

# 桦木科植物资源耐盐性研究进展

周琦<sup>1,2</sup>, 丁志彬<sup>1,2</sup>, 祝遵凌<sup>1,2,3</sup>

(1. 南京林业大学 南方现代林业协同创新中心, 江苏 南京 210037; 2. 南京林业大学 风景园林学院, 江苏 南京 210037; 3. 南京林业大学 艺术设计学院, 江苏 南京 210037)

**摘要:**为研究盐渍化土地利用和耐盐桦木科植物品种选择, 对桦木科植物资源的耐盐性研究进行综述, 阐述了盐胁迫对桦木科植物种子萌发、生长及生理生化指标的影响, 并分析了桦木科植物的耐盐机制及耐盐品种选育等方面的研究, 同时对桦木科植物资源的耐盐性研究方向进行了探讨, 以期对桦木科植物的良种选育提供参考。

**关键词:**桦木科植物; 盐胁迫; 生长; 生理生化; 耐盐机理

**中图分类号:**Q945.79;S718 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2016)09-0152-06 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.09.0152

土壤盐渍化严重制约农业生产和土地的利用率, 全世界近 23 亿  $\text{hm}^2$  灌溉土地有 1/3 受盐分胁迫, 我国各种盐渍土资源面积约  $3.47 \times 10^7 \text{ hm}^2$ <sup>[1]</sup>, 主要分布在东部滨海、东北松嫩平原和西北内陆的河西走廊、新疆、青海等地区<sup>[2]</sup>。目前, 我国境内大约有 80% 的盐渍土还没有得到充分开发与利用。盐胁迫会造成植物生长缓慢, 代谢活动受抑制, 严重时会导致植株萎蔫, 直至死亡。不同植物的耐盐机制存在差异, 了解植物耐盐机理、提高植物耐盐性和土地利用率具有深远意义。

桦木科(*Betulaceae*)植物有 6 个属, 约 130 个种, 广泛分布于北温带, 许多树种为重要的森林树种; 中国 6 属均有, 约 74 种, 虎榛子属植物为我国特有<sup>[3-5]</sup>, 其中不少为珍稀濒危植物或常见园林绿化树种, 如普陀鹅耳枥(*Carpinus putoensis*) 全世界仅存一株母株生于普陀山上, 处于极度濒危状态<sup>[6]</sup>; 盐桦(*Betula halophila*) 与天台鹅耳枥(*C. tientaiensis*) 为我国特有种, 也是重点保护濒危植物<sup>[7]</sup>。白桦(*B. platyphylla*)、欧洲鹅耳枥(*C. betulus*) 等植物因其枝干奇特、树形优美、枝叶扶疏, 在园林绿化中早有应用。桦木科中不少植物具有较强的耐盐性, 如产于新疆吉木乃地区的沼泽小叶桦(*B. microphylla*), 常生长在荒漠沼泽

及潮湿盐碱地附近, 耐盐碱、耐水湿, 适应环境恶劣的独特生境<sup>[8]</sup>。盐桦仅产于新疆阿勒泰地区, 抗盐能力很强, 耐盐阈值达 1.5% 以上, 是盐碱地绿化造林的重要树种, 保护和开发利用价值巨大<sup>[9]</sup>。因此, 本文对盐胁迫下桦木科植物生长及生理生化指标变化、耐盐机制和品种选育进行了综述, 以期对盐渍化土地利用和耐盐植物品种选择提供借鉴和参考。

## 1 盐胁迫对桦木科植物的影响

### 1.1 盐胁迫对种子萌发的影响

种子萌发的生理过程易受外界环境干扰, 影响植物生长发育, 而盐胁迫则是影响种子萌发的重要因素之一<sup>[10]</sup>。研究发现白桦<sup>[11]</sup>和盐桦<sup>[12]</sup>种子萌发的耐盐阈值为 0.1%, NaCl 浓度低于 0.1% 时, 对种子的发芽率、发芽势、发芽指数、幼苗生长等影响均不显著, 而当浓度达到 0.2% 时则影响显著, 各指标随胁迫加剧而降低, 盐桦濒危的主要原因可能是其种子耐盐阈值较低。闫兴富<sup>[13]</sup>等对复合钠盐处理下红桦(*B. albosinensis*) 与白桦种子萌发的研究也发现类似结果, 与一些盐生植物种子相比, 红桦和白桦种子对盐胁迫的耐受性非常有限, 红桦耐盐性稍强, 但二者均应属盐胁迫敏感性的种子。混合盐碱胁迫下, 光皮桦(*B. luminiifera*) 种子萌发及幼苗生长均受到显著的影响, 幼苗生长的抑制强度显著高于种子萌发, 且碱性盐的抑制作用更强<sup>[14]</sup>。

### 1.2 盐胁迫对植物形态指标的影响

植物在长时间的盐胁迫环境下, 其生长迟缓, 如苗高、地径、鲜重、干重、叶面积、新枝生长量及新枝叶片数量等均会发生一定的变化。盐分对植物影响具有双重性, 低盐(低于 0.2%)可促进植

收稿日期: 2016-06-02

基金项目: 江苏省工程技术研究中心建设资助项目(BM2013478); 南京林业大学优秀博士学位论文创新基金项目资助; 江苏省科技支撑计划(BE2012345); 江苏省六大人才高峰资助项目(NY-029); 江苏省“青蓝工程”资助项目(2012)。

第一作者简介: 周琦(1988-), 女, 江苏省溧阳市人, 在读博士, 从事园林植物栽培与应用研究。E-mail: 806611458@qq.com。

通讯作者: 祝遵凌(1968-), 男, 教授, 从事园林植物栽培与应用研究。E-mail: zhuzunling@aliyun.com。

物的生长和发育,而高盐(高于 0.3%)则对植物产生伤害,明显地抑制植物生长<sup>[15]</sup>。沼泽小叶桦在高浓度盐胁迫后第 16 天后部分叶缘萎蔫、失绿,到第 30 天后叶片基本脱落,且老叶首先萎蔫,比新叶更容易受到盐害,刚萌发出的嫩叶盐害症状较少<sup>[16]</sup>。随着盐胁迫的增加,红桤木(*A. rubra*)株高、根冠比、植株各部分生物量、叶绿素含量均显著下降<sup>[17]</sup>。欧洲鹅耳枥和鹅耳枥(*C. turczaninowii*)幼苗在盐胁迫下受到损害程度逐渐加重,植株瘦弱,叶片发黄、萎蔫,盐害指数不断上升,存活率、胸径、苗高、相对含水量和干重均减少<sup>[18-19]</sup>。超显微结构研究发现,当盐度高于 0.4%时,沼泽小叶桦叶片的栅栏细胞和叶绿体均发生变化,栅栏组织变厚排列紧密,叶绿体则逐渐变成球形,同时发现粗大的淀粉粒和脂质球<sup>[20]</sup>。扫描电镜结果表明,盐胁迫下盐桦的茎和叶中存在一种晶体状物质,可能是草酸钙晶体,盐桦生长的环境中钙盐的含量远远超出了植物生长的需要,因而植物以形成钙盐结晶的途径来降低体内  $\text{Ca}^{2+}$  含量<sup>[21]</sup>。苏卫国<sup>[22]</sup>等模拟滨海盐渍土的盐分组成配制成复合盐,探究新疆盐桦的耐盐性,发现新疆盐桦受盐害后叶子边缘先缺绿,枯萎,然后逐渐向内卷曲、干缩;其生长量变化与其它桦木科植物变化趋势相似,新疆盐桦苗木的耐盐极限为 5‰。阿依先木·阿西木<sup>[23]</sup>等利用试管苗获得了诱导盐桦生根的最佳培养条件,发现盐桦组育苗仍具有较好的耐盐性。

### 1.3 盐胁迫对植物生理生化指标的影响

1.3.1 盐胁迫对膜透性的影响 在逆境胁迫下细胞膜是植物感受伤害的重要部位,植物是否具有完整的细胞膜结构与正常的功能,在其控制自身渗透调节、离子选择吸收与分配等环节中发挥重要的作用<sup>[24]</sup>。一般而言,植物耐盐性较弱时则膜透性变化较大,而耐盐性强则变化相反<sup>[25]</sup>。氧化胁迫是盐胁迫导致的主要次生胁迫之一,膜质氧化的主要产物之一为丙二醛(MDA),可通过 MDA 的含量反映膜质过氧化作用的强弱及植物对逆境反应程度<sup>[26]</sup>。电导率的大小也可以反映质膜受损程度,数值越大表明质膜受到的伤害越重。台湾桤木(*A. formosana*)在盐胁迫下 MDA 含量呈上升趋势<sup>[27]</sup>;盐桦相对电导率(Rc)和 MDA 随着盐浓度的增加,先上升后下降<sup>[28]</sup>;欧洲鹅耳枥和鹅耳枥幼苗 Rc 和 MDA 则随盐胁迫强度的增加而不断增大<sup>[18]</sup>,表明细胞膜质过氧化程度加剧,对植物细胞造成伤害。

1.3.2 盐胁迫对光合作用的影响 盐分胁迫会使植物的光合作用等生理进程受到显著的影响,而植物的生长发育过程需要以光合作用为基础。因此,逆境下植物是否能维持光合作用功能的正常发挥是许多植物耐盐性强弱的重要原因之一。叶绿素(Chl)含量影响植物的光合作用和碳水化合物合成,是衡量植物耐盐性的指标之一<sup>[29]</sup>。盐胁迫会使叶绿素酶活性提高,加速叶绿素分解<sup>[30]</sup>;也会使叶绿素的合成前体谷氨酸含量下降,叶绿素合成被抑制<sup>[31]</sup>。随着盐胁迫的加剧,沼泽小叶桦叶片中 chl 含量逐渐下降,叶片逐渐黄化,枯萎脱落,光合各项指标均随盐胁迫的加剧而下降<sup>[20]</sup>。盐胁迫下台湾桤木幼苗叶片中叶绿素含量及类胡萝卜素含量的变化趋势与沼泽小叶桦相似<sup>[27]</sup>。盐桦叶片叶绿素含量在 1%时有所增加,之后开始下降,而叶绿素 a/b 则直接降低<sup>[28]</sup>。

盐胁迫下光合作用受抑制的因素包括气孔限制和非气孔限制两个因素。随着盐浓度增加,盐桦幼苗净光合速率( $P_n$ )降低,当盐浓度低于 1.6%时,光合作用受非气孔因素影响较大,当高于该浓度时,则以气孔因素为主<sup>[28]</sup>。盐逆境下两种鹅耳枥幼苗叶绿素总量呈先升后降的趋势;研究发现鹅耳枥  $P_n$  下降为非气孔因素限制;其荧光参数的变化趋势与  $P_n$  相似,随盐浓度增加总体呈下降趋势。通过比较各指标的变化情况,发现鹅耳枥耐盐性高于欧洲鹅耳枥<sup>[32]</sup>。张璐颖等<sup>[33]</sup>对台湾桤木研究发现类似结果,认为盐胁迫下台湾桤木  $P_n$  降低的主要原因也是非气孔限制因素,李宏<sup>[34]</sup>等对盐桦的研究也证实了这一观点。

## 2 桦木科植物对盐胁迫的适应机制

### 2.1 渗透调节

植物处于盐害时,通常会主动积累一些渗透调节物质,以维持体内渗透平衡和水分,消除盐胁迫造成的损伤,研究较多的有机渗透物质有脯氨酸、可溶性糖和甜菜碱等<sup>[35-36]</sup>。盐逆境下,植株体内合成与积累可溶性糖、可溶性蛋白质、脯氨酸等物质,主要起到降低水势以平衡液泡中高浓度盐离子所产生的低渗透势的作用,维持渗透平衡,提高植物的保水能力,保护细胞结构和功能的完整性,从而保持相对良好的叶片水分状况<sup>[37]</sup>。随着盐胁迫的增加,沼泽小叶桦脯氨酸与可溶性糖含量逐渐变大,蛋白质含量则先下降后上升并显著高于对照<sup>[16]</sup>。NaCl 胁迫下鹅耳枥<sup>[18-19]</sup>、台湾桤木<sup>[27]</sup>叶片脯氨酸均大量积累,鹅耳枥可溶性糖

和蛋白先上升后下降,以缓解胁迫引起的渗透胁迫。盐桦<sup>[28]</sup>脯氨酸含量、可溶性糖含量在 1.0%~1.8% 盐浓度下呈上升趋势,而在 1.8%~2.2% 浓度下不断下降,说明盐桦遭受盐胁迫后,通过自身渗透物质的调节来降低胁迫的影响,但这种能力也是有一定限度。

## 2.2 离子平衡

植物生长需要体内维持一定的离子浓度,而离子浓度过高则会引起伤害反应。在盐胁迫下,植物受多方面影响,除了要忍受外界环境引起的水分胁迫,同时由于外界盐离子的大量积累,植物也要尽可能平衡或避免这些盐离子对体内酶活性造成的毒害作用<sup>[38]</sup>,植物体内  $\text{Na}^+$  会影响大多数细胞中生物酶的活性,使这些酶失去活性,发生降解,使正常代谢受阻,毒害植物<sup>[39]</sup>;同时  $\text{Na}^+$  会与其它矿质元素进行竞争,引起矿质营养胁迫,使植物体内原本的离子平衡受干扰,营养元素吸收不正常,影响植物的代谢作用<sup>[40]</sup>。张丽<sup>[41]</sup>等以不同类型盐处理下植株电阻抗图谱(EIS)参数的变化来评价平欧杂种榛(*Corylus heterophylla*)优良品种辽榛 3 号的耐盐碱水平,同时分析体内矿质离子含量的变化情况。发现 NaCl 处理后的杂种榛枝条各电阻抗参数都表现出“降-升-降”的变化趋势, $\text{Na}^+$  含量均不断上升, $\text{Cl}^-$  含量与盐胁迫伤害呈正相关,且  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫、混合盐碱胁迫、NaCl 胁迫影响依次增强;而  $\text{K}^+$  含量在盐胁迫下则表现出下降趋势。植物体在盐胁迫下可通过离子平衡机制维持较高的  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  比值来适应高浓度  $\text{Na}^+$  造成的危害<sup>[42-43]</sup>。平欧杂种榛  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  比值降低,枝条 Na、K、Zn、Ca、B 5 种离子总量在 NaCl 和混合盐碱胁迫下显著增加,而在  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫下趋势相反,碱性胁迫限制了植株对 Zn、B、Ca 3 种元素的吸收。研究证实中性盐和碱性盐胁迫下植物离子平衡机制不同,土壤 pH 会影响植物对矿质营养元素的吸收和利用,碱性盐胁迫下土壤 pH 增大影响离子吸收,而中性盐胁迫下细胞透性增加,促进了离子的向上运输。

为了保持稳定的细胞微环境,植物重要的耐盐机制之一就是使不同种类盐离子在不同器官中的分布维持在稳定的状态<sup>[44]</sup>。周琦<sup>[45]</sup>等从离子吸收、分配及选择性运输等方面研究了欧洲鹅耳枥和鹅耳枥的耐盐机制,发现盐胁迫下  $\text{Na}^+$  含量均增大,但鹅耳枥  $\text{Na}^+$  主要集中在根部,而欧洲鹅耳枥则主要集中于茎部,鹅耳枥把大量  $\text{Na}^+$  离

子聚集于根部以避免对其它器官的伤害; $\text{K}^+$  在根部含量减少,在叶片中含量增高,叶片这种对  $\text{K}^+$  选择性吸收能力可以使  $\text{K}^+$  维持在相对稳定的浓度;根、茎、叶中离子比值随盐浓度的增加而下降,比较两者的离子选择性系数值,发现鹅耳枥从根部到叶片整体的离子选择性运输能力均显著高于欧洲鹅耳枥,该植物具有较高保持体内离子平衡的能力。盐胁迫下盐桦  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  也是逐渐变小,叶片中积累的  $\text{Na}^+$  低于  $\text{K}^+$  含量<sup>[21]</sup>。说明植物在盐逆境下可以能够通过调节体内离子吸收,以及离子区隔化分布来抵御或减轻盐害作用。

## 2.3 保护酶系统

抗氧化酶系统在植物体内的活性氧清除中发挥主要作用,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶能有效地消除活性氧自由基,防止膜的氧化破坏<sup>[46]</sup>。大量实验证明,盐胁迫下植物体内 SOD、POD 活性的升高是植物适应盐胁迫的重要途径<sup>[47]</sup>。台湾桉木幼苗叶片在盐胁迫下表现出较强的活性氧清除能力,SOD 活性不断上升<sup>[27]</sup>。在胁迫前、中期,红桉木 POD、SOD 活性上升;而在盐处理后期,6 g·L<sup>-1</sup> 的盐胁迫下的 POD 活性急速下降<sup>[17]</sup>,鹅耳枥的耐盐性研究中也发现类似结果。盐桦在盐胁迫下叶片 MDA 和 CAT 活性具有相关性,300 mmol·L<sup>-1</sup> 时盐桦 CAT 活性显著降低,而 MDA 突然增高,加剧过氧化作用<sup>[21]</sup>。说明当盐胁迫程度超过了植物的耐受范围,蛋白质合成减少,保护酶被大量消耗,酶活性开始下降,使幼苗的存活与生长受影响。

## 2.4 激素调节

植物生长素(IAA)、赤霉素(GA)和油菜素内酯(BR)信号途径调控盐胁迫下的植物生长,脱落酸(ABA)信号途径调节植物对盐逆境的响应活动<sup>[48]</sup>。盐胁迫可促进脱落酸和乙烯的合成,抑制 IAA、细胞分裂素(CK)、玉米素核苷(ZR)的合成,不同激素互相协调,来调节植物生长发育及对胁迫的响应<sup>[49]</sup>。不同类型盐处理后,平欧杂种辽榛 3 号叶片脱落酸含量显著增加,表现出对胁迫的调节适应能力;(GA+IAA+ZR)/ABA 比值显著下降,碱性盐胁迫下脱落酸积累更加迅速,该植物对  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  的耐受力高于 NaCl,耐混合盐碱能力则介于二者之间<sup>[50]</sup>。

## 2.5 耐盐相关基因

植物通常有以下两种机制适应盐胁迫:一是将  $\text{Na}^+$  排出质膜;二是将  $\text{Na}^+$  隔离在细胞内大叶

泡中<sup>[51]</sup>,植物可以通过  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  反向运输体将  $\text{Na}^+$  隔离于液泡<sup>[52]</sup>。盐桦液泡膜中  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  反向运输体基因 BhNHX 的表达和钙调蛋白基因 CaM 能被盐胁迫、干旱胁迫、低温以及 ABA 诱导, BhNHX 的表达可以提高其耐盐性<sup>[53]</sup>。CaM 是一种植物普遍存在的钙结合蛋白,它可以调节多种靶蛋白,激活细胞中胁迫诱导转录因子 DREB/CBF 的表达<sup>[54]</sup>。盐桦 BhNHX 的启动子可能含有 DRE/CRT 元件。植物激素 ABA 是植物受胁迫的一个信号因子,ABA 响应元件(ABRE)是 ABA 应答基因表达的主要顺式元件,且 ABRE 结合蛋白(AREB)在植物耐盐基因表达中具有重要作用<sup>[55]</sup>。ABA 可以显著诱导盐桦 BhNHX 的表达,与其体内存在 AREB 有关,但是 ABA 对 CaM 的诱导表达不明显。

### 3 桦木科植物耐盐性指标筛选和耐盐品种的选育

耐盐植物的选育是开发利用盐碱地的重要方式,培育耐盐品种具有十分重大的意义。纳晓莹<sup>[56]</sup>等利用因子分析法对  $\text{NaCl}$  和  $\text{NaHCO}_3$  胁迫下 4 种桦树幼苗进行耐盐性评价,比较其生长及光合参数等指标发现吉尔吉斯白桦(*B. kirghisorum*)耐低、中浓度  $\text{NaCl}$  能力最强,白桦耐低、中浓度  $\text{NaHCO}_3$  能力最强,吉尔吉斯白桦、毛枝桦(*B. pubescens*)对高浓度碱性盐的适应能力比欧洲白桦(*B. pendula*)和白桦更强。王树凤<sup>[57]</sup>等以不同浓度  $\text{NaCl}$  处理 8 个桤木(*A. cremastogyne*)无性系,通过比较 SOD 活性、MDA 含量、可溶性蛋白及叶绿素等生理指标的变化情况来筛选耐盐性强的品种,认为  $M_{19}$  和  $D_{52}$  耐盐性较好,其次为  $S_{17}$ ,同时对 SOD 活性是否能准确评价桤木无性系的耐盐性提出了质疑,该研究为筛选桤木耐盐无性系及其在盐碱地的引种提供了科学依据。杨成君<sup>[58]</sup>等以中浓度  $\text{NaCl}$  和  $\text{NaHCO}_3$  处理引进的 24 个白桦家系,进行耐盐性品种筛选,通过比较不同家系盐胁迫下株高、地径、叶绿素相对含量、MDA、盐害指数等方面的变化差异,筛选出抗  $\text{NaCl}$  胁迫的白桦家系和抗  $\text{NaHCO}_3$  胁迫的家系。罗青红<sup>[59-60]</sup>等研究了 6 个杂交榛品种在盐碱地中光合作用日变化情况,发现光合适应性较强的品种;并通过主成分分析法,对各生理指标的贡献率进行比较,结合隶属函数法进一步评价这 6 种杂交榛的耐盐碱性,发现 6 种杂交榛对盐碱土壤的适应能力为辽榛 3 号>新榛 1 号>辽榛 8

号>新榛 4 号>新榛 3 号>新榛 2 号。

### 4 问题与展望

种质资源的评价和应用是新品种选育的重要基础,桦木科植物种类丰富,不少树种开发利用潜力巨大。尽管很多学者对桦木科植物的耐盐性进行了大量的研究工作,但对于其耐盐机理及耐盐品种选育方面的研究还不够深入,尚未形成准确的耐盐评价体系,还有许多问题有待解决。一是目前许多研究是以单盐或混合盐碱胁迫进行的,与环境土壤存在很大差别,所以应结合土壤及生态进行综合研究;二是加强对桦木科植物资源遗传多样性的研究,挖掘有价值的基因,最大限度地培育出更多优良品质的抗逆品种;三是结合分子标记、基因组学等技术,促进植物胁迫响应信号途径和分子机制的研究;四是通过克隆耐盐的相关基因和遗传工程技术手段提高桦木科植物的抗盐性,以期加强耐盐种质资源的筛选和创新。

#### 参考文献:

- [1] 王遵亲. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [2] 魏博烟. 中国盐碱土的分布与成因分析[J]. 水土保持应用技术, 2012(6): 27-28.
- [3] 陈之端. 桦木科植物的系统发育和地理分布[J]. 植物分类学报, 1994(1): 1-31.
- [4] 陈之端. 桦木科植物的系统发育和地理分布(续)[J]. 植物分类学报, 1994(2): 101-153.
- [5] 陈之端, 路安民. 桦木科植物的系统发育和演化[J]. 中国科学院院刊, 2001(3): 188-191.
- [6] 傅立国, 金鉴明. 中国植物红皮书——稀有濒危植物(第 1 卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 188-189.
- [7] 金建邦, 祝遵凌. 桦木科植物组织培养研究进展[J]. 北方园艺, 2013(23): 202-206.
- [8] 杨昌友, 王健, 李文华. 新疆桦木属(*Betula* L.) 新分类群[J]. 植物研究, 2006, 26(6): 648-655.
- [9] 王健. 新疆发现一种抗盐桦树[J]. 植物杂志, 2003(6): 12-13.
- [10] Al-Khateeb S A. Effect of salinity and temperature on germination, growth and ion relations of *Panicum turgidum* Forssk. [J]. Bioresource Technology, 2006, 97(2): 292-298.
- [11] 张路凤, 薛顺英.  $\text{NaCl}$  胁迫对白桦种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 青海农林科技, 2012(1): 5-7.
- [12] 李宏, 邓江宇, 程平.  $\text{NaCl}$  胁迫对盐桦种子发芽和幼苗生长的影响[J]. 新疆农业科学, 2010(3): 472-476.
- [13] 同兴富, 石淳, 张靠稳, 等. 复合钠盐对两种桦树种子萌发的胁迫效应[J]. 中南林业科技大学学报, 2010(6): 50-54.
- [14] 胡春芹, 史洁, 何海洋, 等. 盐碱胁迫对光皮桦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 聊城大学学报: 自然科学版, 2014(1): 75-79.
- [15] 乔旭, 黄爱军, 褚贵新. 植物对盐分胁迫的响应及其耐盐机理研究进展[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(11): 2089-2094.

- [16] 王斌, NaCl 和  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  胁迫下沼泽小叶桦的生理响应[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2013(1):132-136.
- [17] 程钧, 张晓平, 方炎明. 不同浓度 NaCl 胁迫对红桉木幼苗生长及部分生理指标的影响[J]. 中国农学通报, 2010(6):142-145.
- [18] 周琦, 圣倩倩, 祝遵凌. 欧洲鹅耳枥幼苗对盐胁迫的生长及生理响应[J]. 水土保持通报, 2015(3):88-94, 100.
- [19] 周琦, 祝遵凌, 施曼. 盐胁迫对鹅耳枥生长及生理生化特性的影响[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2015(6):56-60.
- [20] 王斌, 巨波, 赵慧娟, 等. 不同盐梯度处理下沼泽小叶桦的生理特征及叶片结构[J]. 林业科学, 2011(10):29-36.
- [21] 张海波, 曾幼玲, 兰海燕, 等. 盐胁迫下盐桦生理响应的变化分析[J]. 云南植物研究, 2009(3):260-264.
- [22] 苏卫国, 尹建道, 张富春, 等. 新疆盐桦的引种及耐盐性研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2011(5):101-105.
- [23] 阿依先木·阿西木, 吐尔逊·吐尔洪, 王文全. 濒危植物盐桦丛生芽生根、移栽及耐盐性研究[J]. 新疆农业大学学报, 2008(6):42-45.
- [24] Hasegawa P M, Bressan R A, Zhu J K, et al. Plant cellular and molecular responses to high salinity [J]. Annual Reviews of Plant Physiol and Plant Molecular Biology, 2000, 51:463-499.
- [25] 杨晓慧, 蒋卫杰, 魏氓, 等. 植物对盐胁迫的反应及其抗盐机理研究进展[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2006, 37(2):302-30.
- [26] 陈少裕. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害[J]. 植物生理学通讯, 1991(2):84-90.
- [27] 刘奕, 文笑, 吴承祯, 等. NaCl 胁迫下台湾桉木幼苗叶片生理特性的变化特征[J]. 福建农林大学学报:自然科学版, 2013(4):371-376.
- [28] 李宏, 邓江宇, 张红, 等. NaCl 胁迫对盐桦幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2009(11):2281-2287.
- [29] 朱新广, 张其德. NaCl 对光合作用影响的研究进展[J]. 植物学通报, 1999, 16(4):332-338.
- [30] Cheeseman J M. Mechanisms of salinity tolerance in plants[J]. Plant Physiology, 1988, 87(3):547-550.
- [31] Santos V C. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves[J]. Scientia Horticulturae, 2004, 103(1):93-99.
- [32] 周琦, 祝遵凌. 盐胁迫对鹅耳枥幼苗光合作用和荧光特性的影响[J]. 林业科技开发, 2015(2):35-40.
- [33] 张璐颖, 文笑, 林勇明, 等. 盐胁迫对台湾桉木幼苗光合作用和荧光特性的影响[J]. 福建林学院学报, 2013(3):193-199.
- [34] 李宏, 邓江宇, 张振春, 等. 盐胁迫对盐桦幼树光合特性的影响[J]. 新疆农业科学, 2010(2):213-217.
- [35] Ghoulam C, Fares K, Foursy A. Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars[J]. Environmental & Experimental Botany, 2002, 47(1):39-50.
- [36] Hajlaoui H, Ayeb N E, Garrec J P, et al. Differential effects of salt stress on osmotic adjustment and solutes allocation on the basis of root and leaf tissue senescence of two silage maize (*Zea mays* L.) varieties[J]. Industrial Crops & Products, 2010, 31(1):122-130.
- [37] Garg A K, Kim J K, Owens T G, et al. Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses[J]. Proceedings of National Academy of Sciences of the USA, 2002, 99(25):15898-15903.
- [38] Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1980, 31:149-190.
- [39] Flowers T J, Dalmond D. Protein-synthesis in halophytes the influence of potassium, sodium and magnesium in vitro[J]. Plant and Soil, 1992, 146:153-161.
- [40] Borsani O, Valpuesta V, Botellam A. Developing salt tolerant plants in a new century: a molecular biology approach[J]. Plant Cell Tiss. Org. Cult., 2003, 73:101-115.
- [41] 张丽, 贾志国, 马庆华, 等. 盐碱胁迫对平欧杂种榛枝条电阻抗图谱参数及离子含量的影响[J]. 应用生态学报, 2014(11):3131-3138.
- [42] Vetterlein D, Kuhn K, Schubert S, et al. Consequences of sodium exclusion for the osmotic potential in the rhizosphere-Comparison of two maize cultivars differing in  $\text{Na}^+$  uptake[J]. Journal of Plant Nutrition & Soil Science, 2004, 167(3):337-344.
- [43] Tavakkoli E, Fatehi F, Coventry S, et al. Additive effects of  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  ions on barley growth under salinity stress. [J]. Journal of Experimental Botany, 2011, 62(6):2189-2203.
- [44] 陈少良, 李金克, 毕望富, 等. 盐胁迫条件下杨树盐分与甜菜碱及糖类物质变化[J]. 植物学通报, 2001, 18(5):587-596.
- [45] 周琦, 祝遵凌. NaCl 胁迫对 2 种鹅耳枥幼苗生长及离子吸收、分配与运输的影响[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(12):7-16.
- [46] 廖岩, 彭友贵, 陈桂珠. 植物耐盐性机理研究进展[J]. 生态学报, 2007(5):2077-2089.
- [47] 王瑞刚, 陈少良, 刘力源, 等. 盐胁迫下 3 种杨树的抗氧化能力与耐盐性研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(3):46-52.
- [48] Dinenny J R. Traversing organizational scales in plant salt-stress responses [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2014, 23:70-75.
- [49] Hamayun M, Khan SA, Khan AL, et al. Effect of salt stress on growth attributes and endogenous growth hormones of soybean cultivar hwangkeumkong[J]. Pakistan Journal of Botany, 2010, 42(5):3103-3112.
- [50] 张丽, 贾志国, 马庆华, 等. 盐碱胁迫对平欧杂种榛生长及叶片内源激素含量的影响[J]. 林业科学研究, 2015(3):394-401.
- [51] Frommer W B, Ludewig U, Rentsch D. Taking transgenic plants with a pinch of salt. [J]. Science, 1999, 285(5431):1222.
- [52] 韩燕燕, 鲁艳, 吕光辉. 植物耐盐的生理机制及基因工程新进展[J]. 生物技术通报, 2007, 23(4):10-18.
- [53] 曾幼玲, 张海波, 兰海燕, 等. 盐桦 BnNHX 的克隆及其与 CaM 在胁迫下的协同表达(英文)[J]. 西北植物学报, 2008(12):2408-2415.
- [54] Joung Youn K, Hyung In C, Min Young I, et al. Arabidop-

sis basic leucine zipper proteins that mediate stress-responsive abscisic acid signaling. [J]. Plant Cell, 2002, 14(14): 343-57.

[55] Liu Q, Kasuga M, Sakuma Y, et al. Two transcription factors, DREB1 and DREB2, with an EREBP/AP2 DNA binding domain separate two cellular signal transduction pathways in drought- and low-temperature-responsive gene expression, respectively, in Arabidopsis. [J]. Plant Cell, 1998, 10(8): 1391-1409.

[56] 纳晓莹, 王秀伟, 徐浩玉, 等. 4 种桦树幼苗耐盐性分析与评价[J]. 植物研究, 2015(6): 873-882.

[57] 王树凤, 陈益泰, 潘红伟, 等. 土壤盐胁迫下柃木 8 个无性系生理特性的变化[J]. 浙江林学院学报, 2006(1): 19-23.

[58] 杨成君, 刘桂丰, 张小焕, 等. 盐胁迫下耐盐白桦家系筛选[J]. 江苏农业科学, 2013(6): 139-142.

[59] 罗青红, 史彦江, 宋锋惠, 等. 盐碱地杂交榛光合作用日变化及其与环境因子的关系[J]. 果树学报, 2013(4): 627-633.

[60] 罗青红, 寇云玲, 史彦江, 等. 6 种杂交榛对新疆盐碱土的生理适应性研究[J]. 西北植物学报, 2013(9): 1867-1873.

Research Progress of Salt Tolerance of *Betulaceae* Plants

ZHOU Qi<sup>1,2</sup>, DING Zhi-bing<sup>1,2</sup>, ZHU Zun-ling<sup>1,2,3</sup>

(1. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing, Jiangsu 210037; 2. College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037; 3. College of Arts & Design, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037)

**Abstract:** In order to study the salinization land and species selection of *Betulaceae* plants with salt-tolerant, the recent progress of salt tolerance of *Betulaceae* plants was discussed. The effect of salt stress in seed germination, growth, physiological and biochemical characteristics, salt stress mechanisms of *Betulaceae* plants under salt stress and the breeding of salt resistant varieties were analyzed. Furthermore, the future research direction of *Betulaceae* plants salt resistance was forecasted to provide reference for plant breeding of *Betulaceae*.

**Keywords:** *Betulaceae* plants; salt stress; growth; physiology and biochemistry; salt-tolerant mechanism

(上接第 148 页)

[49] 陈少容, 黎颖菁, 黄语梦, 等. 红腺忍冬的扦插繁殖体系研究[J]. 中国农学通报, 2013(22): 135-141.

[50] 周婧, 杨美纯, 岑秀芬, 等. 红腺忍冬外植体灭菌与芽诱导研究[J]. 南方农业学报, 2011, 42(2): 124-127.

[51] 王慧俐, 江小红. 灰毡毛忍冬(金银花)的组织培养研究[J]. 安徽农业科学, 2013(30): 11952-11953.

[52] 农艳丰, 杨美纯, 苏小茜, 等. 红腺忍冬组织培养快繁技术(英文)[J]. 南方农业学报, 2013, 44(5): 717-721.

[53] 潘超美, 陈良坚, 赖珍珍, 等. 华南忍冬离体快繁与植株再生的研究[J]. 时珍国医国药, 2011(8): 1996-1997.

Advances in Germplasm Resources, Utilization Values and Propagation Methods of *Lonicera*

HU Ai-shuang<sup>1</sup>, WANG Wen-cheng<sup>1</sup>, SUN Yu<sup>1</sup>, GUO Yan-chao<sup>1</sup>, LIU Shan-zi<sup>1</sup>, LI Hai-shan<sup>2</sup>, YANG Ya-hua<sup>1</sup>

(1. Coastal Agricultural Research Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Tangshan, Hebei 063200; 2. Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050051)

**Abstract:** *Lonicera* belongs to Caprifoliaceae. The plant resources are abundant, distributed widely and the habitat types are complex and diverse. *Lonicera* is famous for its ornamental value, multi-stress resistance and high medicinal value. *Lonicera* germplasm distribution and habitats in China were reviewed, the value of gardens, ecological and medicinal were analyzed, propagation methods were summarized, and some species which with special traits were paid more attention in order to provide reference for more wider exploitation of *Lonicera*.

**Keywords:** *Lonicera*; germplasm; utilization value; propagation

致谢: 本文在撰写及修改过程中得到了沈阳农业大学董文轩教授的指点与帮助, 在此表示感谢!