

## 梭梭属两种植物的根结构和成分

陈虞超, 李苗, 吴明朝, 宋玉霞\*

宁夏农业生物技术重点实验室, 银川750002

**摘要:** 利用半薄切片技术、ICP-OES和HPLC研究梭梭和白梭梭的根结构、根系中矿质元素与次生代谢产物含量, 结果表明, 梭梭和白梭梭根基本结构相同, 均由表皮、皮层及维管柱组成, 具异常维管组织, 皮层薄壁细胞在根中比例较大; 梭梭和白梭梭根系中Na和K元素含量较高; 根系次生代谢产物中蒽醌、生物碱类物质的含量较高。

**关键词:** 梭梭; 白梭梭; 根结构; 矿质元素; 次生代谢产物

## Structure and Composition of Roots in Two Species of *Haloxylon Bunge*

CHEN Yu-Chao, LI Miao, WU Ming-Zhao, SONG Yu-Xia\*

Key Laboratory of Agricultural Biotechnology of Ningxia, Yinchuan 750002, China

**Abstract:** The structure, mineral elements and secondary metabolites in roots of *Haloxylon ammodendron* and *H. persicum* were studied with semi-thin section, inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) and high performance liquid chromatography (HPLC). The results showed that *H. ammodendron* and *H. persicum* had the same root structures on the whole, including epidermis, cortex and vascular cylinder. The roots contained abnormal vascular tissue, a large percentage of parenchyma cells, and high contents of sodium (Na) and potassium (K). In addition, high levels of anthraquinone and aconitum alkaloids were observed in the secondary metabolites of roots.

**Key words:** *Haloxylon ammodendron*; *Haloxylon persicum*; root structure; mineral elements; secondary metabolites

梭梭属(*Haloxylon Bunge*)隶属藜科(Chenopodiaceae), 全球总有11种。我国仅分布梭梭(*H. ammodendron*)和白梭梭(*H. persicum*) 2种, 均为超旱生小乔木, 叶片退化成鳞片状, 以同化枝进行光合作用。梭梭和白梭梭的根系十分发达, 分布广而深, 具有耐贫瘠、耐干旱、耐盐碱、抗风沙等特性, 是我国西北干旱、半干旱荒漠地区防风固沙、改善环境的先锋树种, 是这些地区最主要的可利用生物资源, 具有较高的燃料价值与饲用价值, 梭梭根部还可寄生珍稀中药材肉苁蓉(*Cistanche deserticola*)。目前, 有关梭梭和白梭梭的研究主要集中在生长特性、人工种植、抗旱生理、生态以及物候期观察等方面(李苗等2012; 齐曼·尤奴斯等2012; 张世军2010; 常静等2006; 张晓岚和李洪山1994; 王焯和尹林克1991)。本文利用半薄切片技术、电感耦合等离子体发射光谱(inductively coupled plasma optical emission spectrometry, ICP-OES)和高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)研究梭梭和白梭梭的根结构、根系中矿质元素与次生代谢产物含量, 以期深入阐明梭梭和白梭梭的抗旱耐盐特性、梭梭与肉苁蓉的寄生理理建立一定的基础。

## 材料与方法

### 1 材料

梭梭[*Haloxylon ammodendron* (C. A. Mey.) Bunge]和白梭梭(*Haloxylon persicum* Bunge ex Boiss et Buhse)种子于2010年6月分别采自内蒙古阿拉善左旗苏海图苏木乌兰布和沙漠中自然分布的梭梭植株和新疆准格尔盆地古尔班通古特沙漠中自然分布的白梭梭植株。玻璃纤维滤纸购自Whatman公司; 树脂成分中乙烯基环己烯二环氧化物(ERL-4206)、聚乙二醇环氧树脂(DER-736)、壬烯基丁二酸酐(NSA)和N,N-二甲基苯胺(DMA)购自Shell Chemical公司, 并按体积比5:3:13:0.15混合配制; 其他试剂均为国产分析纯。

### 2 方法

#### 2.1 幼苗培育

取梭梭和白梭梭种子各30粒, 用70%乙醇消毒

收稿 2013-08-09 修定 2013-09-16

资助 国家自然科学基金(31160066和30960023)、宁夏科技支撑计划项目和宁夏自然科学基金(NZ12262)。

\* 通讯作者(E-mail: songyx666@163.com; Tel: 0951-6886755)。

30 s, 无菌水清洗3次, 再用0.1%次氯酸钠消毒15 min, 无菌水清洗5次。将种子摆放在铺有玻璃纤维滤纸的无菌培养皿中, 在25 °C、湿度80%的条件下于恒温培养箱中暗培养, 培养1 d后种子开始萌发。

## 2.2 形态解剖观察

树脂半薄切片观察参考李兵等(2011)的方法并作一定改进, 包括以下步骤: (1)取材, 取梭梭和白梭梭初生根的根毛区, 每段材料长约0.5 cm, 用FAA溶液固定48 h; (2)脱水, 材料依次经70%、80%、90%、95%浓度乙醇脱水, 每一个浓度脱水时间均为30 min, 然后在100%乙醇中脱水2次, 每次30 min; (3)丙酮置换, 将脱水后的材料转到乙醇和丙酮(体积比为1:1)混合溶液中, 置换30 min, 然后于纯丙酮溶液中置换2次, 每次30 min; (4)树脂置换, 材料依次经体积比为2:1、1:1、1:2的丙酮和树脂混合溶液置换, 每次3 h, 然后放入纯树脂中置换2次, 每次12 h; (5)包埋, 包埋板样孔中先加入1/3体积的纯树脂, 70 °C放置3 h, 然后将材料放入板样孔里, 再向样孔中加满树脂并调整好材料的位置, 于60 °C恒温干燥箱中放置24 h; (6)切片染色与观察, 取出包埋好的材料, 用Leica RM2265半薄切片机制片, 采用甲苯胺蓝染色10 min。烤干后, 在Leica DMLB显微镜下观察。

扫描电子显微镜观察的方法包括: (1)取材, 取梭梭和白梭梭次生根, 每段材料长约0.5 cm, 经FAA溶液固定48 h; (2)脱水, 材料依次经95%乙醇、100%乙醇脱水, 每次20 min; (3)乙酸异戊酯置换, 脱水后的材料依次转到体积比为3:1、1:1、1:3的乙醇和乙酸异戊酯混合溶液中, 每次置换20 min, 然后放入纯乙酸异戊酯溶液中; (4)CO<sub>2</sub>临界点干燥, 将材料从乙酸异戊酯溶液中取出, 置入铺有滤纸的金属样盒中, 保证材料与滤纸处在乙酸异戊酯中充分浸润, 然后进行CO<sub>2</sub>干燥; (5)粘台镀金与观察, 干燥后的材料在体视镜下用双面胶粘在金属台上, 喷金镀膜后, 在日立S3400N扫描电镜下观察。

## 2.3 矿质元素与次生代谢产物含量测定

取银川市永宁县宁夏金沙林场二年生的梭梭和白梭梭植株根系各500 g, 用去离子水洗净, 置于恒温干燥箱中, 30 °C烘至恒重, 然后计算干重与鲜重比; 根系干样经粉碎机粉碎, 过100目筛。参考罗夫来和郭巧生(2010)的方法, 利用ICP-OES测定样品中Na、K、Ca、P、Fe、Mn、Zn、Cu、Mg、B元素的含量。参考李樱红等(2012)、闫海全和李崇瑛(2009)、郑丽华等(2012)的方法, 分别

以1,8-二羟基蒽醌、齐墩果酸、盐酸小檗碱为对照品, 利用HPLC测定样品中蒽醌、皂甙、生物碱类物质的含量。

## 实验结果

### 1 梭梭和白梭梭根的结构特征

由图1-A~D可见, 梭梭和白梭梭初生根的结构相同, 横切面均呈椭圆形, 由外到内可分为表皮、皮层和维管柱。表皮细胞层数为1层, 细胞体积较小, 排列紧密。皮层细胞由7~9层细胞组成, 外皮层和内皮层明显: 外皮层细胞排列疏松, 近圆形, 细胞体积较大; 内皮层细胞体积较小, 排列紧密。内皮层之内是维管柱, 维管柱最外一层细胞为中柱鞘, 该层细胞为体积较小、排列紧密、没有细胞间隙的薄壁细胞。由图1-E和F可见, 梭梭和白梭梭次生根表皮细胞层数均为1层, 细胞较小, 排列紧密。梭梭根的皮层由3~4层管状薄壁细胞组成, 细胞体积较大, 皮层薄壁细胞占根的比例约为3/4; 白梭梭根的皮层由5~6层管状薄壁细胞组成, 细胞体积较大, 皮层薄壁细胞占根的比例约为7/8。梭梭和白梭梭的根中, 除正常的维管柱外, 其周围还具有发达的异常维管组织及其间的结合组织。

### 2 梭梭和白梭梭根系矿质元素与次生代谢产物的含量

图2-A~C显示, 梭梭根系中Na、K、Ca、P、Fe、Mn、Zn、Cu、Mg、B元素含量分别为: 2 977.4、1 249.5、967.2、518.03、82.11、31.69、27.4、2.44、0.97、0.07 μg·g<sup>-1</sup> (FW), 白梭梭根中分别为: 726.46、1 246.43、1 473.15、214.2、99.44、54.92、18.34、3.75、1.07、0.15 μg·g<sup>-1</sup> (FW), 可见梭梭和白梭梭根系中Na、K、Ca元素的含量较高。另外, 梭梭根系中蒽醌、皂甙和生物碱的含量分别为4.115、0.503、0.962 mg·g<sup>-1</sup> (FW), 白梭梭根中分别为3.056、0.32、1.047 mg·g<sup>-1</sup> (FW) (图2-D), 可见梭梭和白梭梭根系中蒽醌、生物碱类物质的含量较高。

## 讨 论

梭梭和白梭梭作为在沙漠中生长的超旱生植物种, 形成了与沙漠干旱环境相适应的生理生态特性(郭泉水等2004)。梭梭和白梭梭地上部分为极度适应干旱条件的同化枝, 而地下根系则深入土层, 形成具有吸水、储水作用的庞大根系(阮晓等2005; 盛晋华等2004; 黄振英等1995; 李钢铁等1995; 李正理和李荣敖1981)。本研究发现, 梭梭、



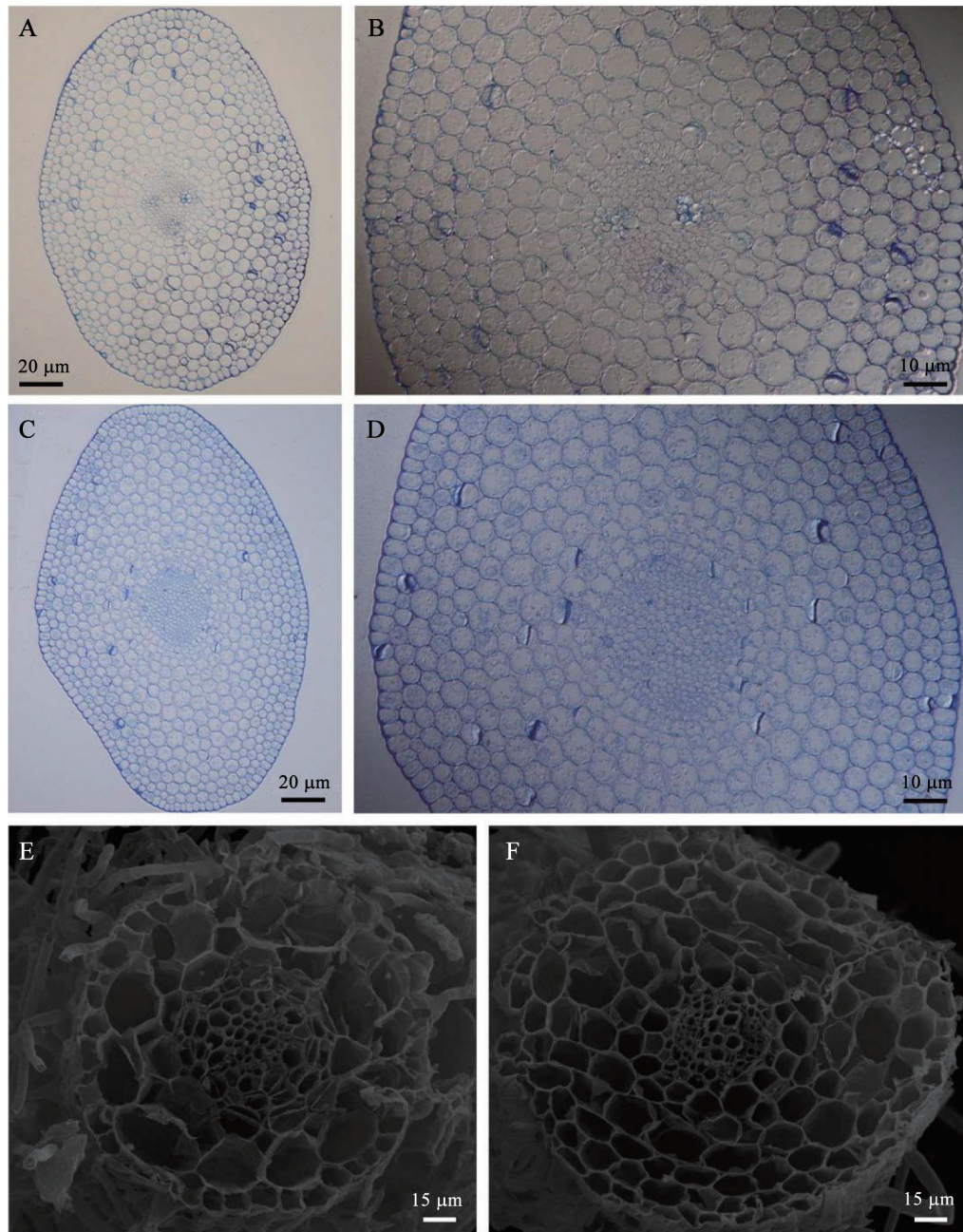


图1 梭梭和白梭梭根的横切图

Fig.1 The cross section of *H. ammodendron* and *H. persicum* roots

A和B: 梭梭初生根; C和D: 白梭梭初生根; E: 梭梭次生根; F: 白梭梭次生根。

白梭梭根结构中薄壁细胞在根中占的比例较大, 致使根系出现一定程度的肉质化; 这与李正理(1981)的研究结论一致。这种结构特征可能进一步增强了梭梭和白梭梭根系的吸水和储水功能。另外, 梭梭和白梭梭根中存在异常的维管组织, 这是荒漠植物较普遍存在的结构特征, 可能具有加强物质运输的作用(黄振英等1995)。

梭梭和白梭梭根系中存在大量无机离子积累, 其中Na和K元素含量最高, 这对于维持根系较低的水势和充足的水分具有重要意义。Na<sup>+</sup>和K<sup>+</sup>作为一种渗透调节物质, 在植物体抵抗盐胁迫的过程中起着关键的作用(杨升等2010), 梭梭和白梭梭根系中Na和K元素的大量积累可能与其耐盐性有密切关联。梭梭还是根寄生植物肉苁蓉的寄主, 肉苁蓉完

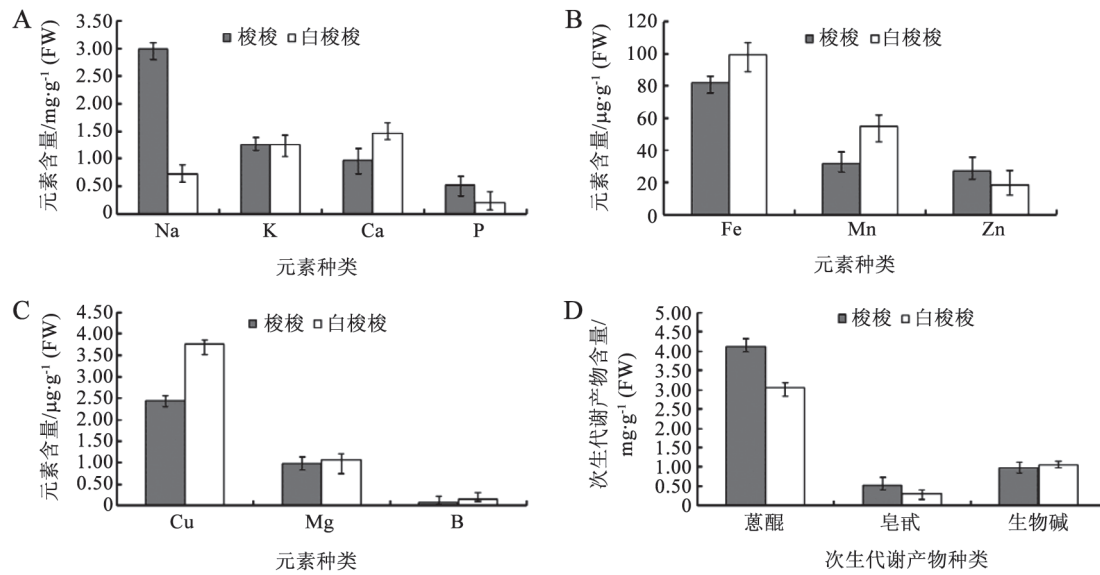


图2 梭梭和白梭梭根系矿质元素和次生代谢物的含量

Fig.2 The contents of mineral elements and secondary metabolites in roots of *H. ammodendron* and *H. persicum*

成寄生生活史的关键是种子的萌发和吸器的形成,自然条件下,肉苁蓉寄生关系的建立与梭梭根系分泌物密切相关(宋玉霞等2008)。葱醌类物质是诱导独脚金(*Striga asiatica*)、肉苁蓉等根寄生植物种子吸器形成的重要信号物质(陈虞超等2012; 胡飞和孔垂华2003; Hirsch等2003)。寄生植物火焰草(*Castilleja* spp.)倾向寄生于生物碱类物质含量较高的寄主植物,以增强其化学防御能力(Marvier和Smith 1997)。因此,我们推测梭梭根系较大的葱醌类和生物碱类物质的积累可能与肉苁蓉的寄生有关。

### 参考文献

- 常静, 潘存德, 师瑞锋(2006). 梭梭-白梭梭群落优势种群分布格局及其种间关系分析. 新疆农业大学学报, 29 (2): 26~29
- 陈虞超, 李苗, 陈晓军, 张丽, 宋玉霞(2012). 外源信号物质对肉苁蓉种子萌发与吸器形成的影响. 植物生理学报, 48 (3): 260~264
- 郭泉水, 谭德远, 刘玉军, 王春玲(2004). 梭梭对干旱的适应及抗旱机理研究进展. 林业科学研究, 17 (6): 796~803
- 胡飞, 孔垂华(2003). 寄生植物对寄主植物的化学识别. 生态学报, 23 (5): 965~971
- 黄建明, 郭济贤, 孙明明, 路斌, 段更利, 陈万生(2002). 草乌中生物碱含量测定方法的研究. 中药材, 25 (12): 878~880
- 黄振英, 吴鸿, 胡正海(1995). 新疆10种沙生植物旱生结构的解剖学研究. 西北植物学报, 15 (6): 56~61
- 李兵, 李登弟, 张杰, 黄耿青, 李学宝(2011). 植物树脂半薄切片染色方法的改进. 植物生理学报, 47 (12): 1207~1212
- 李钢铁, 张密柱, 张补在, 邹受益(1995). 梭梭林生物量研究. 内蒙古林学院学报(自然科学版), 17 (2): 35~43
- 李苗, 陈虞超, 石磊, 张丽, 甘晓燕, 宋玉霞(2012). 宁夏干旱区梭梭造林试验研究. 林业科技, 37 (3): 13~15
- 李樱红, 汪瑾, 胡磊, 熊英, 罗金文(2012). HPLC测定红曲黄酮片中总葱醌的含量. 中国现代应用药学, 29 (12): 1131~1139
- 李正理(1981). 旱生植物的形态和结构. 生物学通报, (4): 9~13
- 李正理, 李荣敖(1981). 我国甘肃九种旱生植物同化枝的解剖观察. 植物学报, 23 (3): 181~185
- 罗夫来, 郭巧生(2010). 百蕊草矿质元素含量测定和主成分分析. 中国中药杂志, 35 (10): 1226~1230
- 阮晓, 王强, 许宁一, 李建贵, 黄俊化(2005). 白梭梭同化枝对干旱胁迫的生理生态响应. 林业科学, 41 (5): 29~32
- 齐曼·尤奴斯, 木合塔尔·扎热, 马姆婷(2012). 两种梭梭根部输导组织坚韧度及其抗旱性. 植物生理学报, 48 (4): 375~380
- 盛晋华, 乔永祥, 刘宏义, 翟志席, 郭玉海(2004). 梭梭根系的研究. 草地科学, 12 (2): 91~94
- 宋玉霞, 马永清, 牛东玲, 郭生虎, 郑国琦, 马洪爱, 李苗(2008). 肉苁蓉寄生生长形态发育. 植物学通报, 25 (6): 680~686
- 王焯, 尹林克(1991). 19种荒漠珍稀植物的物候研究. 干旱区研究, (3): 45~46
- 闫海全, 李崇瑛(2009). 三七总皂甙的液相色谱分析及其稳定性研究. 安徽农业科学, 37 (13): 5973~5974, 5991
- 杨升, 张新华, 张丽(2010). 植物耐盐生理生化指标及耐盐植物筛选综述. 西北林学院学报, 25 (3): 59~65
- 张世军(2010). 梭梭、白梭梭萌发过程的初探. 干旱环境监测, 24 (2): 89~93
- 张晓岚, 李洪山(1994). 梭梭幼苗抗旱性与生物自由基、膜伤害关系初报. 新疆大学学报(自然科学版), 11 (3): 87~90
- 郑丽华, 卢唱均, 周志昆, 曹晖, 吴水芝(2012). HPLC测定三七总皂苷中5种皂苷的含量及稳定性考察. 中医药临床杂志, 24 (1): 73~75
- Hirsch AM, Bauer WD, Bird DM, Cullimore J, Tyler B, Yoder JI (2003). Molecular signals and receptors: controlling rhizosphere interactions between plants and other organisms. Ecology, 84 (4): 858~868
- Marvier MA, Smith DL (1997). Conservation implication of host use for rare parasitic plants. Conserv Biol, 11 (4): 839~848