

雷春英,王 雷,吉小敏,等. 国家二级珍稀濒危植物盐桦研究进展[J]. 江苏农业科学,2019,47(24):16-19.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.24.004

国家二级珍稀濒危植物盐桦研究进展

雷春英^{1,2}, 王 雷³, 吉小敏^{1,2}, 姜 黎³

(1. 新疆林科院造林治沙研究所,新疆乌鲁木齐 830063; 2. 新疆精河荒漠生态系统国家定位观测研究站,新疆精河 833300;
3. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室,新疆乌鲁木齐 830011)

摘要:盐桦(*Belula halophila*)属桦木科桦木属植物,主要分布新疆北部地区,被视为国家二级珍稀濒危植物。当前文献报道了盐桦自然种群数量低于 60 株,该种群处于濒危状态,属于极小种群。盐桦因其独特的地理分布和耐盐特征明显区别于桦木科其他植物,具有重要的植物系统学与区系地理学研究和经济开发价值。当前国内外有关盐桦研究报道较为匮乏,为呼吁、关注和及时拯救这一濒危植物,从生物学特征、盐分影响盐桦生理与分子水平上的变化等方面,阐述了盐桦植物适应盐碱环境的机制;因盐桦在生物多样性中的重要地位,分析了盐桦濒危原因与机制,提出以迁地保育为主、以就地保育为辅的盐桦拯救对策;重点综述了在盐桦各种繁殖技术,包括种子繁殖特性和组培育苗繁殖等,提出盐桦应用与开发措施技术,并针对可深入研究的问题和方向提出了展望。

关键词:濒危植物;盐生植物;盐桦;保育;开发;研究进展

中图分类号:S184 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)24-0016-04

1 盐桦研究现状

盐桦(*Betula halophila*)为桦木科桦木属植物,是一种罕见的木本盐生植物。1956 年 9 月 1 日,由我国著名植物分类学家秦仁昌教授,在新疆阿勒泰县的巴里巴盖野外考察时,发现了桦木属中的一新种,该植物的生境特征土壤含盐度极高,其生物形态特征,特别是果苞的性状,与新疆分布的其他几种桦木属植物有明显的区别,根据其生境为盐沼泽,故把这种植物定名为盐桦(*Belula halophila*)。后有研究表明盐桦克隆苗具有很高的耐盐性,其耐盐阈值可达 1.8% 含盐量;并对比分类上与盐桦极为相似的小叶桦的抗盐性研究,小叶桦的耐盐阈值仅在约 0.5% 含盐量,盐桦耐盐性显著高于小叶桦^[1],采用高通量测序技术分析盐桦叶绿体基因组测序,并与其近缘种进行对比,结果表明,盐桦与亲缘关系最近欧洲矮桦也有区别^[2]。

1999 年新疆林业科学院科研人员曾到盐桦生境中引种保育,盐桦数量约为 100 株,仅仅 3 年后,再次调查,发现其数量仅有 26 株,分布区面积不足 100 m²^[3]。因种群数量小,处于极度濒危状态,急需抢救,1999 年被列为国家重点保护野生植物(二级)^[4]。因此,对盐桦进行研究保护具有重要意义,充分开发与利用这笔宝贵的财富,已是刻不容缓的国家重大课题。在这种情况下,更应该加强濒危盐桦资源的保护与栽培技术的研究,使资源植物长期可持续利用。然而直到 21 世纪初,盐桦资源才引起了重视,并展开一些相关研究

工作^[5-10]。

盐桦(*Belula halophila*)属桦木科桦木属植物,仅存于我国新疆阿勒泰地区,后在新疆艾比湖地区存有。盐桦为多年生乔木,一般高 2~3 m,小枝被绒毛及腺点,叶长 2~4.5 cm,宽 2~4.5 cm,侧脉 4~5 对,先端渐尖或锐尖,叶基部近圆形至宽楔形,叶柄长 5~10 cm,果穗长 2~3 cm,果苞长 0.5~0.77 cm,侧裂片长圆形,向两侧伸展下弯;果翅为果宽的 2 倍。盐桦原分布区的气候环境特征:气候较干旱,光热丰富,降水稀少,土壤含盐量高;冬季十分寒冷,年平均降水量 180 mm,年平均蒸发量 1 900 mm,年平均温度为 4℃,极端最低温 -50℃,极端最高温 37.6℃,气象灾害种类繁多,如低温冻害、霜冻等^[11]。

2 盐桦适应盐碱环境的机制

盐桦为新疆特有的濒危种,仅存于新疆阿勒泰地区,是一种抗盐能力极强的盐生植物,研究表明 1 年生盐桦幼苗的耐盐阈值约为 1.8%,但其种子萌发时期耐盐阈值仅为 0.2%^[12]。盐渍环境下种子萌发是盐生植物生长的关键及敏感阶段,其萌发能力和耐盐能力往往影响着植物种群的分布范围。因此,当盐桦原生地的生态环境遭到破坏时,相对较低的种子耐盐阈值可能是最终导致其濒临灭绝的重要原因。

幼苗阶段则是植物抗逆性最脆弱的时期。盐分胁迫对植物的生理毒害可归结与渗透胁迫与离子胁迫的双重毒害。有研究表明 1 年生盐桦幼苗的耐盐阈值约为 1.8%,这是区别于其他桦木科植物的重要指标。研究不同含盐量的土壤对 1 年生盐桦幼苗生长生理的影响,与对照相比,1% 土壤含盐量使得叶绿素含量显著增加,但高于 1% 土壤含盐量使得叶绿素含量显著下降;相关抗性生理指标如相对电导率(Rc)、脯氨酸(Pro)含量、丙二醛(MDA)含量、可溶性糖(SS)含量均在土壤含盐量为 1.0%~1.8% 为上升趋势,但在土壤含盐量 1.8%~2.2% 为下降趋势,因此,盐桦幼苗在土壤含盐量为

收稿日期:2019-09-06

基金项目:新疆维吾尔自治区公益性科研院所基本科研业务费专项资金(编号:KY2019051、2016B01002-4)。

作者简介:雷春英(1979—),女,新疆巩留人,硕士,工程师,主要从事荒漠化防治研究。E-mail:ceibar@126.com。

通信作者:姜 黎,副研究员,主要从事植物生理生态研究。E-mail:jiangli1015@126.com。

1.8% 时能够正常生长,可推断盐桦幼苗的耐盐阈值约为 1.8%^[13-14]。

通常植物通过不同的耐盐机制来抗拒盐胁迫,主要包括生理生化机制和分子机制,而生理生化机制表现在渗透调节、膜脂调节和离子分布。盐胁迫对盐桦生理与解剖结构影响的研究结果表明,随着盐胁迫浓度的增大,脯氨酸(Pro)含量逐渐增加;叶片丙二醛(MDA)含量和过氧化氢酶(CAT)活性大小存在相关性,50~200 mmol/L 盐胁迫下,植物的 CAT 活性是递增的,200 mmol/L NaCl 处理时达到最高,同时叶片 MDA 含量在 50~200 mmol/L 盐处理时变化不明显;CAT 活性在 300 mmol/L NaCl 处理时突然降低,此时叶片 MDA 含量大;离子分布方面主要表现为:植物叶片和根的离子含量测定表明,在盐胁迫下 K^+/Na^+ 比值逐渐降低,叶片中 K^+ 含量始终高于 Na^+ 含量;石蜡切片和扫描电镜发现盐桦茎、叶中有晶体状物质存在,通过 X-ray 分析表明这种晶体含有 C、O、Ca 元素,相关的细胞成分化学实验进一步确定其晶体的成分。在盐桦中发现可能是草酸钙的晶体,推测与野生盐桦的生境有关,在盐桦生长的环境中,Ca 盐的含量远远超出了植物生长的需要,因而,植物进化出形成钙盐结晶的途径来降低 Ca^{2+} 在植物体内的含量^[13,15-16]。与盐桦耐盐的分子机制相关研究工作甚少,有研究表明了盐桦耐盐的分子机制,通过 *BhNHX* 的高度表达可以提高其耐盐性^[17]。

3 盐桦生物多样性的保护地位

盐桦为桦木科(Betulaceae)桦木属(*Betula*)植物,落叶小乔木,为新疆特有的濒危种^[18],盐桦属于国家二级珍稀濒危植物,列入《极小种群野生植物拯救保护工程规划(2011—2015)》名录^[19-20]。针对中国 50 种荒漠植物进行珍稀濒危程度的综合定量评价,通过分布区、分类学地位、生物学特性和利用价值 4 个指标进行评估其综合价值,结果表明盐桦珍稀濒危程度排名仅次于四合木(*Tetraena mongolica*),为第 2 位^[4]。

4 濒危原因与机制

盐桦生长速度缓慢、自身繁殖能力差、种子的耐盐阈值较低,受气候变化和过度人为干扰较大,天然更新十分困难,因此,盐桦保护面临严峻的考验,已将盐桦列为珍稀濒危植物。了解和掌握濒危植物的濒危机制与原因被视为研究濒危植物资源保护的前提。导致盐桦濒危的原因包括 3 个主要因素:首先,该物种生长缓慢、种群小,种子萌发时期抗逆性差;其次,是盐桦应对急剧环境变化的能力差;再次,当前人类过度破坏其生境使盐桦的有效群体下降,导致野生盐桦群体内近交概率增加和近交衰退,最终使其适用性和生活力下降。前两者归结于盐桦自身内在因素,后者主要体现的是外在因素,如气候变化和人类活动过度干扰,最终致使盐桦成为濒危植物。要探索盐桦生境中的生态环境因子(如光照、水分、盐分等),以便选择合理的甚至创造适宜的生境,实现更有效的保护;同时加强探讨盐桦繁殖、栽培、资源保存及病虫害防治的新方法;特别调查其详细的生态因子变化,分析与生态因子相对应的种群结构和种群动态变化;开展盐桦种子萌发生物学研究,分析其种子萌发过程抗逆性提高的措施;开展盐桦生殖

生物学研究,分析其生殖过程各环节中是否存在生殖障碍;开展盐桦遗传多样性分析,分析其遗传结构;开展盐桦分子系统地理学研究,重现其进化历史,揭示其进化潜能。因此,从种群-个体-分子水平上,综合分析其致濒原因,揭示盐桦濒危机制,为后续资源保护和合理开发研究奠定理论基础和提供技术支持。

5 盐桦保育对策与繁殖技术

盐桦 1984 年被列为国家二级珍稀濒危植物,15 年后又被列为国家二级重点保护野生植物。盐桦为新疆特有的濒危种,野生数量极少,目前我国盐桦自然种群数量低于 60 株,该种群处于濒危状态,属于极小种群^[3]。由于整个生态环境日趋恶化和人为过度砍伐利用,盐桦资源遭受了相当程度的破坏,其资源量急剧减少,因此,如何保护濒危植物盐桦资源是当务之急。可以通过以下几方面来解决这一问题,实现盐桦保护与开发利用并举。

5.1 盐桦资源的保育对策与技术研究

5.1.1 加强就地保护和迁地保护 保护珍稀濒危植物是一项长期的、具有战略意义的工作,应加大投入,常抓不懈。一方面、要加强对野生盐桦资源的地保护研究,努力提高野生盐桦资源管理保护与生态恢复技术,促进其可持续利用能力,主要通过建立自然保护区,对野生盐桦资源进行就地保护,加强管理措施,对该树种分布集中的区域进行重点专类保护;重视规划,在保护区的旅游路线、服务设施等的建设中,提前做好规划,避免对自然生境的破坏;加强抚育管理,改善该树种的群落结构,增强其自然更新能力^[21];另一方面、重点加强对野生盐桦资源的迁地保护研究,开展盐桦种源繁殖与生产技术研究,建立盐桦繁种基地,发挥迁地保护在保护珍稀树种过程中的重要作用;迁地保护的主要方法包括活体栽培、种子库、离体保存和 DNA 库等,有计划地建设盐桦驯化、繁育基地,如张毓涛等对盐桦进行迁地保护和组培试验就取得了较好的效果^[22]。因此,当前盐桦保育对策应该以迁地保育为主、以就地保育为辅。

5.1.2 引种驯化与新品种培育研究 加强对盐桦的引种驯化与新品种培育研究,广泛收集不同类型野生盐桦资源,并进行整理、鉴定、编目和原生境与异生境(入圃)保存;可通过芽接、枝插、埋根和根蘖等无性繁殖技术选育新品种,既可保留原品种适应性广和抗逆性强的特点,又具有稳定性、一致性及生长势良好等特点^[23]。

5.1.3 加强科普宣传、提供保护意识 通过博物馆、电视、广播、媒体等方式,教育广大群众尤其是盐桦树分布区内的居民,提高对具有重要意义的盐桦物源的保护认识。同时要让群众了解相关法律法规,认识到破坏盐桦资源的法律后果。有必要在林场、公园、药用植物园甚至校园等公共场所引种栽植珍稀濒危植物盐桦,并利用这些园地,挂牌介绍展览,宣传教育公众参与物种的保护工作。

5.2 盐桦人工繁殖与引种技术研究

盐桦为湿地的指示灌木,由于种源稀少,扦插成活率低,不能大量育苗,因此,运用组培技术进行快繁育苗,对于保护、扩繁和进一步研究盐桦这一濒危物种具有重要意义。目前盐桦组织培养方面的研究主要以茎段为外植体,但盐桦当年生

枝条上密布许多短而密的白色柔毛及黄色的树脂腺体,常规消毒灭菌方法很难获得无菌材料。盐桦繁殖方式主要包括有性繁殖和无性繁殖,其中无性繁殖可分为:丛生芽生根培养和组培育苗繁殖,一些相关研究工作如表 1 所示^[24-31],因此,可通过这些繁殖方式实现其资源不断更新和扩大。

表 1 盐桦繁殖研究技术要点

研究目的	结果与结论	贡献	文献
探讨激素对种子萌发、试管苗增殖及植株再生的影响	最适培养方法为 GA(2.0mg/L)溶液浸泡盐桦种子 12 h 再转至 MS ₀ 培养基培养,增殖最适培养基:MS + 6 - BA 1.0 mg/L + IBA 0.2 mg/L;生根最适培养基:1/2MS + IBA 0.3 mg/L	建立了一套盐桦离体培养技术体系	[24]
探讨培养基配比、植物生长调节剂浓度、蔗糖量等对诱导盐桦丛生芽生根的影响	对生根率和生根系数的影响因素依次为生长素浓度 > 培养基配比 > 蔗糖量;而对于平均根长的影响大小依次为培养基配比 > 生长素浓度 > 蔗糖量;最佳生根培养基为 1/2MS + NAA 0.10 mg/L + 蔗糖 30 g/L,最有利于无菌苗移栽存活的基质类型为腐殖质土:珍珠岩 = 1 : 1	探明根生长的影响因素,获得组建生根培养基和无菌苗移栽存活的基质类型	[25]
探讨盐桦无菌材料的最适灭菌方法和移栽定植成活的关键技术要点	采用半无菌水表面灭菌 + 75% 乙醇 30 s + 0.1% HgCl ₂ 7 ~ 10 min 处理效果最好,污染率为 13.3%;盐桦组培试管苗移栽定植中,以 4 月中旬至 5 月中旬成活率较高,平均成活率在 95% 以上	获得最适灭菌方法和组培试管苗移栽定植成活的适宜方法	[26]
探讨新疆濒危植物盐桦离体组织培养的特性	诱导芽增殖的最佳外植体是带芽嫩茎,增殖、壮苗最适培养基为:MS + 6 - BA 1.0 mg/L + IBA 0.5 mg/L;外植体生根最适培养基为:1/2MS + IBA 0.5 mg/L + 蔗糖 30 g/L + 琼脂 7% + 暗光处理 3 d	获得适宜芽增殖和生根的最佳培养条件,为扩繁和保存资源奠定基础	[27]
探讨培养基种类、植物生长调节剂及其不同浓度配比、蔗糖量、光照对诱导盐桦生根的影响	诱导盐桦平均根长、生根系数、生根率的优化培养基分别为:MS + NAA 0.2 mg/L + 蔗糖 10 g/L + 琼脂 7%、1/2MS + IBA 0.5 mg/L + 蔗糖 30 g/L + 琼脂 7% + 暗光处理 3 d、MS + IAA 0.2 mg/L + 蔗糖 30 g/L + 琼脂 7%。最佳生根培养基:1/2MS + IBA 0.5 mg/L + 蔗糖 30 g/L + 琼脂 7% + 暗光处理 3 d	探明生长素及与培养基互作对生根系数显著影响,培养基、生长素及其互作仅对平均根长显著,且对生根率均影响不显著	[28]
探索盐桦愈伤组织的最适外植体和最适培养基	盐桦愈伤组织高效诱导和不定芽分化的最适外植体为茎段;高效诱导愈伤组织和增殖、诱导愈伤组织分化抽枝的最适培养基分别为:LS + 6 - BA 0.5 mg/L + NAA 0.4 mg/L、LS + 6 - BA 0.5 mg/L + NAA 0.02 mg/L	获得诱导盐桦愈伤组织的最适外植体和最适培养基	[29]
探索盐桦带芽茎段为外植体诱导丛生芽及再生过程	最佳分化增殖培养基:MS + 6 - BA 0.5 mg/L + NAA mg/L + 蔗糖 3.0% + 琼脂 0.6%;最佳生根培养基:1/2MS + IBA 0.3 mg/L + 蔗糖 0.15% + 琼脂 0.6%	获得最佳分化增殖培养基和佳生根培养基	[30]
对盐桦组织培养培养基进行了研究	茎尖最佳培养基:WPM + 2, 4 - D 0.15 mg/L、诱导芽最佳培养基:WPM + 6 - BA 0.10 mg/L,生根最佳培养基:1/2MS + IBA 0.10 mg/L	获得茎尖、生根和诱导芽的最佳培养基	[31]

6 盐桦应用与开发措施和前景

盐桦为我国特有,具有很大应用价值,可应用于园林中培育新品种,不仅增加了城市园林绿地系统的植物物种多样性,提高生态效益和观赏效益,而且对其迁地保存,以及普及植物学知识,提高人们的环保意识等方面,都有重要意义。

6.1 科学价值

盐桦仅存于我国新疆阿勒泰地区,为新疆特有的濒危种,现已很难见到,一旦灭绝,将在我国乃至世界植物名录上永远消失。近年来根据形态学、生理学和分子生物学证据,很多研究者认为盐桦是较为独特的桦树科植物;盐桦因其独特的地理分布和耐盐特征明显区别于桦木科其他植物,具有重要的植物系统学与区系地理学研究和经济开发价值^[32]。因此,有必要对盐桦这一盐生乔木植物进行谱系地理学研究,不但可以揭示桦木属植物的迁移和进化历史,而且对于了解干旱区植物多样性和特有性的形成机制都有十分重要的意义。

6.2 生态价值

盐桦具有极强的耐盐能力,对促进干旱、半干旱地区盐碱地造林、盐碱地绿化等^[33]具有很高的生态和经济价值。盐桦树干耸直,树形卵圆形,嫩叶苍翠欲滴,叶片疏密得当,果序悬垂,如一串铃铛随风飘荡,甚为美观,具有很高的观赏价值,适合用于庭院绿化和行道树。有一定耐阴能力,可构建地带性

人工植物群落,又可在城市生态公益林与其他阔叶树种混交种植。鉴于盐桦为国家二级保护植物,具有科研和教育意义的内涵,在校园绿化和公园栽植尤为适宜。因此,盐桦可望成为新疆盐碱地、内陆盐碱荒地和海岸盐碱滩涂造林和绿化的优良树种。

7 展望

7.1 盐桦——一种新型耐盐木本模式植物

植物通常有以下 2 种机制适应盐胁迫:一是将 Na⁺ 排出质膜;二是将 Na⁺ 隔离在细胞内大叶,植物可以通过 Na⁺/H⁺ 反向运输体将 Na⁺ 隔离于液泡。盐桦液泡膜中 Na⁺/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、低温诱导, *BhNHX* 的表达可以提高其耐盐性^[34]。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。盐桦 *BhNHX* 的启动子可能含有 DRE/CRT 元件^[5,17]。盐桦之所以区别于其他桦木属植物,因具有很高的耐盐性,盐桦作为具有观赏性的乔木植物,可作为一种新型耐盐木本模式植物^[35]。到目前为止,从分子或基因层面研究盐桦耐盐机制的报道较少,应该加强其耐盐机制研究。

7.2 盐桦——一种新型观赏景观树

人工繁殖是拯救保护和合理利用濒危植物的有效途径之

一,同时发展盐桦人工种植是开展野生盐桦植物保育对策的重要方向^[36-37]。许多研究都在盐碱地开展濒危植物盐桦保育对策的探索,为干旱区植被多样性保护提供合理的保育策略,特别是为濒危盐桦的迁地保育提供合理有效的技术服务,也可以带动当地观赏景观树产业,帮助当地农牧民脱贫致富。综上所述,利用盐碱地,大力加强与开展干旱区盐桦资源栽培技术与保育对策的研究,大力发展盐桦产业具有广阔的前景。

参考文献:

- [1]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,2011,47(10):29-36.
- [2]于 涛,张宇阳,高 健,等. 极小种群濒危植物盐桦叶绿体基因组特征分析[J]. 林业科学,2019,55(2):41-49.
- [3]顾云春. 中国国家重点保护野生植物现状[J]. 中南林业调查规划,2003,22(4):1-7.
- [4]陶 玲,李新荣,刘新民,等. 中国珍稀濒危荒漠植物保护等级的定量研究[J]. 林业科学,2001,37(1):52-57.
- [5]蔡 伦. 新疆盐生植物耐盐相关基因的克隆、序列分析与功能初步检测[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2005.
- [6]卢跃敏,郭 刚,付习科. 三种抗生素对盐桦组织培养初代外植体内生菌的抑制作用[J]. 农村科技,2010(9):52-53.
- [7]王奥漩,朱建峰,张 军,等. 四种植物材料离体培养条件下的耐盐性比较[J]. 甘肃农业大学学报,2014,49(6):119-124.
- [8]邓江宇,李 宏,郑朝晖,等. 盐桦幼树光合特性的研究[J]. 安徽农业科学,2009(1):80-82.
- [9]李 宏,王 彬. 水湿处理对盐桦苗木光合特性的影响[J]. 北方园艺,2016(14):100-102.
- [10]卢跃敏,郭 刚,阿依先木,等. 温度对一年生盐桦组培苗次年打破休眠和发芽生长的影响[J]. 新疆农业科技,2007(6):41.
- [11]李 宏,邓江宇,苗昊翠,等. 濒危植物盐桦的物候观测[J]. 福建林业科技,2009,36(4):164-165.
- [12]曾幼玲,邓爱华,曹文尧,等. 一种快速提取盐桦叶片总 RNA 的方法建立[J]. 种子,2006,25(11):51-53.
- [13]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,2009,29(11):2281-2287.
- [14]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,2010,47(2):213-217.
- [15]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]. 植物分类与资源学报,2009,31(3):260-264.
- [16]邓江宇. 盐胁迫盐桦幼苗的生理变化[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2009.
- [17]曾幼玲,张海波,兰海燕,等. 盐桦 *BhNHX* 的克隆及其与 *CaM* 在胁迫下的协同表达[J]. 西北植物学报,2008(12):2408-2415.

- [18]张立运,潘伯荣. 新疆植物资源评价及开发利用[J]. 干旱区地理,2000,23(4):331-336.
- [19]国 政,臧润国. 中国极小种群野生植物濒危程度评价指标体系[J]. 林业科学,2013,49(6):10-17.
- [20]汪智军,李行斌,郭仲军,等. 新疆 14 种珍稀濒危植物资源现状及保护[J]. 中国野生植物资源,2003(2):15-17.
- [21]钱 翌. 新疆的生物多样性及其保护对策[J]. 新疆农业大学学报,2001,24(1):49-54.
- [22]张毓涛,白志强,郭仲军,等. 额尔齐斯河河谷天然林区非木材资源利用的初步研究[J]. 新疆农业科学,2004,41(3):135-137.
- [23]刘丽燕,蔡新斌,江晓珩,等. 新疆重点保护野生植物资源调查方法研究初探[J]. 林业实用技术,2014(6):45-47.
- [24]朱建峰,管耀义,袁惠贞,等. 盐桦种子无菌萌发及快速繁殖研究[J]. 河北林业科技,2009(增刊1):1-3.
- [25]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,2008,31(6):42-45.
- [26]梅新娣,张富春. 盐桦无菌材料的成功获得及其试管苗移栽定植成活的方法[J]. 生物技术,2006,16(3):82-83.
- [27]梅新娣,张富春,王 波. 濒危植物盐桦离体组织培养特性的研究[J]. 生物技术,2006,16(3):79-81.
- [28]梅新娣,马 纪,张富春. 新疆濒危植物盐桦试管苗生根培养的研究[J]. 新疆农业科学,2006,43(3):218-223.
- [29]梅新娣,张富春,吕会平. 盐桦 (*Betula halophila*) 愈伤组织的高效诱导和不定芽的分化[J]. 新疆农业科学,2006,43(1):78-81.
- [30]江晓珩,李 刚,阿里木,等. 盐桦芽器官离体培养与快繁技术的研究[J]. 林业科技,2006(6):1-3.
- [31]吴庆丽. 盐桦组织培养技术研究[J]. 江苏农业科学,2010(6):82-83.
- [32]梅新娣,张富春. 应用 ITS 序列分析新疆濒危植物盐桦的系统发育[J]. 生物技术,2008,18(6):4-6.
- [33]张文泉. 西北地区盐生植物区系及资源利用研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [34]张海波. 盐桦的耐盐生理分析及液泡膜 Na^+/H^+ 反向运输载体基因的克隆和遗传转化研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2007.
- [35]Shao F, Zhang L, Wilson I, et al. Transcriptomic analysis of *Betula halophila* in response to salt stress [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19:3412.
- [36]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,2011,46(5):101-105.
- [37]梅新娣,张富春,曾幼玲. 濒危植物盐桦的组织培养及快速繁殖[J]. 植物生理学报,2004,40(6):714-714.