞中,到一定程度后,泡状细胞破裂然后再释放盐分。它通常是由一个柄(1~4个柄细胞)和一个直径为80~100 μm 增大的泡状细胞组成(周黄等,2001)。

三、聚盐植物

聚盐植物是指借细胞中特化的原生质,把那些根系吸收的盐分排入盐泡,同时,它们还能抑制盐分从液泡里扩散,即不让盐分再回到原生质里去,所以称为聚盐植物。这类植物多表现为营养器官肉质化,如碱蓬、海蓬子等。

聚盐植物分为两类:第一类为叶肉质化真盐生植物,该类植物将盐离子积累在叶片肉质化组织及绿色组织的液泡中,如盐地碱蓬、猪毛菜等;第二类为茎肉质化真盐生植物,其吸收的盐离子积累在绿色组织的液泡及肉质化中柱里,如盐节木、海蓬子等。

聚盐植物普遍表现出对 Na^+ 的偏好,可以大量将土壤中的盐分吸收并储存在植物体内。 Na^+ 积累在细胞质中会对细胞造成伤害,因此,聚盐植物一般具有比较发达的液泡,在液泡膜 Na^+/H^+ 逆向转运蛋白(NHX)的作用下能够将 Na^+ 储存在其中,并利用 Na^+ 提高其渗透调节能力。典型的聚盐植物有海滨碱蓬、盐地碱蓬、滨藜、盐角草等。

当聚盐植物的叶子缩小甚至消失,茎常变为绿色,蒸腾面积强烈缩小;气孔下陷,角质层加厚;茎叶肉质化,贮水组织特别发达;体内能形成储存盐分的小“盐泡”;原生质对盐类的耐性特别强,不致受高浓度的伤害。它们细胞液的浓度特别高,并有极高的渗透压,故能吸收高浓度土壤溶液中的水分。

四、拒盐植物

拒盐植物,可通过避免环境中的盐离子进入细胞,或将进入体内的盐离子储存于根茎结合部等安全部位,来避免盐离子的毒害作用,如大米草、芦苇等。

拒盐植物的拒 Na^+ 机制主要包括以下途径:增强根细胞质膜 K^+/Na^+ 选择性,限制 Na^+ 单向内流;增加 Na^+ 的外排及限制 Na^+ 运输到植株地上部。有些拒盐植物依靠结构上的特殊性来适应盐渍环境,如细胞膜对盐分的不通透性,拒盐植物与其他植物的细胞膜脂肪酸成分有所不同,植物细胞膜脂上的单半乳糖甘油二脂(MGDG)以及双半乳糖甘油二脂(DGDG)的含量与质膜对离子的透性有关,其含量降低,可以抑制盐分进入植物体内。另外,在根内皮层细胞壁与细胞间隙沉积的木栓质形成的凯氏带,作为一个物理屏障,也能阻断部分 Na^+ 通过皮层进入中柱,防止过多的 Na^+ 到达植株地上部而造成盐害。

部分拒盐植物的细胞膜对盐分透性很小,犹如一道天然的屏障,把盐分拒之体外,这样根系在吸收水分时,可以不吸收或少吸收盐分,所以不会受到盐害,如长冰草、海蒿等植物就有这种奇妙的本领。

第四节 耐盐园林植物应用概述

全世界共有盐生植物种类大约为1 560种(Aronson, 1989),主要集中在10个科中,我国的盐生植物有500余种,约占世界盐生植物数量的1/3。

一、盐生植物种类及主要分布情况

据最新的调查数据，分布在我国各地的盐生植物共 555 种（包括 9 个亚种、23 个变种），隶属于 71 科、228 属，其中种类最多的为藜科、禾本科、菊科和豆科，这 4 科的盐生植物种数约占我国盐生植物种数的 56.4 %。在上述 555 种盐生植物中，无裸子植物、蕨类植物仅有 3 种，双子叶植物对中国盐生植物区系的组成具有决定性作用（表 2-1）。中国各省份盐生植物分布见表 2-2 所列。

表 2-1 中国盐生植物种类

种类	科数	占总科数比例 / %	属数	占总属数比例 / %	种数	占总种数比例 / %
原类植物	2	2.82	2	0.88	3	0.54
被子植物	69	97.18	226	99.12	552(含 9 个亚种、23 个变种)	99.46
单子叶植物	14	19.72	49	21.49	135(含 4 个亚种、6 个变种)	24.32
双子叶植物	55	77.46	177	77.63	417(含 5 个亚种、17 个变种)	75.14

注：该表格在张学杰（2001）基础上补充完善。

表 2-2 中国各省份盐生植物分布

省份	盐生植物种类	较大的科	常见盐生植物
黑龙江	约 17 科 43 属 72 种，全为被子植物，其中单子叶植物 4 科 13 属 17 种，双子叶植物 13 科 30 属 55 种	藜科 21 种，禾本科 12 种，菊科 8 种，豆科 8 种，蓼科 5 种，毛茛科 3 种，伞形科 3 种，莎草科 3 种，蔷薇科 3 种	褐鞘蓼、滨藜、中亚滨藜、红叶藜、长叶碱毛茛、苜蓿等
吉林	约 17 科 41 属 55 种，全部为被子植物，其中单子叶植物 5 科 12 属 17 种，双子叶植物 12 科 29 属 38 种	藜科 12 种，禾本科 10 种，菊科 8 种，豆科 7 种，莎草科 3 种	普通蓼、西伯利亚蓼、滨藜、角果碱蓬、盐地碱蓬、碱地肤、碱毛茛、甘草、蜀葵、红砂、黄花补血草、马蔺、枸杞、草地凤毛菊等
辽宁	约 28 科 65 属 93 种，蕨类 1 科 1 属 1 种，其余均为被子植物，其中单子叶植物 6 科 17 属 29 种，双子叶植物 21 科 47 属 63 种	藜科 16 种，禾本科 13 种，菊科 11 种，豆科 10 种，眼子菜科 8 种，白花丹科 4 种	东亚滨藜、碱地肤、辽宁碱蓬、角果碱蓬、盐地碱蓬、碱毛茛、野大豆、海边香豌豆、蜀葵、红砂、怪柳、沙枣、珊瑚菜、二色补血草、黄花补血草、枸杞、疗齿草、凤毛菊、大叶藻、角果藻、水麦冬、朝鲜碱茅等
内蒙古	约 27 科 75 属 144 种，全为被子植物，其中单子叶植物 6 科 14 属 30 种，双子叶植物 21 科 61 属 114 种	藜科 30 种，菊科 25 种，禾本科 24 种，豆科 15 种，怪柳科 12 种，蒺藜科 5 种，蓼科 4 种，十字花科 4 种	胡杨、盐生酸模、长刺酸模、盐角草、碱地肤、猪毛菜、碱毛茛、心叶独行菜、伏毛山莓草、盐芥、甘草、盐生黄耆、粗茎驼蹄瓣、多枝怪柳、沙枣、砂引草、黄花补血草等

续表

省份	盐生植物种类	较大的科	常见盐生植物
宁夏	约 24 科 61 属 91 种，全部为种子植物，其中单子叶植物 5 科 9 属 12 种，双子叶植物 19 科 52 属 79 种	藜科 20 种，菊科 15 种，豆科 8 种，禾本科 7 种	宁夏枸杞、麻黄、甘草、罗布麻、芦苇、黄花补血草、二色补血草、刺沙蓬、盐地碱蓬、马蔺、沙枣、白刺等
甘肃	约 56 科 187 属 294 种，蕨类植物仅 1 科 1 属 1 种，其余均为种子植物，其中单子叶植物 5 科 31 属 44 种，双子叶植物 50 科 155 属 249 种	菊科 41 种，禾本科 32 种，豆科 31 种，藜科 31 种，蒺藜科 15 种，柽柳科 12 种	胡杨、西伯利亚蓼、盐角草、中亚滨藜、梭梭、盐地碱蓬、蜀葵等
新疆	约 38 科 124 属 305 种 15 变种 7 亚种，全部为被子植物，其中单子叶植物 8 科 15 属 48 种，双子叶植物 30 科 109 属 257 种	藜科 87 种 4 变种 2 亚种，菊科 51 种 2 变种，禾本科 25 种 3 亚种，豆科 2 种 3 变种	柽柳、白刺、盐穗木、盐节木、芦苇、碱蓬、猪毛菜、琵琶柴、盐爪爪、黑果枸杞、花花柴、骆驼刺
陕西	约 22 科 53 属 75 种，全部为被子植物，其中单子叶植物 5 科 12 属 16 种，双子叶植物 17 科 41 属 59 种	藜科 17 种，豆科 12 种，菊科 10 种，禾本科 10 种，茄科 3 种	盐角草、尖叶盐爪爪、滨藜、碱地肤、盐地碱蓬、碱毛茛、细叶百脉根、白刺、蜀葵、甘蒙柽柳、沙枣、锁阳、二色补血草、黄花补血草、罗布麻、砂引草等
河南	约 15 科 28 属 30 种，全为被子植物，其中单子叶植物 4 科 7 属 7 种，双子叶植物 11 科 21 属 23 种	豆科 6 种，藜科 5 种，菊科 3 种，禾本科 3 种	毛果蝇虫实、盐地碱蓬、盐芥、野大豆、蜀葵、柽柳、沙枣、二色补血草、罗布麻、戟叶鹅绒藤、枸杞、角果藻、狗牙根等
山东	约 39 科 92 属 143 种，蕨类植物 1 科 1 属 1 种，其余为被子植物，其中单子叶植物 5 科 26 属 38 种，双子叶植物 33 科 65 属 104 种	禾本科 25 种，藜科 19 种，菊科 18 种，蝶形花科 10 种	全缘贯众、西伯利亚蓼、盐角草、滨藜、软毛虫实、盐地碱蓬、无翅猪毛菜刺沙蓬、拟漆姑、碱毛茛、盐芥、野大豆、田菁、甘草、柽柳、蜀葵、沙枣等
山西	约 18 科 47 属 68 种，全部为被子植物，其中单子叶植物 4 科 11 属 19 种，双子叶植物 14 科 36 属 49 种	禾本科 14 种，菊科 13 种，豆科 9 种，毛茛科 3 种	盐角草、滨藜、碱蓬、碱地肤、长叶碱毛茛、甘蒙柽柳、野大豆、甘草、蜀葵、沙枣、罗布麻、宁夏枸杞、疗齿草、小车前、草地风毛菊、水麦冬、芨芨草、碱茅等
河北	25 科 62 属 91 种，均为被子植物，其中双子叶植物 20 科 47 属 66 种，单子叶植物 5 科 15 属 25 种	藜科 17 种，禾本科 14 种，菊科 8 种，莎草科 5 种，蓼科 3 种，蒺藜科 3 种	普通蓼、西伯利亚蓼、长刺酸模、盐角草、滨藜、软毛虫实、碱地肤、碱蓬、光果宽叶独行菜、野大豆、海边香豌豆、田菁、甘草、蜀葵等

续表

省份	盐生植物种类	较大的科	常见盐生植物
天津	约 22 科 42 种，全为被子植物，其中单子叶植物 3 科 11 种，双子叶植物 19 科 31 种	禾本科 9 种，藜科 8 种，豆科 3 种，菊科 3 种	白刺、枸杞、盐角草、盐地碱蓬、碱蓬、地肤、碱地肤、怪柳、二色补血草、互花米草、大米草、沙枣、白蜡等
青海	约 24 科 59 属 106 种，均为被子植物，其中单子叶植物 8 科 11 属 27 种，双子叶植物 16 科 48 属 79 种	藜科 38 种，怪柳科 15 种，禾本科 9 种，菊科 7 种，豆科 7 种，茄科 4 种	西伯利亚蓼、枸杞、盐地怪柳、芦苇、沙枣、盐地肤、赖草、海乳草等
江苏	约 27 科 49 属 61 种，蕨类植物 1 科 1 属 1 种，其余为被子植物，其中单子叶植物 6 科 15 属 24 种，双子叶植物 20 科 33 属 36 种	禾本科 13 种，藜科 10 种，莎草科 7 种，豆科 5 种，菊科 4 种	全缘贯众、西伯利亚蓼、盐角草、盐地碱蓬、刺沙蓬、拟漆姑、盐芥、刺果甘草、小果白刺、蜀葵、怪柳、珊瑚菜、二色补血草、罗布麻、肾叶打碗花等
安徽	约 10 科 18 属 19 种，全部为被子植物，其中单子叶植物 3 科 9 属 10 种，双子叶植物 7 科 9 属 9 种	禾本科 8 种，豆科 3 种	拟漆姑、野大豆、百花草木樨、怪柳、蜀葵、砂引草、大穗结缕草等
四川	约 16 科 22 属 23 种，全为被子植物，其中单子叶植物 6 科 8 属 9 种，双子叶植物 10 科 14 属 14 种	豆科 4 种，禾本科 3 种，菊科 2 种，水麦冬科 2 种	西伯利亚蓼、小白藜、碱毛茛、野大豆、蜀葵、海乳草、二色补血草、野胡麻、苜蓿蒿、水麦冬等
湖北	约 7 科 11 属 11 种，全为被子植物，其中单子叶植物 3 科 5 属 5 种，双子叶植物 4 科 6 属 6 种	豆科 3 种，禾本科 3 种	野大豆、天蓝苜蓿、枸杞、蜀葵、野菊、角果藻、马蔺等
上海	约 7 科 11 属 11 种，全为被子植物，其中单子叶植物 2 科 4 属 4 种，双子叶植物 5 科 7 属 7 种	豆科 3 种，禾本科 3 种	小果白刺、蜀葵、沙苦卖菜、角果藻、芦苇、大米草、狗牙根等
西藏	约 18 科 34 属 48 种，均为被子植物，其中单子叶植物 5 科 8 属 20 种，双子叶植物 13 科 26 属 28 种	禾本科 15 种，豆科 5 种，菊科 5 种，藜科 4 种，毛茛科 3 种，十字花科 3 种	西伯利亚蓼、刺沙蓬、雾冰藜、碱毛茛、宽叶独行菜、小盐芥、伏毛山莓草、野大豆、百脉根、白刺、蜀葵、五柱红砂、大果沙枣、海乳草、枸杞、小车前、藏蓟、角果藻、水麦冬、高山碱茅、马蔺等
浙江	约 22 科 41 属 47 种，蕨类 1 科 1 属 1 种，其余均为被子植物，其中单子叶植物 5 科 15 属 20 种，双子叶植物 16 科 25 属 26 种	禾本科 10 种，莎草科 7 种，豆科 5 种，藜科 3 种，菊科 3 种	全缘贯众、盐地碱蓬、无翅猪毛菜、拟漆姑、海边香豌豆、田菁、小果白刺、蜀葵、珊瑚菜、海滨珍珠菜、补血草、砂引草、角果藻、大米草、狗牙根等

续表

省份	盐生植物种类	较大的科	常见盐生植物
湖南	约 7 科 11 属 11 种，全部为被子植物，其中单子叶植物 3 科 5 属 5 种，双子叶植物 4 科 6 属 6 种	豆科 3 种，禾本科 3 种	野大豆、蜀葵、马蔺等
江西	约 8 科 14 属 14 种，全部为被子植物，其中单子叶植物 2 科 6 属 6 种，双子叶植物 6 科 8 属 8 种	禾本科 5 种，豆科 3 种	百脉根、蜀葵、野菊、狗牙根等
贵州	约 7 科 12 属 13 种，全部为被子植物，其中单子叶植物 3 科 5 属 6 种，双子叶植物 4 科 7 属 7 种	豆科 4 种，禾本科 3 种，小麦冬科 2 种	蜀葵、野菊、小麦冬等
云南	约 14 科 22 属 23 种，蕨类植物 1 科 1 属 1 种，其余为被子植物，其中单子叶植物 3 科 6 属 6 种，双子叶植物 10 科 15 属 16 种	豆科 6 种，禾本科 4 种，旋花科 2 种	卤蕨、车桑子、西伯利亚蓼、树头菜、百脉根、榄仁树、虎掌藤、小心叶薯、海雀稗、海韭菜等
广西	约 28 科 38 属 39 种，全为被子植物，其中单子叶植物 7 科 10 属 10 种，双子叶植物 21 科 28 属 29 种	禾本科 4 种，豆科 4 种，红树科 3 种，萝藦科 2 种，爵床科 2 种，菊科 2 种	南方碱蓬、海马齿、树头菜、鱼藤、车桑子、蜀葵、银叶树、木榄、簕柃、蜡烛果、海忙过、老虎须、厚藤、苦郎树、露兜树、角果藻、细柄水竹叶等
广东	约 31 科 69 属 81 种，蕨类植物 2 科 2 属 2 种，其余全为被子植物，其中单子叶植物 8 科 17 属 19 种，双子叶植物 21 科 50 属 60 种	豆科 9 种，禾本科 8 种，旋花科 7 种，红树科 5 种，莎草科 4 种	卤蕨、全缘贯众、毕式海蓬子、南方碱蓬、假海齿、树头菜、田菁、九叶木蓝、海滨大戟、车桑子、蜀葵、银叶树、簕柃、海桑、木榄、珊瑚菜、海滨珍珠菜、补血草、老虎须、虎掌藤、细柄水竹叶、草海桐等
福建	约 29 科 51 属 58 种，蕨类植物 1 科 1 属 1 种，其余全为被子植物，其中单子叶植物 5 科 13 属 16 种，双子叶植物 23 科 37 属 41 种	禾本科 9 种，豆科 7 种，莎草科 4 种，藜科 3 种，马鞭草科 3 种，爵床科 3 种	全缘贯众、海马齿、南方碱蓬、毕式海蓬子、野大豆、田菁、小果白刺、海漆、车桑子、蜀葵、木榄、海边月见草、滨海前胡、补血草、假厚藤、老鼠簕、草海桐、沙苦卖菜、露兜树、角果藻等
海南	约 33 科 53 属 65 种，蕨类植物 1 科 1 属 2 种，其余全为被子植物，其中单子叶植物 10 科 21 属 26 种，双子叶植物 22 科 31 属 37 种	禾本科 6 种，红树科 5 种，莎草科 5 种，眼子菜科 4 种	滨海猫尾木、小花老鼠簕、卤蕨、尖叶卤蕨、海檀木、毕氏海蓬子、针叶苋、假海齿、百花草木樨、海滨异木患、蜀葵、海南海桑、玉蕊、柱果木榄、海菖蒲、狗牙根、细柄水竹叶等

续表

省份	盐生植物种类	较大的科	常见盐生植物
台湾	约 35 科 71 属 86 种，蕨类植物 1 科 1 属 1 种，其余全为被子植物，其中单子叶植物 7 科 21 属 28 种，双子叶植物 27 科 49 属 57 种	禾本科 13 种，旋花科 8 种，莎草科 6 种，豆科 6 种，红树科 5 种，菊科 4 种，锦葵科 3 种，马鞭草科 3 种，眼子菜科 3 种	全缘贯众、南方碱蓬、海马齿、莲叶桐、鱼藤、百花草木樨、田菁、红海兰、红茄冬、海人树、海滨大戟、海滨异木患、车桑子、红厚壳、蜀葵、银叶树、水芫花、角果木、榄仁树、滨海前胡、海滨珍珠菜、海杧果、小海桐、羽叶二药藻、角果藻等

数据来源：葛瑶，栾明鉴，张雪楠，等．中国盐生植物分布与盐碱地类型的关系[J]．齐鲁工业大学学报，2021，35（2）：14－20。

二、可用作绿化的耐盐植物概况

研究人员在已有的盐碱土绿化植物中，对已广泛应用的园林植物进行了调查，并把其分为常绿乔木类、常绿灌木类、落叶乔木类、落叶灌木类、藤本类、草本类和草坪及地被类 7 个类型。在耐盐园林植物中，落叶乔木类最多，共有 14 种；其次为落叶灌木类，有 10 种；其他 5 类植物有 3~5 种。从园林用途与绿化功能来看，其可作为行道树、绿篱、庭院绿化、桩景材料、盆栽、垂直绿化、地被植物及园林草坪等。

（一）耐盐能力评价指标

树种耐盐能力评价是盐碱地造林树种选择的基础，评价的指标因研究的目的不同而有所差异。树木的耐盐能力是指该树种在造林后 1 年内，幼树对土壤盐碱的适应性，是在盐碱地上树木忍受一定的盐渍化程度，并产生产量的能力。根据这个概念，确定以树木生长受到盐碱的抑制，但不显著降低树木的成活率和生长量的土壤含盐量作为该树种的耐盐能力。王英、邢尚军等认为盐碱地造林绿化的主要障碍是缺乏适宜的造林树种，主要原因是缺乏对树种耐盐能力的了解。因此，对盐碱地造林树种进行其耐盐能力测定和比较，为盐碱地造林树种选择提供了理论依据，是取得盐碱地造林成功和提高林木生长量的重要途径。翁森红等概述了植物耐盐性和抗盐性的研究现状，提出植物的耐盐能力是植物形态适应和生理适应的综合体现，是由植物的遗传特性决定的。只有通过寻找自然界现有的盐生植物直接利用，通过常规的育种技术选育和增强耐盐品种或应用抗盐碱的重组方法来培育新的抗盐物种。所以，对树木耐盐能力的评价应该从形态和生理等方面进行。

（二）可推荐的常见耐盐绿化树种（种质）

通过对耐盐植物研究梳理汇总，耐盐园林植物广泛应用于园林绿化中。但是，从耐盐程度来看，只有耐中度盐碱的耐盐绿化种质，没有一种植物属于特耐盐植物和强耐盐植物，没有中度耐盐的地被植物和藤本植物种类。

李清顺等分析盐碱地对树木的危害，阐述通过物理、水利和化学土壤改良的措施，在造林树种选择中以耐盐能力强、抗旱耐涝能力强、易繁殖、生长快、经济价值高为原则，选择了国



槐、刺槐等种乔木和灌木树种，并提出进行高标准长周期的后期养护。

综合多位学者研究的成果，在耐盐树种选择方面，邹燕敏、张建锋、龚洪柱等提出值得推荐的常见耐盐树种有以下几种。

（1）乔木类：雪松、油松、桧柏、侧柏、蜀桧、法桐、白蜡树、香椿、臭椿、中天杨、毛白杨、国槐、柿树、山楂、梨树、苹果树、皂荚、榆、垂柳、馒头柳、沙枣、枣树、桃树、樱桃、苦楝、刺槐、火炬树、泡桐、合欢、桑、文冠果等。

（2）灌木类：杞柳、单叶蔓荆、枸杞、白刺、马蔺、罗布麻、大叶黄杨、小叶黄杨、剑麻、紫穗槐等。

（3）花灌木类：红叶李、榆叶梅、珍珠梅、玫瑰、丁香、红瑞木、珠美海棠、西府海棠、木模、金银木、石榴、紫薇、紫荆、红叶小巢、蔷薇、月季、丰花月季、连翘等。

（4）藤本类：扶芳藤、凌霄、葡萄、地锦、金银花等。