植物学通报 2005, **22** (6): 746~752
Chinese Bulletin of Botany

专 题 介 绍

木麻黄抗逆性研究进展①

[1,2]陈 彦 [3]王国明 [1]周 坚②

[1](南京林业大学森林资源与环境学院 南京 210037)
[2](山东聊城大学生命科学学院 聊城 252059) [3](浙江舟山市林业科学研究所 定海 316000)

摘要 木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)是热带、亚热带常绿乔木, 天然生长于滨海疏松沙土中, 为多用途速生树种。长期生长在恶劣的沿海气候和环境中使其具有较强的抗盐、抗风、耐瘠薄、抗涝能力。木麻黄已广泛种植于我国东南沿海, 主要用于防风固沙、盐碱地改良和干旱地区绿化等, 在防御沿海自然灾害、改善生态环境方面发挥了巨大作用。杂交和盐碱地露地育苗等技术使木麻黄的抗寒性也得到了较大提高。本文就近年来木麻黄抗非生物胁迫的研究进行了综述, 旨在为合理开发和利用木麻黄资源提供参考依据。

关键词 木麻黄, 抗盐, 抗旱, 抗台风, 耐瘠薄, 耐涝, 抗寒

Advances in the Study of Stress Resistance of *Casuarina equisetifolia*

[1,2]CHEN Yan [3]WANG Guo-Ming [1]ZHOU Jian②

[1](*College of Forest Resources and Environment,Nanjing Forestry University*, Nanjing 210037)
[2](*College of Life Science, Liaocheng University*, Liaocheng 252059)
[3](*Forestry Scientific Research Institute of Zhoushan*, Dinghai 316000)

Abstract *Casuarina equisetifolia* is a useful evergreen and fast-growing tree growing in loose sandy soil in tropical and subtropical zones. The adverse circumstances and harsh ocean climate make it even more salt-resisting, wind-breaking, poor soil-tolerating and waterlog-enduring. But the plant can only tolerate short-term drought because of its warm and moist habitat. It has been planted in coastal areas and offshore islands in southeast China as a windbreaker and sandfixator, to improve soil in saline-alkali areas, and for reforestation in arid areas, for example; thus, it plays an important role in protecting other plants from natural disaster damage and improving the habitat along the seacoast. The plant's resistance to cold contributes to hybridization and nursery stock cultivated in saline-alkali soil. Summarized in this paper are recent studies of the abiotic stress resistance of *C. equisetifolia* to exploit it rationally.

Key words *Casuarina equisetifolia*, Salt resistance, Drought resistance, Typhoon resistance, Poor soil tolerance, Waterlogging endurance, Cold resistance

①南京林业大学"校人才基金项目"(PD2003-01)资助。
②通讯作者。Author for correspondence. Email: zhiwu@njfu. edu. cn
收稿日期: 2005-01-07 **接受日期**: 2005-04-20 **责任编辑**: 于昕

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t25-003

木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)属双子叶植物纲木麻黄科木麻黄属, 常绿乔木, 天然分布于大洋洲、太平洋岛屿及东南亚地区。1919年作为行道树和庭园观赏树引种到福建泉州(刘强和张亚辉, 2002)。目前, 在我国东南沿海种植广泛, 其栽培地已北移至浙江。该树种生长迅速, 对生长地条件要求不高, 根系发达深广, 具有抗台风、耐盐碱、耐干旱、耐贫瘠等优良特性, 20世纪50年代后成为我国东南沿海营造防护林的主要树种。据统计, 目前我国已拥有木麻黄人工林3×10^5 hm^2(仲崇禄和张勇, 2003), 在防御沿海自然灾害、改善生态环境等方面发挥了巨大的作用。为了合理开发利用木麻黄资源, 进一步扩大栽培面积和地理分布, 本文对其抗逆性加以综述。

1 木麻黄的抗盐性

木麻黄天然生长于滨海盐土, pH值多在7.5～8.5之间, 这也是木麻黄生长的最适pH。盐土中除了含大量的Na^+、Cl^-外, 还含CO_3^{2-}、HCO_3^-、SO_4^{2-}、Ca^{2+}和Mg^{2+}等盐类, 表层土壤含盐量一般为1%～3%, 深层土壤含盐量更高, 在这种环境中木麻黄能够正常生长并完成生活史, 说明木麻黄具有较强的抗盐性。Greenway在1980年定义盐生植物为"能够在含有至少3.3 bar(相当于70 mmol·L^{-1}单价盐, 即0.4%含盐量)渗透压盐水的生境中生长的自然植物区系"(赵可夫和李法曾, 1999)。因此木麻黄应属于盐生植物。

对木麻黄抗盐性的研究始于1988年, Ansari将木麻黄幼苗在2%混合盐液(NaCl、$MgSO_4$、$NaHCO_3$、$CaCl_2$以50:25:13:12的比例混合)中栽培6个月, 叶绿素含量下降, 但仍能维持正常生长(冯泽幸等, 1996)。苏祖荣(1999)研究发现, 不同年龄的木麻黄抗盐性存在很大差异, 成年木麻黄的抗盐性(最大抗盐量为3.141%)远高于幼树(一年生木麻黄最大抗盐量为0.767%)。Tomar等(2003)对木麻黄进行连续3年灌溉盐水(每年4～6次, 电导率EC为8.5～10 $dS·m^{-1}$)成活率达73%。另据杨涛等(2003a)报道, 在施盐量为5 $gNaCl·kg^{-1}$的土壤中, 木麻黄的生长状况比对照(不施盐土壤)好; 土壤施盐量在5～15 $gNaCl·kg^{-1}$之间时, 与对照基本一致。本文作者认为5 $gNaCl·kg^{-1}$对木麻黄来说是最适盐胁迫浓度, 同其他植物一样, 当受到适度盐胁迫时木麻黄表现出超补偿现象, 因此生长状况更好; 当超过最适盐胁迫时, 非盐生植物的生长会受到不同程度的抑制, 并且随着盐浓度的增加抑制作用加重, 而木麻黄却能正常生长, 说明其抗盐能力强。作为外植体, 木麻黄同样表现出抗盐性。向培养基加入不同浓度的NaCl, 在一定范围内, 均能诱导出愈伤组织, 且NaCl的浓度对愈伤组织的诱导率、大小、出芽率影响不大(刘英等, 2003)。

木麻黄的抗盐性首先表现在拒盐。杨涛等(2003b)研究发现, 木麻黄根和小枝中Na^+的含量都随着外施盐浓度的增加而升高, 但小枝中的含量远低于根, 说明从土壤中吸收的Na^+大部分滞留在根中。其次是泌盐。木麻黄的叶片具有盐腺, 能将体内多余盐分分泌到叶片表面被雨水冲刷掉。三是耐盐。盐胁迫能促进木麻黄根部对营养元素的吸收。实验证明, 一定范围内, 随着Na^+浓度的增加, 木麻黄根部吸收P和K^+的能力也随之提高(杨涛等, 2003a)。K^+既是维持酶活性的重要金属离子, 又是渗透调节的主要无机离子。对甜土植物来说, 在Na^+/K^+高的情况下, Na^+抑制K^+的吸收。而木麻黄却能在高浓度Na^+介质中加大对K^+的吸收, 不仅能提高根部的渗透势, 维持酶的活性, 还能抑制对Na^+的吸收, 一定程度上缓解了盐害。P是植物生长的必需元素, 更是固氮植物的限制因子, 适量的P能够促进次生根瘤的形成(Michelsen and Rosendahl, 1990), 因此增加对P的吸收能够促进木麻黄在盐胁迫下的生长。康丽华和仲崇禄(1999)也

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t25-003

证实了盐胁迫下木麻黄根部P含量明显增加。木麻黄不仅能抗盐, 还能降低土壤的含盐量和pH值, 因此对盐碱地改良具有积极作用。

木麻黄对盐胁迫的耐受是有限度的, 不同种源的木麻黄抗盐性差异显著(叶功富等, 1995), 因此在引种时要根据当地土壤的含盐量选择适宜的栽培品种。

关于木麻黄抗盐性研究, 目前仍停留在细胞和生理水平, 分子水平上的研究很少, 例如根部如何接受并传导盐胁迫信号、这些信号如何启动有关基因、基因表达又如何调控着耐盐生理生化反应等等还有待于深入研究。

2 木麻黄的抗风能力

台风是沿海地区的主要自然灾害。建国后营造的大面积木麻黄防风固沙林、农田防护林和片林对防御沿海自然灾害、改善生态环境发挥了巨大作用。试验表明, 滨海木麻黄防护林基干林带具有明显的防风作用, 在林带背风面1～20信树高处, 水平风速可降低60%～70% (罗美娟, 2002)。台湾西部农田中的木麻黄防护林可抵抗季风对作物的侵害, 林带背风面5倍树高处的风速平均减退65.7%, 15倍树高处减弱44.7%(叶功富等, 1997)。林武星(1999)对赤山林场基干林受台风危害情况调查发现, 在木麻黄基干林保护下的柠檬桉(*Eucalyptus citriodora*)风害率为15.4%, 而在防护林带有效防护距离之外的风害率则为71.4%, 说明木麻黄作为基干林其阻风效果明显。与尾叶桉(*Eucalyptus urophylla*)、巨尾桉(*Eucalyptus gmndis*×*Eucalyptus urophylla*)、细叶桉(*Eucalyptus terticomise*)、刚果12号桉(*Eucalyptus 12ABL*)、马占相思(*Acacia nungium*)和厚荚相思(*Acacia cmssicarpa*)相比, 木麻黄木材基本密度最大(600 kg·m^{-2}), 抗风性也最强(方发之, 2002)。而与椰子(*Cocos nucifera*)、大叶椰子(*Orbignya cohune*)、柠檬桉(*Eucalyptus citriodora*)、台湾相思(*Acacia confusa*)和麻楝(*Chukrasia tabularis*)等相比, 木麻黄抗风指数较小(陈士银等, 1999)。虽然木麻黄的抗风性不是最强, 但由于它具有较高的耐盐能力, 所以一直被用作沿海防护林的基干林树种。研究还发现, 不同年龄木麻黄林分的防护效果与其生长状况密切相关。在木麻黄处于生长阶段的前30年, 树冠较密, 枝条柔软性好, 抗风力强, 林分的防风效能和抗台风能力随年龄增大而增大; 30年后林木生长逐渐减弱; 到35年时, 生长基本停止, 林木衰老, 部分树木开始心腐, 抵抗台风的能力下降, 防护效能也随之衰退, 因此, 木麻黄林更新年龄以30年为宜(林武星, 2000)。早期所构建的木麻黄防护林多为纯林, 林分结构较为简单, 林带树种单一, 不利于林带的稳定性和多样性, 导致病虫害频繁发生、立地肥力下降、生态环境恶化。除应及时更新外, 营造木麻黄混交林已成为目前沿海营造防护林的主要措施。现已证明, 木麻黄混交林的防风固沙效能和改善土壤肥力方面均优于木麻黄纯林(苏宝川, 2004)。

滨海环境和气候使木麻黄获得了较强的抗风能力。首先, 木麻黄具有发达的根系, 且分布深广, 将木麻黄牢牢地固定在土壤中, 不至于被风连根拔起。第二, 退化的鳞状叶使木麻黄的叶面积系数大大降低, 因此抗风性增强; 小枝具有多节, 即使被风折断, 也不会对整株造成大的伤害; 树冠较小而且均匀, 透风性良好。第三, 木麻黄具有轮生枝条, 多分枝, 枝条细, 柔韧性能好, 能够让风从空隙滑过而不被折断。第四, 木麻黄还能通过增加小枝中的脯氨酸含量来抵抗海风中盐分对其构成的胁迫(冯泽幸等, 1996)。

3 木麻黄的耐贫瘠特性

木麻黄是典型的共生营养型树种, 既能固氮, 又能形成菌根, 对贫瘠土壤的适应能力很强, 因此常被作为土壤贫瘠地区特殊立地条件

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t25-003

的造林先锋树种和土壤改良树种。

固氮是多数木麻黄科植物的共有属性。木麻黄的根与土壤中的 *Frankia* 菌共生形成根瘤, 不仅能固氮供自身生长需要, 还能够提高土壤肥力。据统计, 每株木麻黄根瘤总含氮量为37.50～67.49 g, 按常规造林每公顷2 505株计算, 每公顷木麻黄根瘤总含氮量为93.938～169.162 kg(康丽华和仲崇禄, 1999)。当根瘤脱落残留在土壤中时, 能够提高土壤肥力, 这对于沿海地区贫瘠土壤的改良和地力恢复具有重要意义。康丽华(1997)进一步研究表明, *Frankia* 菌对木麻黄的侵染能力很强, 属内交叉侵染的结瘤率高达100%, 并且侵染能力与宿主的地理种源无关。李志真等(2003)还发现, *Frankia*菌不仅在属间能够相互侵染, 而且还能侵染四川桤木(*Alnus cremastogyne*)、杨梅(*Myrica rubra*)和沙枣(*Elaeagnus angustifolia*)等植物, 说明侵染木麻黄的 *Frankia* 菌具有较强的适应宿主的能力。在滨海沙土中, *Frankia*菌主要分布在5～30 cm土层深处, 无论接种点的位置如何, 经6个月稳定后, *Frankia*菌主要分布于土层下8～30 cm处(林建群和张忠泽, 1996)。环境因子能够影响 *Frankia* 菌在土壤中的分布。当土壤湿度较大时, 根瘤主要分布在近地表处, 当土壤干燥时, 根瘤的形成部位就相应地向下移。*Frankia* 菌的侵染还与土壤的 pH 值有关, pH值6～8最适合根瘤的形成和生长, 所以对酸性土壤来说, 加入适量的草木灰或石灰, 能够促进根瘤的形成(潘一峰等, 1997)。水分对根瘤的形成至关重要。在保水剂处理的木麻黄根部接种 *Frankia* 菌 56～140 天后, 每株的根瘤数和瘤干重均比对照(未用保水剂处理)至少高出2～3倍(Steven *et al*., 1999), 说明保水剂既能提高结瘤数量, 又能促进根瘤生长。

目前, 关于木麻黄与*Frankia*菌共生的研究尚处于宏观水平, 分子生物学研究刚刚起步, 而且多集中在粗枝木麻黄。Dionf等(1995)在粗枝木麻黄上获得了转基因根瘤, 这些根瘤具有固氮酶的活性和非转基因根瘤的形态。1996年粗枝木麻黄根瘤cDNA文库的建立, 为探究木麻黄科植物固氮分子机理提供了重要素材。法国的 Rouvier 等(1996)对 *Frankia* 菌株进行了初始信号物质的研究, 发现这些菌的信号物质是伴随着寄主植物的类黄酮的产生而产生的。澳大利亚的 Andersson 等(1996)研究发现, 木麻黄属植物根瘤血红蛋白序列与大豆的一个新血红蛋白基因所推测出的蛋白序列相似性为85%～87%。Trevaskis等(1997)认为该属共生血红蛋白基因在序列上与拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)的一个非共生血红蛋白基因相关。只有 Maggia等(1993)针对普通木麻黄做了深入研究, 他们分离出 46 个木麻黄 *Frankia* 菌株并对其进行酯酶多样性研究, 发现虽然这些菌株同属于一个基因组, 但是具有多相性。

菌根的形成是植物耐贫瘠的又一结构特征。实验证明, 对木麻黄幼苗接种 10 种不同的内生菌根菌(vesicular arbuscular mycorrhizal,VAM),都能促进植株生长, 具体表现在生物量、茎粗和含 P 量等指标均高于对照(未接种 VAM)(Vasanthakrishna *et al*., 1995)。内生菌根菌可耐较宽范的 pH 值, 在4.50～8.70范围内, 其侵染率为57.2%～93.3%(仲崇禄等, 1998)。

木麻黄是一种比较特殊的共生植物, 既能形成外生菌根, 又能形成内生菌根。对木麻黄无性系水培苗接种外生和内生菌根菌, 能明显地促进苗高生长(张勇等, 2003)。此外, 内生菌根菌还能促进根对磷的吸收, 有利于木麻黄的生长和根瘤的形成。

4 木麻黄的抗涝性

木麻黄天然生长于热带和亚热带地区, 充沛的年降水量使其无法逃脱淹水胁迫, 这种环境使其具有一定抗涝性。Osundina(1998)研

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t25-003

究发现, 浸在水中的木麻黄茎部的皮孔孔径增大, 水面以上的不定根数量增多, 这种结构变化在一定程度上缓解了淹水时的缺氧状况。接种内生菌根菌后, 这种变化更加突出, 皮孔孔径进一步增大, 不定根数量明显增多, 促使木麻黄在淹水情况下尽可能地获得氧气, 由此引发的相关变化主要集中在: 根部形成更多的根瘤, 体内无氧代谢的终产物乙醇含量降低, 对有害离子锰和铁的吸收减少, 对氮和磷吸收增加。由此可见, 木麻黄具有一定的抗淹水能力, 菌根菌的存在能进一步提高其抗涝性。

5 木麻黄的抗干旱能力

我国东南沿海年降水量在750～3 000 mm之间, 由北向南逐渐增加, 雨量充沛, 基本不会发生持续干旱。但木麻黄林地土壤通透性好、保蓄性差, 经常会受到短时间干旱。因此木麻黄具有一定的抗旱能力。首先, 木麻黄具有鳞状叶片和能够进行光合作用的小枝, 退化的叶片大大降低了地上部分的蒸腾面积, 同时也减少了光合面积, 绿色小枝可以弥补叶片光合作用的不足; 其次, 木麻黄叶状枝上的气孔凹陷于沟槽内, 表现出典型的旱生植物结构形态; 第三, 木麻黄的根系较发达, 能充分利用盐水, 从高Na^+环境大量吸收K^+, 降低细胞水势, 促进根吸水。

在干旱胁迫下, 木麻黄某些生理指标也发生了变化。陈洪(2000)对木麻黄无性系苗木进行干旱胁迫, 发现当苗木受中度水分胁迫时, 叶绿素含量升高, 继续干旱达到重度胁迫时, 叶绿素含量下降约20%, 此时木麻黄仍能进行光合作用维持正常生长, 其原因解释为中度水分胁迫使体内水分减少, 导致叶绿素相对浓缩。本文作者认为, 除上述理由外, 主要原因是中度水分胁迫对木麻黄造成适度伤害, 从而启动植物的超补偿机制, 加快体内的叶绿素合成, 增加光合作用以补偿逆境的对植物的伤害(陈彦等, 2000) 。干旱胁迫除了导致叶绿素降低外, 还可以影响某些光合酶的活性和PSⅡ量子效率。长时间干旱胁迫使依赖于NADP的苹果酸脱氢酶活性升高、基质中F-1,6-2P磷酸化酶活性降低、但核酮糖-1,5-2P羧化酶/氧化酶活性不变、PSⅡ的电子传递量减少(Rodriguez *et al*., 1997)。Carrasco等(2002)认为电子传递量减少的原因是PSⅡ活性中心光化学效率降低和非光化学猝灭系数增大,说明PSⅡ处于较高的还原状态而不是关闭, 并且这种变化随光周期的不同而不同。陈洪(2000)研究还发现, 无论是中度水分胁迫还是重度胁迫, 一方面, 脯氨酸含量呈升高趋势, 说明木麻黄能够通过积累脯氨酸抵抗干旱; 另一方面, SOD和CAT活性呈下降趋势, $O_2^{\cdot-}$ (超氧物阴离子自由基)产生速率和MDA含量也随着胁迫的加重而增加, 因此, 干旱主要导致膜的氧化损伤, 与叶功富等(1999)的结论一致。而叶冰莹等(2000)和陈由强等(2000)研究表明, 干旱胁迫下木麻黄SOD、POD、CAT活性呈现先升后降的趋势, 说明保护酶在一定程度上能够缓解活性氧对细胞膜的氧化。

木麻黄可耐受短时间的干旱, 持续干旱也会导致其死亡。在印度西北部年降水量只有350 mm的半干旱地区, 连续5年每年只浇1次水, 到第5年时木麻黄成活率只有6%(Tomar *et al*., 2003)。因此, 通过转基因技术提高木麻黄的耐旱性将是扩大其分布范围的手段之一。

6 木麻黄的抗寒性

木麻黄原产热带, 适合生长的年均温为16.3～24.0 ℃。福建沿海最初引种木麻黄时, 气温降到5 ℃以下就会出现冷害甚至冻害。为了提高其抗寒性, 人们采用了就近引种循序渐进、驯化杂交优势种、盐碱地露地育苗和适当混交等技术, 使木麻黄的最低耐受温度下降到–3～–7.2℃, 甚至–8.1℃ (张云生和陆文妹, 2002)。随着抗低温能力的增强, 木麻黄栽培地也沿着东海岸线由最初引种的泉州逐渐

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t25-003

北移至浙江的舟山群岛, 而仅与舟山群岛一水之隔、纬度相同的宁波市, 木麻黄或多或少地受到冻害, 至今仍不能大面积引种。由此可见, 温度是木麻黄扩大分布范围的主要制约因素。

总之, 木麻黄在防风固沙、抗御海潮和风暴潮、改善沿海生态环境、提供用材等方面发挥了巨大的作用。如果能通过转基因技术提高其抗寒性和抗旱性, 木麻黄的分布将能向北、向内陆地区扩展, 这对于我国大面积盐碱地改良具有重大意义。

参 考 文 献

陈洪 (2000) 木麻黄抗旱生理生化部分特性的研究. 福建农业学报, **15:** 48-54

陈士银, 杨新华, 杜盛珍 (1999) 庭园绿化树种抗风性能的调查与分析. 防护林科技, **41(4):** 32-35

陈彦, 朱奇, 张永忠 (2000) 植物超补偿作用的研究进展. 自然杂志, **22(2):** 88-91

陈由强, 叶冰莹, 朱锦懋, 代荣春, 林荣华 (2000) 水分胁迫对木麻黄(*Casuarina* sp.)小枝活性氧伤害的定量分析. 生命科学研究, **14:** 343-350

方发之 (2002) 海南短周期工业用材树种造林对比试验研究. 热带林业, **30(4):** 32-34

冯泽幸, 陈洪, 潘惠忠, 徐俊森 (1996) 模拟海风对木麻黄等苗木抗性影响及游离脯氨酸含量的研究. 农业科技通讯, **(7):** 19-22

康丽华 (1997) 木麻黄根瘤内生菌——弗兰克氏菌侵染特性的研究. 林业科学研究, **10:** 233-236

康丽华, 仲崇禄 (1999) 华南地区木麻黄人工林根瘤生态分布特性的研究. 土壤与环境, **8:** 212-215

李志真, 谢一青, 王志洁, 杨宗武, 陈启锋 (2003) 木麻黄根瘤内生菌生物学特性研究. 林业科学, **39(1):** 139-147

林建群, 张忠泽 (1996) Frankia 菌在非豆科放线结瘤植物根际内的存活和分布. 应用生态学报, **7:** 391-395

林武星 (1999) 台风对闽南沿海主要造林树种及农作物的影响. 防护林科技, **39(2):** 16-18

林武星 (2000) 闽南海岸带不同结构木麻黄林分防风效果研究. 林业科技通讯, **(4):** 27-28

刘强, 张亚辉 (2002) 海口地区木麻黄林根瘤调查及影响结瘤的因子探讨. 林业科学, **38(5):** 175-170

刘英, 仲崇禄, 白嘉丽, 张勇, 陈建新 (2003) 不同盐浓度对木麻黄无性系愈伤组织的影响. 广东林业科技, **19(2):** 47-50

罗美娟 (2002) 沿海木麻黄防护林生态作用研究进展. 防护林科技, **52(3):** 46-48

潘一峰, 刘文明, 曹月华 (1997) 砖红壤上木麻黄接种 Frankia 菌的研究. 热带亚热带土壤科学, **6:** 203-205

苏宝川 (2004) 沙质海岸木麻黄混交林防护效能和改土效果研究. 防护林科技, **62(5):** 6-8

苏祖荣 (1999) 木麻黄抗盐能力及降盐技术试验研究. 防护林科技, **38(1):** 15-17

沈义国, 陈受宜 (2001) 植物盐胁迫应答的分子机制. 遗传, **23:** 365-369

杨涛, 严重玲, 梁杰, 李浴红, 汤惠华 (2003a) 盐胁迫下木麻黄幼树营养元素的分配规律. 亚热带植物科学, **32(3):** 1-4

杨涛, 严重玲, 梁杰, 李浴红, 汤惠华 (2003b) 盐胁迫下木麻黄幼苗 Na^+、Cl^- 的累积及其抗盐能力评价. 福建农业学报, **18:** 155-159

叶冰莹, 陈由强, 朱锦懋, 王丽雅 (2000) 水分胁迫对三种木麻黄小枝活性氧伤害的研究. 福建师范大学学报(自然科学版), **16(1):** 76-79

叶功富, 冯泽幸, 潘惠忠, 邱进清 (1995) 木麻黄国际种源苗期生长及抗盐性试验. 福建林学院学报, **15:** 301-306

叶功富, 黄宝龙, 张水松, 徐俊森, 陈洪, 冯泽幸 (1997) 木麻黄栽培生理生态学研究进展. 防护林科技, **30 (1):** 31-35

叶功富, 陈如凯, 张水松, 张木清, 陈洪, 林光, 林武星, (1999) 水分胁迫对木麻黄细胞膜稳定性和细胞保护酶影响的研究. 福建林业科技, **26(增刊):** 6-8

张勇, 陈羽, 仲崇禄, 陈珍, 方发之, 蔡兴旺, 云惟炳 (2003) 菌根菌对木麻黄无性系苗生长的影响. 热带林业, **31(4):** 21-23

张云生, 陆文妹 (2002) 木麻黄北移引种驯化技术. 林业实用技术, **(7):** 25

赵可夫, 李法曾 (1999) 中国盐生植物. 科学出版社,

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t25-003

北京, pp. 11-11

仲崇禄, **弓钦明**, **康丽华** (1998) **土壤元素与木麻黄生长和** VA **菌根菌侵染率的关系**. **林业科学研究**, **11:** 135-141

仲崇禄, **张勇** (2003) **我国木麻黄的引种培育和经营**. **林业科技开发**, **17(2):** 3-5

Andersson CR, Jensen EO, Llewellyn DJ (1996) A new hemoglobin gene from soybean:a role for hemoglobin in all plants.*Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, **93:** 5682-5687

Dionf D, Gherbi H, Prin Y (1995) Hairy root nodulation of *Casuarina glauca*: a system for the study of symbiotic gene expression in an actin or hizal tree. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, **8:** 532-537

Maggia L, Prin Y, Picard B (1993) Esterase diversity among 46 Frankia strains isolated from *Casuarina equisetifolia* in West Africa. *Canadian Journal of Microbiology*, **39:** 709-714

Martinez-Carrasco R, Sanchez-Rodriguez J, Pérez P (2002) Changes in chlorophyll fluorescence during the course of photoperiod and in response to drought in *Casuarina equisetifolia* Forst. & Forst. *Photosynthetica*, **40:** 363-368

Michelsen A, Rosendahl S (1990) The effect of VA mycorrhizal fungi, phosphorus and drought stress on the growth of *Acacia nilotica* and *Leucana leucocephalia* seedlings. *Plant and Soil*, **124:** 7-13

Osundina MA (1998) Nodulation and growth of mycorrhizal *Casuarina equisetifolia* J.R. and G.First in response to flooding. *Biology and Fertility of Soils*, **26:** 95-99

Rouvier C, Schwencke J, Prin Y (1996) Biology and genetic diversity of Frankia strains associated to Casuarinaceae. *Acta Botanica Gallica*, **143:** 567-580

Sanchez-Rodriguez J, Martinez-Carrasco R, Pérez P (1997) Photosynthetic electron transport and carbon-reduction-cycle enzyme activitie under long-term drought stress in *Casuarina equisetifolia* Forst. **&** Forst.. *Photosynthesis Research*, **52:** 255-262

Steven JK, Dwight DB, Douglas AK, Jeffrey OD (1999) Water-retentive polymers increase nodulation of actinorhizal plants inoculated with Frankia. *Plant and Soil*, **214:** 105-115

Tomar OS, Minhas PS, Sharma VK, Singh YP, Gupta RK (2003) Performance of 31 tree species and soil conditions in a plantation established with saline irrigation. *Forest Ecology and Management*, **177:** 333-346

Trevaskis B, Watts RA, Andersson CR (1997) Two hemoglobin genes in *Arabidopsis thaliana*: the evolutionary origins of hemoglobins. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, **94:** 12230-12234

Vasanthakrishna M, Bagyaraj JD, Nirmalnath JP (1995) Selection of efficient VA mycorrhizal fungi for *Casuarina equisetifolia*-second screening. *New Forests(Historical Archive)*, **9:** 157-162

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t25-003