

竹类植物对盐胁迫的响应及栽培养护研究进展

江登辉¹, 刘晓颖², 陈乾², 荣俊冬², 何天友¹, 郑郁善^{2*}

(1. 福建农林大学园林学院, 福建福州 350002; 2. 福建农林大学林学院, 福建福州 350002)

摘要 土壤盐渍化是全球化的影响农业生产以及环境的重大问题, 是农业发展以及林业发展的主要限制因素之一。分析了盐胁迫下竹类植物的生长发育情况, 以及盐胁迫条件下植物叶绿素含量、叶片保水力、对植物光合作用和植物生长活力的影响, 通过对比其他胁迫与盐胁迫条件下的竹类植物表型去鉴定竹类植物受到的不同胁迫危害。同时针对不同滨海地区的含盐量筛选出适合的竹种, 分析了植物栽植前的盐碱土改良方法以及栽种前后的种植养护管理, 为竹类植物在滨海沙地的广泛种植提供理论基础。

关键词 竹类植物; 盐胁迫; 栽培养护

中图分类号 S 795 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)08-0006-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.08.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress on Response of Bamboo Plants to Salt Stress and Cultivation and Conservation

JIANG Deng-hui¹, LIU Xiao-ying², CHEN Qian² et al (1. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002; 2. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002)

Abstract Soil salinization is a major problem affecting agricultural production and the environment in the globalization, and is one of the main limiting factors for agricultural development and forestry development. This study analyzed the growth and development of bamboo plants under salt stress, as well as the effects of chlorophyll content, leaf water holding capacity, photosynthesis and plant growth vigor under salt stress. The different stress hazards of bamboo plants were identified by comparing the phenotypes of bamboo plants under other stress and salt stress. At the same time, suitable bamboo species were selected according to the salt content in different coastal areas. The methods of improving saline-alkali soil before and after planting and the management of planting and maintenance were analyzed, which provided theoretical basis for the wide planting of bamboo plants in coastal sandy land.

Key words Bamboos; Salt tolerance; Cultivation and conservation

土壤盐渍化是一个全球性的影响农业生产及生态环境的重大问题。据不完全统计, 全世界的盐渍土面积有 $9.5 \times 10^8 \text{ hm}^2$; 我国约有 $2.7 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。在我国 $0.67 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 耕地中有 10% 为盐渍化土壤^[1-2], 由于人为的耕作不当及降雨的缺乏加剧了土壤盐渍化的程度, 使土壤盐渍化面积逐年增加, 影响作物的生长与生存, 是农业生产的主要限制因素之一。

目前我国沿海地区造林树种还比较单一, 如在福建沿海地区主要是以湿地松 (*Pinus elliottii*)、木麻黄 (*Casuarina equisetifolia*) 为主的沿海防护林, 且存在木麻黄二代更新困难的问题。木麻黄、湿地松林分结构比较单一, 缺少林下植被以及伴生树种, 不利于维持林分的稳定性, 不利于保持林地肥力^[3]。沿海地区土地面积大、资源丰富, 若能充分开发利用这些资源将对我国林业发展起很大的推动作用。

竹类植物属于禾本科, 具有较高的观赏特性, 适应性强, 是重要的经济树种和观赏树种之一。竹类植物根系系统发达, 地下根系相互交叉, 较为复杂, 这一特性对沿海地区防风固沙有很好的改良作用。竹笋产量高, 竹材应用比较广泛, 是较好的经济树种。竹类植物在沿海地区的广泛栽种对丰富防护林树种的多样性起到重要作用, 可改善林分结构。研究竹子的耐盐能力、耐盐表现以及提升竹子耐盐能力对盐碱

地的栽植以及沿海滩涂的开发利用具有重要意义。

1 盐胁迫对竹类植物生长的影响

盐胁迫对竹子生长的影响是多方面的。盐胁迫对竹子的养分吸收系统、地下根系和光合作用系统产生抑制性影响, 当土壤盐分含量过高时, 竹子根系水分与养分的吸收能力显著下降, 产生水分胁迫效应, 影响光合叶绿素合成, 同时器官中不利于竹子生长的代谢物质积累量显著增加, 从而使竹子随着盐胁迫浓度和持续时间的增加, 植株的鲜重增长率逐渐减少^[4-6]。

1.1 盐胁迫对竹类植物地下根系系统的影响 盐胁迫状态下, 植物的地下根系系统是最早且最直接的受害部位^[7], 当植物根系受到胁迫时向上传导胁迫信号, 并产生生理反应, 影响植物的生长发育。植物的根系不仅仅是吸收营养物质和水分, 同时还是多种营养物质合成的重要器官, 盐胁迫下植物根系的发育情况以及生长状况对植物耐盐能力有重要影响。王素平等^[8]对黄瓜幼苗进行室内水培试验, 结果发现, 在短期盐胁迫下, 植物的根系吸收面积受到抑制, 质膜透性增大, 对水分的吸收能力呈下降趋势; 随着胁迫时间的延长, 根系吸收面积受到抑制程度加大, 根系吸收能力进一步减弱, 水分缺乏加重, 影响植物正常生长发育过程。竹类植物在盐胁迫状态下根系活力或多或少都会有所下降, 陈松河等^[9]对 5 种竹类植物采用不同盐度处理, 在一段时间后发现, 根系的外观会发生变化, 一般色泽会逐渐加深。不同竹类品种经过不同盐度的处理后, 根系活力均表现出不同程度的下降, 直到根系腐烂死亡。

1.2 盐胁迫对竹类植物光合作用的影响 植物叶片中的光

基金项目 福建省区域发展项目(2015N3015); 福建农林大学科技创新专项(CXZX2017089); 福建省科技创新团队项目(118/KLA18069A); 福建农林大学科研发展基金项目(KF2015084)。

作者简介 江登辉(1996—), 男, 福建龙岩人, 硕士研究生, 研究方向: 园林植物应用。* 通信作者, 教授, 博士生导师, 从事森林培育研究。

收稿日期 2019-09-22

合色素蛋白复合体的变化,直接影响叶绿体对光能的吸收、传递、分配和转化。在盐胁迫环境下,叶绿素的合成与分解之间的平衡关系被打破,光合作用受到影响。研究表明,NaCl 可以提高叶绿素酶的活性,促进叶绿素的分解,导致叶绿素含量降低,从而影响植物的光合作用和有机物质的合成^[10]。

郑容妹^[3]通过对绿竹 (*Dendrocalamopsis oldhami*)、吊丝单 (*Dendrocalamopsis vario-striata*)、大头典 (*Bambusa beecheyana* Munro var. *pubescens*) 的盆栽苗进行盐分胁迫处理发现,在盐胁迫下,叶绿素 a 与叶绿素 b 随着胁迫时间和浓度的增加均呈下降趋势。盐胁迫对竹类植物叶片叶绿素 a+b 含量总体表现为在低浓度盐胁迫时,变化不显著,随着盐胁迫的增加,叶绿素 a+b 含量逐渐下降。

盐胁迫状态下植物的叶绿素含量下降,从而导致植物的光合作用减弱。盐胁迫状态下植物的叶片为了保持叶片内相对较高的水势,叶片的气孔关闭,CO₂ 进入叶肉细胞受影响,导致植物的光合作用降低。盐胁迫不仅会直接影响植物的生长,而且也可以通过抑制光合作用而间接地影响植物的生长,且随着浓度的升高及胁迫时间的增加,对植物生长的影响越明显^[11]。

1.3 盐胁迫对竹类植物形态和生长活力的影响 盐害对竹类植物表型影响主要体现在焦枯病,从最靠近枝条基部叶片的叶尖开始发生坏死斑,并慢慢增多,在叶缘形成“V”形的焦枯斑,慢慢向叶片其他部分扩散,最终导致叶片死亡以及脱落^[12]。

叶片保水力可以反映植物离体叶片的保水能力。单位时间内失水量越少,保水力就越强,失水量越多,则保水能力越弱。离体叶片占自然鲜重的含水量下降幅度越大,叶片的保水能力就越差^[13-14],陈松河等^[9]对不同盐度胁迫下竹类植物叶片保水力的比较得出,在盐胁迫条件下,随着胁迫时间的增加和胁迫浓度的增加,竹类植物叶片的保水力逐渐下降。

1.4 盐胁迫对竹类植物生理生化特性的影响 盐胁迫主要是离子毒害,盐胁迫对植物生长有严重的负面影响,光合作用降低,加快植物的衰老过程,植株的生长量降低,加大能量消耗,最终导致植株因饥饿而死亡。

细胞质膜在盐胁迫条件下,组分、运输、透性以及离子流率都会发生变化,损害细胞膜的正常功能,影响细胞代谢,生理功能受到破坏^[15]。

高浓度 Na⁺ 对植物的毒害作用是限制植物在高盐度盐渍化土壤上正常生长的因素之一,高浓度的 Na⁺ 会导致细胞内磷、K⁺ 和有机溶质的外渗,液泡膜 H⁺ 和细胞质中的 H⁺ 跨膜运输,液泡碱化,跨膜运输 pH 梯度下降,不利于 Na⁺ 在细胞内积累^[16]。

耐盐植物通常都有较高的渗透调节能力,盐胁迫下植物会在细胞中积累可溶性有机物质,并参与渗透调节,适应体外的缺水环境。植物耐盐性的指标可以参考可溶性有机物质中作为渗透调节部分的含量,包括氨基酸、有机酸、可溶性

碳水化合物、醇类等^[17]。史军辉等^[18]以胡杨幼苗为研究对象,采用盆栽形式探究胡杨幼苗抗盐能力,结果表明胡杨幼苗对盐分具有一定的适应性,通过增加脯氨酸、可溶性蛋白、超氧化物歧化酶含量,来保持较高的 K⁺ 吸收能力,从而增强了胡杨幼苗抗盐能力。

2 盐胁迫与干旱胁迫下竹类植物生长差异

植物对逆境胁迫的反应因胁迫强度、时间和空间的不同而有不同的表型,植物在短时间内的逆境胁迫可以通过叶片气孔、渗透条件方式来调节;长时间的逆境胁迫下,植物的形态结构或者生理生化上的变化为更主要的适应方式,最终导致植物形态以及生理特性的改变。

盐碱和干旱是限制植物在沿海地区种植的主要因素^[19]。盐胁迫与干旱胁迫会引起植物体内代谢失调,使细胞结构和功能受损,盐胁迫的危害主要是渗透胁迫和离子毒害造成的生理干旱和营养缺失,抑制植物生理过程^[20]。而干旱胁迫主要是细胞膜和膜系统受到损伤,导致水分分配异常,破坏正常生理代谢过程,导致酶活性、光合作用以及呼吸作用发生变化^[21]。

干旱胁迫对植物叶片产生的影响主要表现在叶片卷曲,萎蔫,叶片面积、厚度均变小^[22]或者着生角度发生改变^[23]。在干旱胁迫下,叶片的变化主要是为了保水和提高水分利用效率,从而减少蒸腾量防止体内水分流失。当土壤缺水时,植物体内水势升高,植物吸水能力下降,细胞供水不足,新陈代谢受阻。可溶性蛋白和可溶性糖在植物遭受干旱胁迫时含量也会大量增加,在逆境胁迫时它们会参与调节维持细胞膨压不受损^[24]。植物抗性越强可溶性糖含量越大,一旦小环境条件胁迫超过植物耐受范围,则含量又会下降。

从表 1 可以看出,不同胁迫条件下竹类植物的表型不同,叶形态在盐胁迫下的表型为褐色的坏死斑出现在枝条基部叶片的叶尖,最后叶缘连成一片,最终坏死脱落^[12];干旱胁迫下叶片表现为黄化,卷曲,萎蔫,叶片面积变小或者着生角度发生改变^[23]。根部形态在盐胁迫下根的色泽逐渐加深^[9],干旱条件下根冠比增大,扎根深^[25]。

表 1 不同胁迫对竹子不同部位的影响

Table 1 Effects of different stresses on different parts of bamboo

部位 Part	盐胁迫 Salt stress	干旱胁迫 Drought stress
叶子 Leaf	先发于枝条基部叶片的叶尖,靠近叶尖部分的叶缘出现褐色的坏死斑,最后叶缘连成一片,最终脱落	叶片黄化,卷曲,萎蔫,叶片面积变小或者着生角度发生改变
根 Root	色泽逐渐加深	根冠比增大,扎根深

3 滨海地区耐盐竹类植物的筛选与应用

3.1 竹类植物耐盐等级 目前国内外对竹类植物耐盐等级的评定标准还没有明确,赵可夫等^[26]根据盐碱地盐渍化程度进行划分,小于 1‰ 为非盐渍化土壤,1‰~2‰ 为轻度,2‰~3‰ 为中度,3‰~5‰ 为重度。王业选等^[27]根据盐害程度进行划分,分为 5 个等级:0 级无盐害症状;1 级轻度盐害,少部分叶尖变黄;2 级中度盐害,约 1/2 叶尖、叶缘变黄;3 级

重度盐害大部分叶片叶缘、叶尖有焦枯现象;4级极重度盐害,枝条干枯,叶片脱落导致植株死亡。结合对土壤的盐渍化划分以及植物盐害表现程度,将竹类植物的耐盐程度分为4级:I级.在含盐量为1‰~2‰(含1‰)正常生长的植物,为轻度耐盐植物;II级.在含盐量为2‰~4‰(含2‰)正常生长的植物为中度耐盐植物;III级.在含盐量为4‰~6‰(含4‰)正常生长的植物为强耐盐植物;IV级.能够在含盐量超过6‰(含6‰)正常生长的植物,为特耐盐植物。

3.2 不同滨海城市栽培实例 植物的耐盐能力是植物生理适应和形态适应的综合体现,是由植物的遗传特性所决定的。根据陈松河^[28]在《竹类植物耐盐性研究与园林应用》提出竹类植物在厦门市的种植建议,在土壤耐盐度为2‰~4‰时可考虑选择早园竹(*Phyllostachys prorepina*)、崖州竹(*Bambusa textilis*)、乌哺鸡竹(*Phyllostachys vivax*)、倭竹(*Shibataea kumasasa*)、金镶玉竹(*Phyllostachys aureosulcata*)、橄榄竹(*Indosasa gigantea*)、鹅毛竹(*Shibataea chinensis*)、小叶白斑竹(*Phyllostachys bambusoides f. lacrima-deae*)、四季竹(*Oligostachyum lubricum*)、长叶苦竹(*Pleioblastus chino var. hisauchii*)、人面竹(*Phyllostachys aurea*)、毛凤凰竹(*Bambusa multiplex var. incana*)、花叶唐竹(*Sinobambusa tootsik f. luteolo-albostriata*)、唐竹(*Sinobambusa tootsik*)、篔竹(*Phyllostachys nidularia*)、糯竹(*Cephalostachyum pergracile*)、阔叶箬竹(*Indocalamus latifolius*)、泰竹(*Thyrsostachys siamensis*)、菲白竹(*Sasa fortunei*)、翠竹(*Sasa pygmaea*)、雷竹(*Phyllostachys praecox*)、淡竹(*Phyllostachys glauca*)、菲黄竹(*Pleioblastus viridistriatus 'Variegatus'*)、面竿竹(*Pseudosasa orthotropa*)、桂竹(*Phyllostachys bambusoides*)、河竹(*Phyllostachys rivalis*)、刚竹(*Phyllostachys sulphurea*)、高节竹(*Phyllostachys prominens*)、紫竹(*Phyllostachys nigra*)、铺地竹(*Pleioblastus distichus*)、观音竹(*Bambusa multiplex*)、石绿竹(*Phyllostachys arcana*)、黄秆乌哺鸡竹(*Phyllostachys vivax 'Aureocaulis'*)、黄条金刚竹(*Arundinaria kongosensis 'Aureostriatus'*)、花吊丝竹(*Dendrocalamus minor*)、霞山坭竹(*Bambusa xiashanensis*)、花竹(*Bambusa albo-lineata*)、斑竹(*Phyllostachys bambusoides*)等;在土壤盐度为4‰~5‰时可以考虑大头典竹、绿竹、红竹(*Phyllostachys iridescens*)、花眉竹(*Bambusa longispiculata*)、坭竹(*Bambusa gibba*)、粉单竹(*Bambusa chungii*)、白哺鸡竹(*Phyllostachys dulcis*)、银丝大眼竹(*Bambusa eutuldoides*)、凤尾竹(*Bambusa multiplex*)、油竹(*Bambusa surrecta*)、鼓节竹(*Bambusa tuldooides cv. Swolleninternode*)、箬竹(*Bambusa blumeana*)、黄金间碧玉竹(*Bambusa vulgaris 'Vittata'*)、大眼竹(*Bambusa eutuldoides*)、车筒竹(*Bambusa sinospinosa*)、银丝竹(*Bambusa multiplex cv. Silverstripe*)、角竹(*Phyllostachys fimbriatigula*)、青丝黄竹(*Bambusa eutuldoides var. viridi-vittata*)、吊罗坭竹(*Bambusa diaoluoshanensis*)等;在土壤盐度为5‰~6‰时可以考虑选择石竹仔(*Bambusa piscatorum*)、孝顺竹(*Bambusa multiplex*)、麻竹(*Dendrocalamus latiflorus*)、小佛肚竹(*Bambusa ventricosa*)、青皮竹(*Bambusa textilis*)、小琴丝竹(*Bambusa multiplex cv. Al-*

phonse-Karr)等;在土壤盐度为6‰以上时可考虑选择大肚竹(*Bambusa vulgaris*)、大木竹(*Bambusa wenchouensis*)等。在进行耐盐竹种选择时,还应考虑到竹子不同的生长发育阶段、具体的小环境条件等^[29]。

张勇伟^[30]在上海浦东国际机场航站区的几种竹类植物耐盐碱性试验,发现毛竹(*Phyllostachys heterocycla cv. Pubescens*)、白脯鸡竹、乌哺鸡竹、红竹、淡竹、早竹、高节竹这些竹类的成活率均为100%,航站区的种植土壤为滨海盐碱土,含盐量为1.47‰,且地下水水位高,临海风大。

4 滨海盐碱地栽培竹类的主要技术措施

盐碱土包含盐土、碱土、碱化土以及盐化土,是我国广泛分布的一种土地类型,盐碱土主要是土壤中含有钾、钙、钠、镁的氯化物以及硫酸盐和重碳酸盐等。在以 Na^+ 、 HCO_3^- 以及 CO_3^{2-} 为主的盐碱土中,土壤的表面会出现白色的盐斑,或形成盐结块;在以 Na^+ 、 Cl^- 为主的盐碱土中,春季土壤表层会出现一层白霜,颗粒细。盐碱土的团粒结构以及孔隙度会发生变化,土壤微粒比重加大,易导致土壤板结;土壤空隙减小,透水性以及透气性都变差,容易导致水土流失的发生^[31]。土壤溶液中的离子浓度增大,pH增大, Na^+ 置换率加大,土壤中酶的活性受到抑制,对微生物的活动以及有机质的转化有显著影响^[32],导致土壤中的养分以及有机质含量下降,土壤肥力下降。

滨海区域土壤结构差,肥力低且含盐量高,并且会受到海风的影响,盐分散发在空气中,导致一般的植物很难正常生长^[9]。盐碱土中过量的盐分离子对植物生长和发育的影响程度,取决于离子的类型和浓度以及植物所在的生长阶段。主要有以下3个方面:①离子毒害, Cl^- 的过量会导致植物叶片生长减慢,黄化,甚至提前脱落。②盐胁迫对植物生长的抑制作用主要是在繁殖生长和营养生长2个阶段,研究表明,种子在盐分条件下发芽率会下降^[33]。③植物的形态和结构发生变化,植物的叶片变小,生长期缩短,减小蒸腾作用的消耗以及减少对盐分的吸收^[34]。

4.1 充分了解滨海盐碱地的分布范围、危害程度以及类型 盐碱地的改良与竹类植物的栽植涉及多方面,是需要长期研究的复杂课题,防止土壤盐碱化和治理盐碱土壤的关键是提高对盐碱地的认识,综合治理,科学引导。

所谓盐碱土就是盐和碱共存的特殊土壤,而这一特性也决定了盐碱地改良的复杂性,同一树种在同等含盐量下,若离子的组成不同,则其对耐盐程度会有差异。同一个树种,在不同生长时期其耐盐水平也不同,如幼树与大树的耐盐水平相差较大,有时甚至能差一倍。

各个滨海地区盐碱地的离子类型不同,主要是造成盐碱土的原因不同,在盐碱土改良过程中,要按照不同的地域范围,不同的形成原因,因地制宜地采取相对应的治理方法。陈松河^[28]研究发现,福建沿海地区的离子类型主要是 Na^+ 和 Cl^- ,而造成盐碱土的主要原因是受到海水的侵染,因此在福建滨海地区种植竹子应将盐害的克服和治理列入重要的工作之一。福建平潭常年受到大风的影响,一年中最多达176 d^[35],张琳

婷等^[36]在此基础上还发现平潭存在盐雾现象,因此在此种情况下进行治理时也要考虑海雾造成的影响,可以通过对叶片经常冲洗来实现治理的效果。

4.2 必要的工程措施 一般认为,当土壤的实际含盐量超过1‰时,栽植竹子时应采取必要的一些除盐措施。在此过程中最重要的是应根据盐碱土的特点、形成原因以及使用目的等,采取相对应的工程措施、耕作措施和综合措施。工程措施包括平整土地,建立完善的排灌系统,深翻改土、换土、冲洗等^[28]。

(1) 采取必要的客土措施。对于盐分较高的地区,栽植竹子时应进行客土改良,并且进行围挡隔离以及垫层防止盐分的渗透。厦门园博园正是采用了此种方法,效果显著。

(2) 抬高种植面。由于滨海地区受海水侵染的影响而导致的盐含量过高可通过抬高种植面的方法来实现,防止海水倒灌的同时也为今后的灌溉浇水进行排盐提供了有利的条件。

(3) 开挖(建设)排水沟或设置排水通道。根据土壤情况可设置排水沟,3~5 m 为间隔,用淡水冲刷使土壤中的高盐分能随着水分排出,或者是与抬高种植面相结合,也可在种植层以下 20 cm 铺设 20~30 cm 的隔离层,并铺设排盐管^[37]。适时对叶片进行冲洗有利于冲刷高浓度的盐分,能为植物提供水分,又能减轻盐雾对植物的影响,促进植物的生长^[38]。

(4) 对高盐分的土壤(或受海水侵染严重的土壤),可以在种植之前撒改良土壤用的石灰(主要成分为 CaCO_3)。研究表明,在盐胁迫条件下,加钙能提高植物的耐盐力。史跃林等^[39]研究认为 Ca 之所以提高植物的抗盐性是通过增加 CAM 含量来实现的。因此施石膏或者石灰粉均能提高植物的耐盐能力^[40]。除了上述 2 种,还可以通过使用改良剂和微生物菌剂,经试验证明这 2 种可降低土壤中的含盐量和电导率,同时能增加土壤中的有机质的含量^[41]。

(5) 采取必要的耕作措施,降低土壤含盐量。有效的耕作措施包括深耕细耙,发展节水农业和增施绿肥。深耕细耙能增加土壤透气性,保水保肥,改善土壤结构,降低盐胁迫的危害。发展节水农业,采用新的灌溉方式,如喷灌、滴灌、管灌等,能防止土壤进一步盐渍化。增施绿肥能够增加盐碱土中的有机质含量,改善土壤结构,提高土壤肥力,抑制盐分的积累。

4.3 种植前后的养护和管理措施 盐碱地栽竹的抚育过程不容忽视,栽种后期的养护管理应格外重视。栽植竹苗的高度以 1.0~1.5 m 为宜,太高不适宜保持水分,不利于防风固沙。栽植时如果是丛生竹应保持芽眼饱满完整,如果是散生竹,保持来鞭 20 cm 左右,去鞭 30 cm 左右。竹子栽植后要将土踩实,浇定根水^[24]。在栽种完成之后,要及时浇水,并且在后续的养护管理中水分供给要跟上,特别是植物生长旺盛时期^[42]。

浇水或下雨时要及时中耕翻松土壤,使盐分不会随着水分上升到土表,中耕深度按照植物根系不同有所变化,此过

程中可结合施肥效果更佳^[43]。

盐碱地植物养护管理过程中,要及时施肥,能有效地提高盐碱地土壤肥力,达到疏松土壤和增强通透性的效果。同时增施有机肥,不但可以提供植物氮、磷、钾等各种大量元素,还能提供多种微量元素^[44]。

5 研究展望

在选择沿海防护树种时应选择经济效益和生态效益并行的优良树种,竹类植物符合当前这一要求,目前沿海沙地竹子的应用还相对较少,福建地区会多一些,所以沿海沙地营造竹林的前景还是很乐观的,但并不是每一种竹子都适合推广和广泛种植,应根据沿海的立地条件选择最适合在当地种植的竹种。

沿海沙地竹种的选择首先应考虑的是土壤的含盐度,根据土壤含盐度筛选符合条件的竹种。目前关于竹类植物在沿海地区营造竹林的研究尚未见报道,有关沿海沙地竹类植物抗性的研究还很少有人涉及。有关竹类植物耐盐机制方面的研究未见相关文献阐述,竹类植物的耐盐基因以及其调控途径还没发现,可根据其他植物如滨藜(*Atriplex patens* (Litv.) Iljin)、蓬蓬(*Suaeda glauca*)、怪柳(*Tamarix chinensis*)等作为模式植物,进一步去探讨竹类植物的耐盐机制。今后可以应用分子生物学和基因工程对竹类植物的耐盐性遗传育种开展相关的研究,进行筛选和鉴定优良抗盐基因。

参考文献

- [1] 朱晓军,杨劲松,梁永超,等.盐胁迫下钙对水稻幼苗光合作用及相关生理特性的影响[J].中国农业科学,2004,37(10):1497-1503.
- [2] 林栖凤,李冠一.植物耐盐性研究进展[J].生物工程进展,2000,20(2):20-25.
- [3] 郑容妹.沿海沙地引种绿竹等竹子的抗盐抗旱机理研究[D].福州:福建农林大学,2003.
- [4] 李荣柱.苏北沿海刚竹属竹子栽培措施探讨[J].江苏林业科技,1987(4):24-28.
- [5] 张玲菊,徐维坤,陈旭君,等.白嘴鸡竹海岸带引种栽培技术[J].林业科技开发,2002,16(4):43-44.
- [6] 金川,王月英.绿竹滩涂栽培试验[J].林业科学研究,1997,10(1):42-45.
- [7] CRAMER G R, LAUCHLI A, EPSTEIN E. Effects of NaCl and CaCl_2 on ion activities in complex nutrient solutions and root growth of cotton[J]. Plant physiology, 1986, 81(3):792-797.
- [8] 王素平,郭世荣,李璟,等.盐胁迫对黄瓜幼苗根系生长和水分利用的影响[J].应用生态学报,2006,17(10):1883-1888.
- [9] 陈松河,黄金能,马丽娟,等.NaCl 胁迫对竹类植物形态和生长活力的影响[J].西北林学院学报,2013,28(3):84-87.
- [10] 李善春.NaCl 盐胁迫下 5 种地被观赏竹生理特性的研究[D].南京:南京林业大学,2005.
- [11] 王仁雷,华春,罗庆云,等.盐胁迫下水稻叶绿体中 Na^+ 、 Cl^- 积累导致叶片净光合速率下降[J].植物生理与分子生物学学报,2002,28(5):385-390.
- [12] 王良睦,王文卿,王谨.厦门地区耐盐园林植物的筛选[J].中国园林,2001(6):65-67.
- [13] 宋廷茂,张建国,刘勇,等.大兴安岭地区主要针叶树种苗木活力的研究[J].北京林业大学学报,1993,15(S1):1-17.
- [14] MUKHERJEE S P, CHOUDHURI M A. Implications of water stress-induced changes in the levels of endogenous ascorbic acid and hydrogen peroxide in *Vigna* seedlings[J]. Physiologia plantarum, 1983, 58(2):166-170.
- [15] 顾大形,陈双林,顾李俊,等.盐胁迫对四季竹细胞膜透性和矿质离子吸收、运输和分配的影响[J].生态学杂志,2011,30(7):1417-1422.
- [16] 杜洪艳,柏彦超,白寅,等.NaCl 胁迫对水稻幼苗生长和钾、钠、钙、镁营养的影响[J].江苏农业学报,2008,24(4):527-529.
- [17] 成铁龙,李焕勇,武海雯,等.盐胁迫下 4 种耐盐植物渗透调节物质积

- 累的比较[J].林业科学研究,2015,28(6):826-832.
- [18] 史军辉,王新英,刘茂秀,等.NaCl胁迫对胡杨幼苗叶主要渗透调节物质的影响[J].西北林学院学报,2014,29(6):6-11.
- [19] 谷凌.盐分及干旱胁迫对台湾海桐和台湾栾树的影响研究[D].福州:福建农林大学,2013.
- [20] 杨帆,魏晓岑,张士超,等.不同甜高粱品种萌发期抗盐和抗旱性比较[J].植物生理学报,2015,51(10):1604-1610.
- [21] 裴斌,张光灿,张淑勇,等.土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J].生态学报,2013,33(5):1386-1396.
- [22] 李金航,徐程扬,朱济友,等.黄鹌幼苗在持续干旱胁迫环境中的表型适应对策[J].西北林学院学报,2019,34(2):28-34.
- [23] 刘球,吴际友,李志辉.干旱胁迫对植物叶片解剖结构影响研究进展[J].湖南林业科技,2015(3):101-104.
- [24] 王西石.荒漠植物红砂在干旱胁迫和盐胁迫下的渗透调节研究[D].兰州:兰州大学,2009.
- [25] SMITH V C, ENNOS A R. The effects of air flow and stem flexure on the mechanical and hydraulic properties of the stems of sunflowers *Helianthus annuus* L. [J]. Journal of experimental botany, 2003, 54(383):845-849.
- [26] 赵可夫,李法曾,樊守金,等.中国的盐生植物[J].植物学通报,1999(3):10-16.
- [27] 王业遴,马凯,姜卫兵,等.五种果树耐盐力试验初报[J].中国果树,1990(3):8-12.
- [28] 陈松河.竹类植物耐盐性研究与园林应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [29] 郑俊鸣,张嘉灵,郑建忠,等.中国海岛植被修复的适生植物[J].世界林业研究,2017,30(3):86-90.
- [30] 张勇伟.浦东国际机场航站区园林竹类植物的种植和养护技术[J].竹子学报,2001,20(2):31-35,54.
- [31] MAKESCHIN F, LANDGRAF D, ZHONG Z. Nachhaltige Agroforstwirtschaft auf salinen Koestenboeden der Provinz Zhejiang (VR China) [J]. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universitt Dresden, 2001(4):102-108.
- [32] LANDGRAF D, KLOSE S. Mobile and readily available C and N fractions and their relationship to microbial biomass and selected enzyme activities in a sandy soil under different management systems [J]. J. Plant Nutr. Soil Sci, 2002, 165:9-16.
- [33] ESECHIE H A, AL-SAIDI A, AL-KHANJARI S. Effect of sodium chloride salinity on seedling emergence in chickpea [J]. J. Agronomy & Crop Science, 2002, 188:115-160.
- [34] BOHNERT H J, NELSON D E, JENSEN R G. Adaptations to environmental stresses [J]. Plant Cell, 1995, 7(7):1099-1111.
- [35] 石银,陈潇潇,王贤梅.平潭近50年气候变化特征分析与浅谈[C]//中国气象学会第35届中国气象学会年会S6应对气候变化、低碳发展与生态文明建设北京:中国气象学会,2018:5.
- [36] 张琳婷,傅海峰,肖兰,等.平潭大屿岛上台湾相思长势的时空差异性[J].海洋开发与管理,2018,35(7):77-82.
- [37] 《平潭绿化导则》编写组.平潭绿化导则[M].厦门:厦门大学出版社,2013.
- [38] APPLETON B, GREENE V, SMITH A, et al. Trees and shrubs that tolerate saline soils and salt spray drift [EB/OL]. [2019-06-05]. http://pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/430/430-031/430-031.pdf.
- [39] 史跃林,罗庆熙,刘佩璇. Ca²⁺对盐胁迫下黄瓜幼苗中CaM、MDA含量和质膜透性的影响(简报)[J].植物生理学通讯,1995,31(5):347-349.
- [40] CLATTERBUCK W K. Tree susceptibility to salt damage [EB/OL]. [2019-06-05]. <https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/SP610.pdf>.
- [41] 汪立梅,桂丕,李化山,等.改良剂与微生物菌剂联合施用对盐碱地土壤和耐盐植物的影响[J].江苏农业科学,2018,46(17):264-269.
- [42] 王如月,王如意.盐碱地植物养护[J].现代园艺,2017(17):89-90.
- [43] 吕玉才,孙金涛,徐德恩.滨海盐碱地绿化养护技术探讨[J].科技信息,2010(30):774.
- [44] 李海静.盐碱地园林绿化养护管理措施[J].现代园艺,2016(10):181.

(上接第5页)

- [5] 黄明镜,马步洲,岳艳琴,等.等离子体对种子活力及抗旱性的影响[J].干旱地区农业研究,2002,20(1):65-68.
- [6] 徐志莹,陈波,魏振.不同种子处理方法对玉米产量的影响[J].农业科技与装备,2011(4):15-16.
- [7] 刘山,欧阳西荣,聂荣邦.物理方法在作物种子处理中的应用现状与发展趋势[J].作物研究,2007,21(S1):520-524.
- [8] 邵长勇,王德成,唐欣,等.弧光磁化等离子体种子处理装备应用现状与发展趋势[J].中国种业,2012(8):1-3.
- [9] 李波,焦德志,战春岩.微波处理苜蓿种子发芽率及其幼苗抗旱性的影响[J].种子,2006,25(12):28-30.
- [10] 霍平慧,李剑峰,师尚礼,等.盐胁迫对超干处理苜蓿种子萌发及幼苗生长的影响[J].草原与草坪,2011,31(1):13-18.
- [11] 秦芳.微波处理对甘肃省4个苜蓿地方品种抗旱性的影响[J].草业科学,2004,21(11):41-43.
- [12] 征荣,许月英,杨体强,等.电场处理苜蓿种子对其幼苗期生长的影响[J].内蒙古大学学报(自然科学版),2002,33(3):359-362.
- [13] 邵长勇,王德成,杨鹏,等.基于冷等离子体种子处理技术的苜蓿表现遗传研究[J].中国种业,2015(3):12-14.
- [14] 于亚学,吕雪松,李富娟.等离子体种子处理技术的推广应用[J].农业开发与装备,2011(1):19-20.
- [15] 任卫波,陈立波,郭慧琴,等.紫花苜蓿耐寒越冬性研究进展[J].中国草地学报,2008,30(2):104-108.
- [16] 邵长勇,方宪法,唐欣,等.冷等离子体处理对大葱种子发芽特性的影响[J].农业机械学报,2013,44(6):201-205.
- [17] 邵长勇,王德成,刘亮东,等.冷等离子体种子播前处理技术研究动态及展望[J].中国种业,2014(12):1-4.
- [18] 李生军.低温胁迫对唐古特莜麦脯氨酸、丙二醛含量的影响研究[J].农民致富之友,2018(20):33.
- [19] 田雨,杨文治,梁发茂,等.低温冷冻处理对水稻种子发芽势和发芽率的影响[J].农业科技通讯,2018(12):94,276.
- [20] ZHOU Z W, HUANG Y F, YANG S Z, et al. Introduction of a new atmospheric pressure plasma device and application on tomato seeds [J]. Agri Sci, 2011, 2(1):23-27.
- [21] ŠERÁ B, ŠPATENKA P, ŠERÝ M, et al. Influence of plasma treatment on wheat and oat germination and early growth [J]. IEEE T Plasma Sci, 2010, 38(10):2963-2968.
- [22] DHAYAL M, LEE S Y, PARK S U. Using low-pressure plasma for *Carthamus tinctorium* L. seed surface modification [J]. Vacuum, 2006, 80:499-506.
- [23] VOLIN J C, DENES F S, YOUNG R A, et al. Modification of seed germination performance through cold plasma chemistry technology [J]. Crop Sci, 2000, 40(6):1706-1718.
- [24] 范月君,芦光新,徐成体,等.冷等离子体处理对2种豆科牧草种子发芽及幼苗生长的影响[J].种子,2016,35(8):47-49.
- [25] 黄明镜,尹美强.等离子体对干旱胁迫下小麦种子萌发的生物学效应[J].中国农学通报,2010,26(23):204-207.
- [26] 夏丽华,张春玉.磁场处理对番茄种子活力及苗期长势的影响[J].东北师大学报(自然科学版),1999(3):66-69.
- [27] DOBRYNIN D, FRIDMAN G, FRIEDMAN G, et al. Physical and biological mechanisms of direct plasma interaction with living tissue [J]. New J Phys, 2009, 30(11):20-46.
- [28] FILATOVA I, AZHARONOK V, KADYROV M, et al. The effect of plasma treatment of seeds of some grains and legumes on their sowing quality and productivity [J]. Rom J Phys, 2011, 56:139-143.
- [29] ZHOU Z W, HUANG Y F, YANG S Z, et al. Introduction of a new atmospheric pressure plasma device and application on tomato seeds [J]. Agri Sci, 2011, 2(1):23-27.