植物遗传资源学报 2024，25（8）：1347-1355
Journal of Plant Genetic Resources　DOI：10.13430/j.cnki.jpgr.20231023003

# 肉苁蓉寄主梭梭和白梭梭主要生物学性状评价

沈　亮[1]，庞青云[2]，张明慧[3]，徐　荣[2]，陈　君[2]，刘同宁[4]，马清温[1]，刘永萍[5]
（[1]国家自然博物馆，北京 100050；[2]中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所道地药材品质保障与资源持续利用全国重点实验室，北京 100193；[3]北京城市学院生物医药学部，北京 100094；[4]宁夏永宁县本草苁蓉种植基地，银川 750100；[5]新疆林业科学院造林治沙研究所，乌鲁木齐 830092）

**摘要：**采用田间农艺观察、单因素方差分析、相关性分析和分子鉴定等方法对我国梭梭属2个物种梭梭和白梭梭的主要生物学性状以及肉苁蓉寄生情况进行比较分析。结果表明梭梭和白梭梭在形态特征、农艺性状及花粉结构方面均存在显著差异，其中成熟的梭梭种子果翅长度和千粒重显著低于白梭梭，但发芽率和发芽势显著高于白梭梭；梭梭花粉网眼较深，网脊颗粒结构的数量显著少于白梭梭，且花粉体积小于白梭梭。相关分析表明梭梭和白梭梭农艺指标与气温和相对湿度等气候因子显著相关，其中梭梭对水分及光照等环境因子变化适宜能力较强，分布较广；而白梭梭受水分等因子限制，仅在新疆准噶尔盆地长势较好。核基因内转录间隔区（ITS，internal transcribed spacer）分子鉴定技术可以有效鉴别梭梭和白梭梭，并且证明二者均可被肉苁蓉寄生，但二者寄生的肉苁蓉持续成活率存在差异。根据梭梭和白梭梭生物学性状特征和肉苁蓉寄生情况，适宜推广梭梭作为寄主植物生产肉苁蓉药材。本研究为我国梭梭属植物的分类鉴定、引种栽培以及肉苁蓉优良寄主种质筛选提供科学依据。

**关键词：**梭梭；白梭梭；肉苁蓉；花粉；ITS

# Evaluation on Main Biological Characters of Host-plant *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* of *Cistanche deserticola*

SHEN Liang[1]，PANG Qingyun[2]，ZHANG Minghui[3]，XU Rong[2]，CHEN Jun[2]，LIU Tongning[4]，MA Qingwen[1]，LIU Yongping[5]
（[1]*National Natural History Museum of China*，*Beijing 100050*；[2]*State Key Laboratory for Quality Ensurance and Sustainable Use of Dao-di Herbs*，*Institute of Medicinal Plant Development*，*Chinese Academy of Medical Sciences*，*Beijing 100193*；[3]*School of Biology and Medicine*，*Beijing City University*，*Beijing 100094*；[4]*Ningxia Yongning Plantation of Herba Cistanche*，*Yinchuan 750100*；[5]*Institutes of Afforestation and Desertification Control*，*Xinjiang Academy of Forestry*，*Urumqi 830092*）

**Abstract**：*Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum*，belonging to the family *Amaranthaceae*，genus *Haloxylon* Bunge，serve as host plants for *Cistanche deserticola.* They are widely distributed in the arid zones of China. In this study，biological characteristics and agronomic traits of both species were mainly compared by field observation and molecular identification. The results showed that there were significant differences in phenotypic characters，agronomic traits and pollen structure. Notably，the fruit wing length and 1000-grain weight in *H. ammodendron* were significantly lower compared to those of *H. persicum*，but the

**收稿日期：**2023-10-23　　**网络出版日期：**2024-01-09
URL：https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20231023003
第一作者研究方向为药用植物资源保护及鉴定，E-mail：shenliang@nnhm.org.cn
通信作者：徐　荣，研究方向为药用植物资源保护及繁育，E-mail：rxu.implad@foxmail.com
**基金项目：**国家自然科学基金面上项目（82274051）；国家自然科学基金-新疆联合重点支持项目（U1403224）；北京市科学技术研究院萌芽计划（BGS202111）；北京市财政项目；自治区"三农"骨干人才培养项目（2022SNGGGCC032）
**Foundation projects：**General Program of National Natural Science Foundation of China（82274051）；Xinjiang Union Funds of National Natural Science Foundation of China（U1403224）；Beijing Academy of Science and Technology Budding Talent Program（BGS202111）；Financial Projects of Beijing；Autonomous Region "Three Rural Issue" Key Personnel Training Project（2022SNGGGCC032）

germination rate and germination potential were significantly higher compared to those of *H. persicum*. The pollen volume and surface particle structure of *H. ammodendron* were significantly smaller than those of *H. persicum*. Additionally, the pollen net of *H. ammodendron* exhibited a deep structure, while it was shallow and most of it protruding outwards in *H. persicum* pollens. The correlational analysis revealed significant positive correlations between the agronomic indexes of both *H. ammodendron* and *H. persicum* and climate factors such as temperature and humidity. Water and light are the primary limiting factors for the geographic distribution *H. persicum* in Junggar Basin of Xinjiang, while environmental adaptations of *H. ammodendron* were found to be stronger. *H. ammodendron* and *H. persicum* can be effectively identified by ITS barcode, and both of them can be parasitized by *C. deserticola*. However, the survival rate of *C. deserticola* were different. According to their biological characteristics, cultivating *H. ammodendron* is with priority in the production of cistanches herba. This study provided a scientific basis for the identification and conservation of *Haloxylon*, as well as the selection of optimal hosts for *C. deserticola*.

**Key words**: *Haloxylon ammodendron*; *Haloxylon persicum*; *Cistanche deserticola*; pollen; ITS

世界范围内梭梭属（*Haloxylon* Bunge）植物主要分布于地中海至中亚等地区，我国分布有梭梭［*Haloxylon ammdendron*（C. A. Mey.）Bunge］和白梭梭（*Haloxylon persicum* Bunge ex Boiss. et Buhse）2种[1]。其中梭梭广泛分布于我国新疆、青海、甘肃、内蒙古和宁夏等地区，是荒漠地区的常见树种，主要生长于砾石沙漠、粘土沙漠、固定和半固定沙地以及盐碱地；而白梭梭在我国主要分布于新疆准噶尔盆地西部地区，多生长于流动、半固定及固定沙丘地区[2]。梭梭属植物因其耐干旱、适应性强等特点，在我国西北土壤贫瘠的荒漠地区长势较好，在防风固沙、维护生态平衡过程中发挥重要作用[3]。另外，梭梭属植物根部寄生的肉苁蓉（*Cistanche deserticola* Y. C. Ma）是我国著名的补益类中药材[4]。近年来，大规模掠夺式采挖导致野生肉苁蓉资源濒临灭绝，也严重破坏了生态环境，目前肉苁蓉及其寄主梭梭和白梭梭均已被列入国家二级保护植物名录[5]。随着国际上“回归自然”浪潮的兴起，加上肉苁蓉被国家卫生健康委和国家市场监督管理总局正式列入药食同源目录，肉苁蓉的市场需求量正不断增大，因此开展肉苁蓉寄主梭梭属种质资源评价及人工种植研究具有重要意义。

我国梭梭属植物地理分布较广，种内遗传多样性丰富，筛选长势快且肉苁蓉寄生率高的优良种质可有效提高肉苁蓉产量和质量。目前有关梭梭及白梭梭栽培和生理生态方面的研究较多[6-7]，而开展梭梭和白梭梭生物学性状比较及二者肉苁蓉寄生差异的研究相对较少。陈虞超等[8]利用显微切片技术研究表明二者根部结构基本相同，均由表皮、皮层及维管柱组成，根中皮层薄壁细胞比例较大。孙芳芳等[9]研究表明梭梭和白梭梭物种间的遗传分化明显，分子系统关系比较清楚，基于核基因内转录间隔区（ITS，internal transcribed spacer）和叶绿体DNA（cpDNA）序列组合可以开展二者系统发育、遗传和进化方面的研究。为全面评价肉苁蓉寄主梭梭和白梭梭种质资源多样性，筛选肉苁蓉优良寄主种质，本研究在课题组前期共收集的280份梭梭及白梭梭种质资源基础上，开展梭梭和白梭梭植株形态特征、花粉特征、农艺性状以及肉苁蓉寄生差异分析，研究结果为肉苁蓉寄主植物鉴定、引种以及优良寄主种质筛选提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

梭梭和白梭梭种子均于2016年采自新疆甘家湖梭梭林国家级自然保护区，采集回来的1000 g种子进行晾晒及除杂处理，于4℃冰箱中存储备用。梭梭和白梭梭花粉来自宁夏永宁县本草苁蓉种植基地，在盛花期各采集10株梭梭和白梭梭的花蕾，自然干燥后储存于−20℃冰箱待用。梭梭和白梭梭栽培试验样品均来自宁夏永宁县本草苁蓉种植基地，野生肉苁蓉寄主材料采自新疆甘家湖梭梭林国家级自然保护区。所用实验材料均经中国医学科学院药用植物研究所陈君研究员鉴定，并保存于中国医学科学院药用植物研究所种质资源库。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 种子和花粉生物学性状比较** 种子特征比较采用随机法进行，采集宁夏永宁县本草苁蓉种植基地的梭梭和白梭梭各30粒种子，使用游标卡尺测量种子直径、厚度、果翅长等指标。脱粒后测定种

子千粒重、发芽势（发芽高峰期发芽的种子数/供试种子数×100%）和发芽率（发芽种子粒数/供试种子粒数×100%），上述农艺性状测量参考胡晋等[10]方法。依据Punt等[11]方法对花粉性状进行观察，花粉经离子溅射仪（JFC-1600，日本）喷金处理，在扫描电子显微镜（JSM-6510LV，日本）下观察花粉形态特征，测定花粉极轴长（*P*，pole axis length）和赤道轴长（*E*，equatorial axial width）、网脊宽等指标。花粉大小指数以*P*×*E*值表示，花粉形状指数以*P*/*E*表示，其中*P*/*E*>2为超长球形，1.14<*P*/*E*<2为长球形。

**1.2.2 田间种植和农艺指标测定** 2017年在宁夏永宁县本草苁蓉种植基地测定梭梭和白梭梭农艺性状。播种前深翻试验土壤，并施以3000 kg/666.7 $m^2$有机肥作为底肥，耙平畦面，布设苗床，苗床长宽为30 m×3 m。梭梭和白梭梭播种前用0.3%高锰酸钾溶液浸泡30 min，经清水冲洗干净后，用5倍量体积细沙拌匀，采用宽幅条播，播种量为5 kg/666.7 $m^2$。依据李苗等[12]方法测定株高、根长、一级分枝数、分枝数、茎基粗、植株鲜重、植株干重等指标，其中梭梭每个农艺指标测定数量为25株，白梭梭每个农艺指标测定数量为25株。

**1.2.3 田间肉苁蓉寄生率及野生肉苁蓉寄主种类鉴定** 选取10年生梭梭和白梭梭各20株于2017年在宁夏永宁县本草苁蓉种植基地进行肉苁蓉接种寄生试验，除寄主植物不同外，依据《GB/T 41628-2022肉苁蓉培育技术规程》[13]进行种植管理。将肉苁蓉种子与细沙混匀撒入深50 cm的接种沟内，一年后观察肉苁蓉接种寄生情况，计算每个接种沟里的肉苁蓉数量及寄生率。肉苁蓉寄生率为寄生肉苁蓉的株数占试验区总株数百分比。2016年在新疆甘家湖梭梭林国家级自然保护区共收集28个采样点的野生肉苁蓉及其寄生根样品，依据沈亮等[14]研究得到的盐生肉苁蓉寄主鉴定方法对肉苁蓉寄生根进行ITS分子鉴定。

### 1.3 数据分析

应用Excel 2013和SPSS 20.0统计软件对梭梭和白梭梭农艺性状、花粉极轴长（*P*）、赤道轴长（*E*）、*P*×*E*及*P*/*E*等指标进行单因素方差分析和相关分析。气候数据（2015~2023年）采自宁夏永宁县本草苁蓉种植基地AR5自动气象站（美国AVALON公司），应用MEGA5.0软件对肉苁蓉寄主碱基进行比对分析，构建邻接（NJ，neighbor-joining algorithm）系统进化树，使用核苷酸替代模型Kimura-2-parameter model，自展值（Bootstrap）1000，用于检验各分支的支持率。结合GeneBank（https://www.ncbi.nlm.nih.gov/）数据库梭梭和白梭梭对应碱基序列，对样品进行鉴定分析。其中梭梭ITS参考序列GeneBank登录号为HM131632.1，白梭梭ITS参考序列GeneBank登录号为HM131633.1。

## 2 结果与分析

### 2.1 植株形态特征

野生梭梭种子暗褐色，种子直径平均为2.38 mm、厚度1.20 mm，果翅长3.08 mm，千粒重为3.37 g（表1），果翅上有明显黑色纵脉纹（图1A），发芽率和发芽势较高。除种子直径外，梭梭其它种子指标与白梭梭相比均差异极显著。梭梭同化枝粗壮（平均直径1.54 mm），节间较短（平均7.58 mm）且富含水分，与白梭梭相比差异极明显，梭梭叶退化为小鳞片状，其同化枝顶端钝圆（图1C）。梭梭茎横切面年轮较为稀疏，颜色暗褐色，其纵切面颜色较淡，木质部较为稀疏，上下连通导管较多，韧皮部较厚（图1E、G）。野生白梭梭种子和果翅较大，淡黄褐色，其种子直径平均为2.42 mm、厚度为0.99 mm，果翅长为4.23 mm，千粒重为5.50 g（表1），发芽率和发芽势较低，果翅上脉纹不明显（图1B）。白梭梭同

**表1 梭梭和白梭梭种子特征比较分析**

**Table 1 Comparative analysis of the seeds of *H. ammodendron* and *H. persicum***

| 种类 Types | 直径（mm） Diameter | 厚度（mm） Thickness | 果翅长（mm） Fruit wing length | 千粒重（g） 1000-grain weight | 发芽率（%） Germination rate | 发芽势（%） Germination potential |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 梭梭 *H. ammodendron* | 2.38±0.12a | 1.20±0.12a | 3.08±0.14b | 3.37±0.98a | 69.21±12.65a | 38.71±9.47a |
| 白梭梭 *H. persicum* | 2.42±0.25a | 0.99±0.14b | 4.23±0.45a | 5.50±0.89b | 24.88±10.03b | 13.45±6.13b |
| F值 F Value | 0.131 | 11.06** | 40.06** | 25.21** | 56.1** | 36.75** |

**：在*P*<0.01水平差异极显著；同列数据后不同小写字母表示在*P* < 0.05水平下差异显著；下同

**: Extremely significant difference at the *P*<0.01 level; Different letters after the same column data indicate significant differences at the level of *P*<0.05; The same as below


A:梭梭种子;B:白梭梭种子;C:梭梭同化枝;D:白梭梭同化枝;E:梭梭茎横切;F:白梭梭茎横切;G:梭梭茎纵切;H:白梭梭茎纵切

A: Seed of *H. ammodendron*;B: Seed of *H. persicum*;C: Assimilation of *H. ammodendron*;D: Assimilation of *H. persicum*;E: Stem cross section of *H. ammodendron*;F: Stem cross section of *H. persicum*;G: Stem longitudinal section of *H. ammodendron*;H: Stem longitudinal section of *H. persicum*;

**图1 梭梭和白梭梭植株形态特征比较**

**Fig.1 Morphology were compared of *H. ammodendron* and *H. persicum***

化枝纤细(平均直径1.23 mm),节间稍长(平均10.91 mm),叶呈三角形,常贴伏于枝,两侧斜边斜率较大,在三角形顶部呈锥形刺状(具有明显的芒尖)(图1D)。白梭梭枝干横切面致密,年轮较为密集,颜色呈淡黄色,其纵切面颜色较深,木质部较为致密,上下连通导管较少,外层韧皮部较薄(图1F、H)。

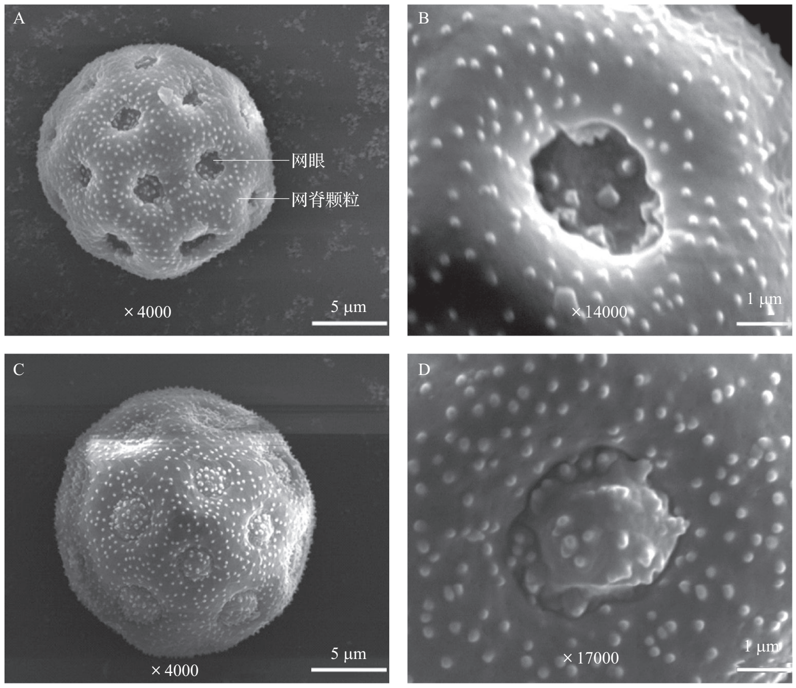
### 2.2 花粉形态分析

梭梭和白梭梭花粉形态电镜扫描结果如图2所示,梭梭和白梭梭花粉形态均为近圆形,两侧对称,具有圆形萌发孔,孔沟内有颗粒状突起。但两者在形态特征上又有很大差异,在花粉外壁纹饰结构方面,梭梭和白梭梭的外壁均呈网状,网脊颗粒呈球状,疏密程度较为均匀,梭梭网脊颗粒较为稀疏,而白梭梭颗粒较为致密。梭梭网眼深陷,网眼内颗粒状突起较少,而白梭梭网眼较浅,网眼颗粒状突起较多,且网眼内突起较多。4000倍的电镜下,观察得知梭梭花粉粒大小显著小于白梭梭。梭梭花粉极轴长为17.29 μm,赤道轴长为16.99 μm,$P×E$为294.22,$P/E$为1.02;而白梭梭花粉极轴长为18.34 μm,赤道轴长为18.05 μm,$P×E$为332.20,$P/E$为1.02(表2)。方差分析表明梭梭和白梭梭的花粉极轴长、赤道轴长及花粉大小差异显著,二者网脊颗粒数量差异极显著,而两者网眼长宽及网眼数量差异不显著。

### 2.3 农艺指标与气候因子相关分析

梭梭农艺性状相关分析结果表明,梭梭根长与植株干重呈极显著正相关(表3),说明梭梭具有旱生植物根系较长的特点,根长对其生长及生物量增加影响较大。分枝数为分枝节点上的分枝总数,一级分枝数为一级分枝上长出的分枝数,两者呈极显著正相关,说明梭梭通过增加分枝数增加同化枝的数量,进而促进光合作用。植株干重和鲜重呈极显著正相关,说明随着植株鲜重增加,植株干重也同时增加。

梭梭株高与气温、土壤20 cm的温度呈显著负相关,说明随着气温及土壤20 cm温度的升高,梭梭长势变慢,这与梭梭在炎热夏季进入短暂生长休眠期有关(表4)。分枝数和一级分枝数与相对湿度极显著或显著负相关,而分枝数与光照、土壤20 cm温度均呈显著正相关,说明土壤地面温度越高、光照越强的气候环境可以促进梭梭发芽及生长,而相对湿度过大是限制梭梭生长的重要因子。茎基粗和土壤40 cm、60 cm的温度显著正相关,说明梭梭根系分布层的地温升高可以促进其地上部分生长。




A：梭梭花粉形状；B：梭梭花粉萌发孔；C：白梭梭花粉形态；D：白梭梭花粉萌发孔

A：Pollen shape of *H. ammodendron*；B：Pollen aperture of *H. ammodendron*；C：Pollen shape of *H. persicum*；D：Pollen aperture of *H. persicum*

**图2　梭梭和白梭梭花粉形态电镜观察**

**Fig.2　Electron microscope observation on pollen morphology of *H. ammodendron* and *H. persicum***

**表2　梭梭和白梭梭花粉形态特征比较**

**Table 2　Comparison of pollen appearance and morphology of *H. ammodendron* and *H. persicum***

| 种名 Species names | 极轴长（μm） *P* | 赤道轴长（μm） *E* | *P×E* （$\mu m^2$） | *P/E* | 网眼长（μm） Mesh length | 网眼宽（μm） Mesh width | 网眼数量 Number of mesh | 网脊颗粒（$\mu m^2$） Spherical particle |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 梭梭 *H.ammodendron* | 17.29±0.84b | 16.99±0.87b | 294.22±29.58b | 1.02±0.01a | 2.63±0.35a | 2.26±0.30a | 9.90±1.04a | 7.30±1.24b |
| 白梭梭 *H. persicum* | 18.34±1.10a | 18.05±1.16a | 332.20±40.98a | 1.02±0.01a | 2.69±0.37a | 2.42±0.33a | 10.08±1.04a | 11.05±1.18a |
| F值 F Value | 6.88* | 6.62* | 6.58* | 0.12 | 0.19 | 1.38 | 0.155 | 66.86** |

*：在 $P<0.05$ 水平差异显著；下同

P：Polar axis length；E：Equatorial axis width；*：Significant difference at $P<0.05$ level；The sane as below

**表3　梭梭农艺性状相关分析**

**Table 3　Comparison of agronomic characters of *H. ammodendron***

| 农艺性状 Agronomic characters | 根长 Root length | 株高 Plant height | 分枝数 Branch number | 一级分枝数 First level branch number | 茎基粗 Basal culm thickness | 植株干重 Dry weight | 含水量 Water content | 植株鲜重 Fresh weight |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 根长 Root length | 1 | | | | | | | |
| 株高 Plant height | 0.11 | 1 | | | | | | |
| 分枝数 Branch number | −0.12 | −0.48 | 1 | | | | | |
| 一级分枝数 First level branch number | 0.11 | −0.05 | 0.76** | 1 | | | | |
| 茎基粗 Basal culm thickness | −0.26 | −0.16 | 0.27 | 0.34 | 1 | | | |
| 植株干重 Dry weight | 0.76** | −0.37 | 0.19 | 0.11 | −0.20 | 1 | | |
| 含水量 Water content | 0.38 | −0.32 | 0.23 | 0.13 | −0.35 | 0.47 | 1 | |
| 植株鲜重 Fresh weight | 0.50 | −0.16 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.72** | −0.26 | 1 |

表4 梭梭农艺性状与气候因子间相关分析

**Table 4 Comparison of agronomic characters of *H. ammodendron* and climate factors**

| 气候因子 Climatic factors | 根长 Root length | 株高 Plant height | 分枝数 Branch number | 一级分枝数 First level branch number | 茎基粗 Basal culm thickness | 植株干重 Dry weight | 含水量 Water content | 植株鲜重 Fresh weigh |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 气温 Air temperature | −0.17 | −0.63* | 0.70** | 0.52* | 0.46 | 0.25 | 0.09 | 0.25 |
| 相对湿度 Relative humidity | 0.10 | 0.30 | −0.67** | −0.54* | −0.24 | −0.26 | −0.34 | −0.06 |
| 光照 Light | 0.10 | −0.37 | 0.74** | 0.71** | 0.03 | 0.25 | 0.30 | 0.09 |
| 土壤30 cm湿度 Soil humidity at 30 cm depth | −0.07 | 0.09 | −0.42 | −0.59* | −0.20 | −0.26 | −0.40 | −0.02 |
| 土壤50 cm湿度 Soil humidity at 50 cm depth | 0.04 | −0.33 | 0.42 | 0.51 | −0.06 | 0.28 | 0.53* | −0.06 |
| 土壤20 cm温度 Soil temperature at 20 cm depth | −0.25 | −0.55* | 0.65** | 0.40 | 0.49 | 0.10 | −0.10 | 0.21 |
| 土壤40 cm温度 Soil temperature at 40 cm depth | −0.16 | −0.24 | 0.41 | 0.25 | 0.53* | 0.03 | −0.25 | 0.25 |
| 土壤60 cm温度 Soil temperature at 60 cm depth | −0.26 | −0.40 | 0.49 | 0.27 | 0.55* | 0.00 | −0.31 | 0.26 |
| 风速 Wind speed | −0.09 | −0.25 | 0.07 | 0.33 | 0.03 | 0.11 | −0.03 | 0.12 |
| 降雨 Rainfall | 0.25 | 0.06 | −0.10 | −0.39 | −0.25 | 0.23 | 0.25 | 0.03 |

梭梭农艺性状相关分析表明白梭梭根长与分枝数和植株干重呈极显著或显著正相关,说明随着根长增加,其地上部分生物量不断增加,分枝数和植株干重也逐渐增加。白梭梭株高与植株含水量呈极显著正相关,说明随着植株生长,其植株含水量不断增大。由于本研究采挖的梭梭根为其主根,其主根下端须根未能全部挖出,因此根长和株高没有相关性。另外,白梭梭植株分枝数、茎基粗与植株干重呈极显著或显著正相关,说明随着白梭梭地上部分快速生长,其植株干物质含量会显著增加(表5)。

表5 白梭梭农艺性状相关分析

**Table 5 Comparison of agronomic characters of *H. persicum***

| 农艺性状 Agronomic characters | 根长 Root length | 株高 Plant height | 分枝数 Branch number | 一级分枝数 First level branch number | 茎基粗 Basal culm thickness | 植株干重 Dry weight | 含水量 Water content | 植株鲜重 Fresh weight |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 根长 Root length | 1 | | | | | | | |
| 株高 Plant height | 0.60 | 1 | | | | | | |
| 分枝数 Branch number | 0.75** | 0.59 | 1 | | | | | |
| 一级分枝数 First level branch number | −0.56 | −0.59 | −0.14 | 1 | | | | |
| 茎基粗 Basal culm thickness | 0.24 | −0.22 | 0.59 | 0.57 | 1 | | | |
| 植株干重 Dry weight | 0.61* | −0.02 | 0.73* | 0.18 | 0.89** | 1 | | |
| 含水量 Water content | 0.36 | 0.90** | 0.50 | −0.40 | −0.24 | −0.18 | 1 | |
| 植株鲜重 Fresh weight | −0.07 | 0.09 | −0.04 | 0.12 | −0.13 | −0.27 | 0.40 | 1 |

白梭梭根长与气温、土壤20 cm温度和土壤60 cm温度呈显著正相关，说明随着气温以及土壤温度升高，白梭梭根系会不断生长（表6）。根长、株高、分枝数和含水量均与相对湿度呈极显著或显著负相关，植株含水量与土壤30 cm湿度显著负相关，说明相对湿度较大会抑制白梭梭的生长。分枝数与土壤60 cm温度呈显著正相关，说明白梭梭根系较深，随着土壤60 cm温度增加，白梭梭生长加速，分枝数会增加。

**表6　白梭梭农艺性状与气候因子间相关性分析**

**Table 6　Correlation analysis between gronomic characters of *H. persicum* and climate factors**

| 气候因子 Climatic factors | 根长 Root length | 株高 Plant height | 分枝数 Branch number | 一级分枝数 First level branch number | 茎基粗 Basal culm thickness | 植株干重 Dry weight | 含水量 Water content | 植株鲜重 Fresh weigh |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 气温 Air temperature | 0.67* | 0.38 | 0.52 | −0.08 | 0.36 | 0.52 | 0.31 | 0.21 |
| 相对湿度 Relative humidity | −0.63* | −0.85** | −0.62* | 0.73* | 0.15 | −0.12 | −0.75** | 0.15 |
| 光照 Light | 0.29 | −0.23 | −0.07 | −0.21 | 0.13 | 0.27 | −0.32 | 0.03 |
| 土壤30 cm湿度 Soil humidity at 30 cm depth | −0.39 | −0.41 | −0.50 | 0.34 | −0.02 | −0.11 | −0.61* | −0.44 |
| 土壤50 cm湿度 Soil humidity at 50 cm depth | −0.10 | 0.19 | 0.14 | −0.07 | −0.07 | −0.19 | 0.45 | 0.57 |
| 土壤20 cm温度 Soil temperature at 20 cm depth | 0.63* | 0.45 | 0.56 | −0.05 | 0.34 | 0.49 | 0.38 | 0.08 |
| 土壤40 cm温度 Soil temperature at 40 cm depth | 0.60 | 0.37 | 0.48 | −0.11 | 0.32 | 0.49 | 0.26 | −0.09 |
| 土壤60 cm温度 Soil temperature at 60 cm depth | 0.68* | 0.51 | 0.63* | −0.07 | 0.38 | 0.53 | 0.42 | 0.05 |
| 降雨 Rainfall | −0.23 | −0.21 | −0.12 | −0.10 | −0.15 | −0.20 | −0.07 | 0.07 |

### 2.4　肉苁蓉寄生率调查及寄主植物鉴定

在宁夏永宁县本草苁蓉种植基地接种试验区，随机调查了20株梭梭和20株白梭梭的肉苁蓉接种寄生率，结果表明接种1年后的梭梭和白梭梭寄生率均较高（图3），其中梭梭寄生率为90.00%，白梭梭寄生率为95.00%。人工栽培的梭梭和白梭梭均能够被肉苁蓉寄生，但两者寄生率差异不显著，但调研得知宁夏种植基地采收的肉苁蓉均来自梭梭种植片区，而白梭梭种植片区一直未能采收到肉苁蓉药材，这与二者生物学性状差异较大有关。本研究对分布有梭梭和白梭梭的新疆甘家湖梭梭林国家级自然保护区开展调研，在两种植物混合出现区采集了28个肉苁蓉寄生根样品，并进行了ITS分子鉴定（图4），结果表明27个样品（A1~A27）与梭梭标准样品聚为一组，只有1个样品（B1）与白梭梭标准样品聚为一组，说明该地区肉苁蓉的寄主植物主要为梭梭，但零星分布的白梭梭也可以被肉苁蓉寄生。

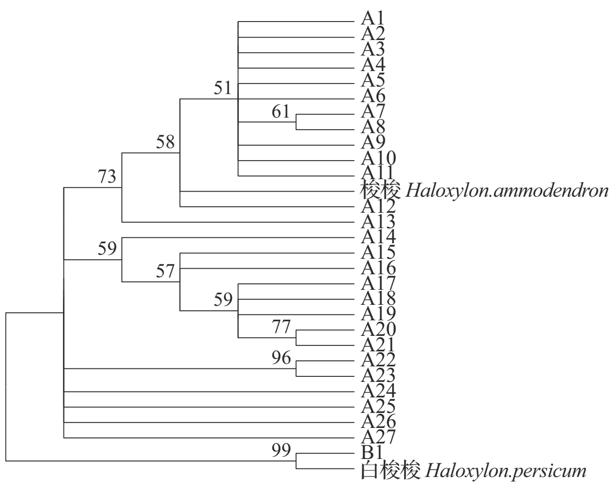

（图3）


A~C：梭梭田间寄生情况调查；D~F：白梭梭田间寄生情况调查

A-C：Investigation on parasitism of *H. ammodendron*；D-F：Investigation on parasitism of *H. persicum*

**图3 梭梭和白梭梭田间接种肉苁蓉寄生情况调查**

**Fig.3 Investigation on parasitism of host plant *H. ammodendron* and *H. persicum* of *C. deserticola* in field**




A1~A27为梭梭寄生根；B1为白梭梭寄生根

A1~A27：Parasitic roots of *H. ammodendron*；

B1：Parasitic root of *H. persicum*

**图4 新疆不同采样点的肉苁蓉寄生根ITS聚类分析**

**Fig. 4 ITS clustering analysis of roots parasitized by *C. deserticola* from different sampling points of Xinjiang**

## 3 讨论

我国梭梭分布地区较为广泛，而白梭梭主要分布在新疆准噶尔盆地及其周边地区，不同的生态幅导致两者生物学性状差异较大。本研究表明梭梭同化枝顶端钝圆，而白梭梭顶端具芒尖，通过同化枝可以有效区分两者。花粉与植物其他器官相比，受环境因素影响较小，可为植物分类、物种鉴定及品种选育提供重要依据[15]。本研究发现梭梭花粉网眼较深、网脊颗粒结构数量显著少于白梭梭，且花粉体积小于白梭梭，不同花粉特征为两者分类鉴定提供了重要依据。相关分析表明梭梭和白梭梭农艺性状与气温、相对湿度等因子显著相关，梭梭对水分及光照等因子变化适宜能力较强，而白梭梭生长受气温和水分等因子限制较大。前人研究表明两种梭梭属植物在高温干旱的7-8月份会出现同化枝脱落和生长休眠现象，这与干旱环境下梭梭和白梭梭的自我保护机制有关[16]。本研究调查发现在相同的田间浇水管理措施下，宁夏种植基地多年生的梭梭长势相对较好，而白梭梭出现了夏季休眠现象，说明水分是制约白梭梭生长及分布的关键因子之一，这与沈亮等[17]开展脱水胁迫对梭梭和白梭梭光合作用影响的研究结果较为一致。另外，本研究发现在宁夏高温干旱的夏季，梭梭和白梭梭幼苗仍有较大生长量，没有出现“夏休眠”现象，这与育苗基地浇水频繁以及两者同为$C_4$植物具有较强的水分利用效率有关[18]。

目前，有关梭梭被肉苁蓉寄生的报道较多，但有关白梭梭被肉苁蓉寄生的报道相对较少。宁夏永宁县本草苁蓉种植基地在2002年引种了80亩白梭梭，期间接种了多次肉苁蓉种子，虽然白梭梭存活至今，但未能收获肉苁蓉药材，种植人员一直怀疑白梭梭能否寄生肉苁蓉。为此，本研究前期在新疆甘家湖梭梭林国家级自然保护区采集了肉苁蓉和寄主根材料，利用ITS鉴定技术[9-10]得出白梭梭可以被肉苁蓉寄生，同时在宁夏永宁县种植基地开展的田间寄生试验，也证实白梭梭能够被肉苁蓉寄生，而且发现种植基地白梭梭试验区的肉苁蓉寄生率高于梭梭。宁夏种植基地白梭梭未能收获寄生的肉苁蓉药材，这与白梭梭在引种地区缺水导致长势不良有关。相关分析表明白梭梭农艺性状与水分等因子显著相关，水分是限制白梭梭生长的重要因素。我国野生白梭梭主要分布在地下水位较高的新疆艾比湖周边地区，其他地区很少分布。宁夏永宁县本草苁蓉种植基地滴灌节水模式下的梭梭长势较好，但白梭梭因水分不足导致夏季长势不良，调查发现其部分须根及毛细根在夏季出现萎缩，这可能是导致已寄生的肉苁蓉因营养或水分不足而死亡的主要原因。本研究为梭梭属植物分类

鉴定、引种栽培以及肉苁蓉优良寄主种质筛选提供科学依据。

## 参考文献


[1] Jia Z Q，Lu Q，Guo B G. Progress in the study of psammophyte *Haloxylon*. Forest Research，2004，17(1)：125-132

[2] 张丹，马松梅，魏博，王春成，张林，闫涵. 中国梭梭属植物历史分布格局及其驱动机制. 生物多样性，2022，30(1)：42-51

Zhang D，Ma S M，Wei B，Wang C C，Zhang L，Yan H. Historical distribution pattern and driving mechanism of *Haloxylon* in China. Biodiversity Science，2022，30(1)：42-51

[3] Yang F，Lv G H. Metabolomic analysis of the response of *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* to drought. International Journal of Molecular Sciences，2023，24(10)：9099

[4] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：一部. 北京：中国医药科技出版社，2020：140-141

National Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of People's Republic of China：I. Beijing：The Medicine Science and Technology Press of China，2020：140-141

[5] 唐凌凌，教忠意. 国家重点保护野生植物名录及其变化分析. 福建林业科技，2022，49(4)：125-132

Tang L L，Jiao Z Y. Analysis and comparison of national key protected wild plants list. Journal of Fujian Forestry Science and technology，2022，49(4)：125-132

[6] 冯晓龙，刘冉，马健，徐柱，王玉刚，孔璐. 古尔班通古特沙漠白梭梭枝干光合及其影响因素. 生态学报，2021，41(24)：9784-9795

Feng X L，Liu R，Ma J，Xu Z，Wang Y G，Kong L. Photosynthetic characteristics and influencing factors of *Haloxylon persicum* stems（different diameter classes）in Gurbantonggut desert. Acta Ecologica Sinica，2021，41(24)：9784-9795

[7] 李雪，高广磊，孙桂丽，史浩伯，赵芳芳，马龙. 基于MaxEnt预测梭梭和白梭梭在新疆的潜在适生区. 西部林业科学，2021，50(1)：145-152

Li X，Gao G L，Sun G L，Shi H B，Zhao F F，Ma L. Potential suitable areas of *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* in Xinjiang based on MaxEnt. Journal of West China Forestry Science，2021，50(1)：145-152

[8] 陈虞超，李苗，吴明朝，宋玉霞. 梭梭属两种植物的根结构和成分. 植物生理学报，2013，49(11)：1273-1276

Chen Y C，Li M，Wu M Z，Song Y X. Structure and composition of roots in two species of *Haloxylon* Bunge. Plant Physiology Journal，2013，49(11)：1273-1276

[9] 孙芳芳，聂迎彬，马松梅，魏博，吉万全. 基于ITS和cpDNA序列的梭梭和白梭梭物种分化. 林业科学，2019，55(3)：43-53

Sun F F，Nie Y B，Ma S M，Wei B，Ji W Q. Species differentiation of *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* based on ITS and cp DNA sequences. Scientia Silvae Sinicae，2019，55(3)：43-53

[10] 胡晋，关亚静. 种子检验学. 第2版. 北京：科学出版社，2022：80-88

Hu J，Guan Y J. Seed testing science. 2nd end. Beijing：Science Press，2022：80-88

[11] Punt W，Hoena P P，Blackmoreb S，Nilsson S，Thomasc A L. Glossary of pollen and spore terminology. Review of Palaeobotany and Palynology，2007，143(1)：1-81

[12] 李苗，陈虞超，石磊，张丽，甘晓燕，宋玉霞. 梭梭属两种植物苗期生长特性比较研究. 农业科学研究，2012，33(1)：46-48

Li M，Chen Y C，Shi L，Zhang L，Gan X Y，Song Y X. Comparison study on seedling growth characteristics of two kinds of *Haloxylon* bunge plants. Journal of Agricultural Sciences，2012，33(1)：46-48

[13] 国家市场监督管理总局，国家标准化管理委员会. GB/T 41628-2022 肉苁蓉培育技术规程. 北京：中国标准出版社，2022

State Administration for Market Regulation，National Standardization Administration. GB/T 41628-2022 Code of practice for breeding of *Cistanche* spp. Ma. Beijing：China Standards Press，2022

[14] 沈亮，张飘，徐荣，王夏，朱军，李晓瑾，刘永萍，陈君. 盐生肉苁蓉寄主植物种类鉴定及分布区域分析. 植物遗传资源学报，2024，25(4)：660-667

Shen L，Zhang P，Xu R，Wang X，Zhu J，Li X J，Liu Y P，Chen J. Host plant species identification and distribution areas analysis of *Cistanche salsa*. Journal of Plant Genetic Resources，2024，25(4)：660-667

[15] 余小芳，张海琴，何雪梅，谢全，周永红. 鸢尾属12种(变种)植物花粉形态及其系统学意义. 园艺学报，2010，37(7)：1175-1182

Yu X F，Zhang H Q，He X M，Xie Q，Zhou Y H. Pollen morphology of 12 species of *Iris* L. and its systematic significations. Acta Horticulturae Sinica，2010，37(7)：1175-1182

[16] 王成云，魏岩，牟书勇，尹林克. 梭梭属植物同化枝的生长速率和PPO活性的季节性变化. 新疆农业大学学报，2006，29(4)：10-13

Wang C Y，Wei Y，Mu S Y，Yin L K. Seasonal change of growth rate and polphenol oxidase activity of assimilational twigs in *Haloxylon* Bunge. Journal of Xinjiang Agricultural University，2006，29(4)：10-13

[17] 沈亮，陈君，刘赛，徐荣，徐常青，刘同宁. 脱水胁迫和光合日变化对梭梭和白梭梭叶绿素荧光参数的影响. 应用生态学报，2015，26(8)：2321-2328

Shen L，Chen J，Liu S，Xu R，Xu C Q，Liu T N. Influence of dehydration and diurnal variation on characteristics of chlorophyll fluorescence of leaves in *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum*. Chinese Journal of Applied Ecology，2015，26(8)：2321-2328

[18] 苏培玺，安黎哲，马瑞君，刘新民. 荒漠植物梭梭和沙拐枣的花环结构及$C_4$光合特征. 植物生态学报，2005，29(1)：1-7

Su P X，An L Z，Ma R J，Liu X M. Kranz anatomy and $C_4$ photosynthetic characteristics of two desert plants，*Haloxylon ammodendeon* and *Calligonum mongolicum*. Acta Phytoecologica Sinica，2005，29(1)：1-7