

# 食松、油松和樟子松抗旱水分生理比较研究

白洁冰, 王志刚, 陈飞, 李天菊, 韩刚\*

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘要:**在严重干旱胁迫条件下,对食松、油松和樟子松苗的针叶相对含水量、束/自比值、保水力、清晨叶水势、蒸腾速率、质膜相对透性和丙二醛含量等水分生理指标及苗木伤害指标进行了比较研究,并应用隶属函数值法对三树种基于以上7项指标的抗旱性进行了综合评价。食松抗旱性仅略低于樟子松,但明显优于油松。在以水分为主要限制因子的干旱半干旱区,食松有着广泛的适生范围,陕西境内的毛乌素沙区、黄土高原丘陵沟壑区及渭北旱塬区均具有发展前景。

**关键词:**食松;油松;樟子松;抗旱性;水分生理

**中图分类号:**S718.43

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-7461(2008)01-0010-04

Water Physiology of *Pinus edulis* Engelm., *P. tabulaeformis* and  
*P. sylvestris* var. *mongolica* under Drought Stress

BAI Jie-bing, WANG Zhi-gang, CHEN Fei, LI Tian-ju, HAN Gang\*

(College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Under severe drought stress, some physiological and seedling damage indices of *Pinus edulis* Engelm., *P. tabulaeformis* and *P. sylvestris* var. *mongolica* were comparatively studied such as needle leaf relative water content, ratio of bound water to free water, ability of keeping water, water potential in the morning, transpiration rate, relative permeability of plasmalemma and MDA content. The drought resistances of three *Pinus* species trees were evaluated comprehensively by using subordinate function values based on seven indices above mentioned. The results showed that drought resistance of *P. edulis* Engelm. was slightly lower than *P. sylvestris* var. *mongolica*, but significantly higher than *P. tabulaeformis*. There existed a broad range fitting to *P. edulis* Engelm. growing in arid and semi-arid area, indicating its potential extension value in Maowusu sandland, loess hilly-gully region and Weiwei dryland region.

**Key words:** *Pinus edulis* Engelm.; *Pinus tabulaeformis*; *Pinus sylvestris* var. *mongolica*; drought resistant; water physiology

黄土高原和毛乌素沙地南缘农牧交错区生态环境恶化,造林树种贫乏,适宜该地区生长的树种、草种很少,特别是经济林木更少,退耕还林后树种单一,经济效益较低。因此,引种适宜于本地区栽植的国外抗逆性较强且具有一定经济价值的树种,对西北地区的水土保持和荒漠化治理具有重要意义。食松(*Pinus edulis* Engelm.)属松科松属常绿针叶小乔木,为美国干旱和半干旱地区重要的水土保持树种和城乡绿化树种<sup>[1,2]</sup>,抗逆性极强。食松种子营养价值极高,价格昂贵,具可观的经济效益。自2002年

从美国引种以来,已在陕西境内毛乌素沙区南缘的横山县、黄土高原丘陵沟壑区的安塞县及早塬区的凤翔县营造试验林,生长良好,表现出很强的适应性。为进一步扩大引种栽植范围,于2006年以乡土树种油松(*Pinus tabulaeformis*)和樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)作为对比,采用盆栽控水的方法进行了土壤水分胁迫条件下,3种树种水分生理及伤害指标的比较研究,综合评价了3种树种水分特征所反映的抗旱性差异,以期食松适生区域的合理选择提供理论依据。

收稿日期:2007-04-05 修回日期:2007-05-19

基金项目:国家林业局“948”项目“抗逆性可食松及栽培技术引进”(2001-37);西北农林科技大学大学生科技创新项目。

作者简介:白洁冰(1985-),男,河南许昌人,本科学士,林学专业。

\*通讯作者:韩刚(1972-),助理研究员。主要从事林木抗旱生理研究。E-mail:zxphg@nwsuaf.edu.cn。

1 材料与方 法

盆栽试验设在西北农林科技大学林学院试验苗圃内,位于杨陵区李台乡,海拔 454.5 m,年均日照时数 2 150 h,年均气温 12.9℃,极端最高气温 42℃,极端最低气温-19.4℃,无霜期 207 d,年均降雨量 635 mm<sup>[3]</sup>。

1.1 材料与处理

试验用食松、油松和樟子松均为 2 年生实生苗,平均苗高和地径分别为 14.5 cm 和 0.660 cm;13.5 cm 和 0.323 cm;18.5 cm 和 0.424 cm。

采用盆栽试验,使用塑料桶装入生黄土与河沙的混合物(生黄土:河沙=3:1),测定该沙土田间最大持水量为 21.08%。于 2005 年 2 月下旬植入桶中,每桶 1 株,每树种植 10 桶,共计 30 桶。定植后放置于可移动式防雨棚内,防止天然降雨,晴天正常照光,各处理充分供水,以保证成活和正常生长。至 7 月底每天称重待土壤水分自然消耗至田间持水量的 35%,即土壤含水量为 7.38%(严重干旱),继续每天称重,并补充其水分消耗,使土壤水分稳定在田间持水量的 35%。

1.2 方 法

干旱胁迫持续 30 d 后,采集苗木中部南向功能叶片测定苗木生理指标。

相对含水量用水饱和法。自由水和束缚水用阿贝斯折射仪法。清晨叶水势用压力室法。清晨于苗

干中部用单面刀割取小枝,然后快速放入压力室测定其清晨叶水势值。

保水力用自然干燥称重法。每个处理选取 2~3 片针叶,叶片充分饱和后、记下饱和鲜重值。放到室内通风条件下自然干燥(记录室内湿度和温度),每隔 2 h 用万分之一天平测其重量,直到基本恒重。最后将叶片烘干,称取干重。根据所得数据,计算总失水量占总水量比例。

日均蒸腾速率用快速离体称重法。取 2 束针叶称量鲜重后放到与植物生长环境相一致的地方,3 min 后称量叶片重。以烘干重为基数计算蒸腾速率。以 8、10、12、14、16 时为时刻每隔 2 h 测定 1 次。计算日平均值。

细胞质膜透性用 DDS-11A 电导仪测定。丙二醛(MDA)含量用硫代巴比妥酸法测定。

各指标测定均重复 3 次。

2 结果与分 析

2.1 干旱胁迫下 3 树种的水分生理特征

从表 1 针叶相对含水量来看,樟子松作为毛乌素沙区极为耐旱的适生树种,在干旱胁迫 30 d 后,针叶相对含水量仍维持在 83.45%,而油松仅为 76.95%,食松表现出极大的优势,针叶相对含水量高达 88.15%,分别较樟子松和油松高出 5.63%和 14.55%。

表 1 干旱胁迫下食松、油松和樟子松水分生理特征

Table 1 Water physiological characteristic of *Pinus edulis*, *P. tabulaeformis* and *P. sylvestris* var. *mongolica* under severe drought stress

树种	针叶相对含水量 /%	束缚水/自由 水比值	保水力/ %	清晨叶水势 /MPa	日均蒸腾速率 /(g·g <sup>-1</sup> DW)	质膜相对透性 /%	MDA 含量 /(μmol·g <sup>-1</sup> FW)
食松	88.15	0.419 9	11.66	-0.99	0.0102	27.66	11.829 9
油松	76.95	0.208 3	34.25	-1.625	0.0158	39.74	22.902 7
樟子松	83.45	0.626 0	16.96	-1.025	0.0101	22.20	11.248 3

3 树种束缚水和自由水含量比值(表 1)在 30 d 干旱胁迫处理后,樟子松高达 0.626 0,其中束缚水含量已占据总水分的一半以上,食松达到了 0.419 9,而油松最低仅有 0.208 3,束缚水只占到总水分的 1/5,三者具有显著差异。

3 树种干旱胁迫 30 d 后保水力测定显示(表 1),食松针叶自然失水至恒重仅失水 11.66%,樟子松次之为 16.96%,两者均显著低于油松 34.25%的失水量。

表 1 中清晨叶水势反映了在经历 30 d 严重干旱后 3 树种水分亏缺程度的差异,三者中食松具有

最高的清晨叶水势达-0.99MPa,分别较樟子松和油松高出 3.41%和 39.08%。樟子松清晨叶水势为-1.025 MPa,较油松高出 36.92%。

表 1 中食松和樟子松的日均蒸腾速率几乎是相等的,油松则高于二者 56%以上。

从表 1 质膜相对透性和丙二醛含量来看,樟子松都是最低的。食松略高于樟子松,质膜相对透性增加了 24.59%,丙二醛含量增加了 5.17%。而油松由于 30 d 的严重干旱质膜相对透性较樟子松和食松分别增加了 79.01%和 43.67%,丙二醛含量分别增加了 103.61%和 93.60%。

## 2.2 水分生理及伤害指标的抗旱性隶属函数值分析

隶属函数值分析提供了一条在多指标测定的基础上对材料进行综合评价的方法<sup>[4,5]</sup>。以上述7项水分生理及苗木伤害指标应用隶属函数值法,对3树种主要基于水分生理特征所反映的抗旱性进行了综合评价。

表2 食松、油松和樟子松抗旱性的隶属函数值法评价

Table 2 Comprehensive evaluation on drought resistance of *Pinus edulis*, *P. tabulaeformis*, and *P. sylvestris* var. *mongolica*, based on subordinate function values

树种	针叶相对含水量	束缚水自由水比值	保水力	清晨叶水势	日均蒸腾速率	质膜相对透性	MDA含量	平均值	抗旱性排序
食松	1	0.506 5	1	1	0.974 6	0.688 6	0.950 1	0.874 2	2
油松	0	0	0	0	0	0	0	0	3
樟子松	0.580 6	1	0.765 4	0.944 9	1	1	1	0.898 7	1

从表2结果来看,樟子松与食松的隶属函数平均值相差不到3%,二者远大于油松。3树种基于水分生理和伤害指标所反映的抗旱性强弱排序结果为樟子松>食松>油松。

## 3 结论与讨论

3.1 相对含水量受环境的影响较小,比较稳定,常被作为抗旱性指标用于鉴定植物抗旱性大小<sup>[6,7]</sup>。一般认为,植物抗旱性越强,则相对含水量值就越大。从针叶相对含水量的数据分析来看,食松具有极强的保水吸水和抗脱水能力,即使在严重干旱下30 d,也能保持苗木体内相对较高的水分含量,保证了各项代谢活动及生理功能的正常进行,从而有效抵御干旱对苗木的伤害。

通常把树木体内束缚水和自由水含量比值常作为抗旱生理指标之一,比值高的有较强的抗旱性<sup>[8,9]</sup>。可以看出从束缚水和自由水比值所反映的抗旱性樟子松、食松明显强于油松。

保水力(持水力)是叶片经饱和吸水后自然失水至基本恒重时,总失水量占水量比例。它反映了树木保持水分的能力,常被用来评价树木耐旱能力<sup>[10,11]</sup>。一般来说,失水速度越慢,达到恒重时间越长,遗留水分越多,则抗旱性越强。可看出食松、樟子松均具有较强的保水力。许多研究结果证实,植物的保水力与束缚水含量有关,束缚水含量多,干旱时植物体内保持的水量也就多。因此再次印证了食松和樟子松所具有的高束缚水和自由水比值。

水势是植物水分状况的重要指标之一,能直接反映植物的水分亏缺程度。当植物从白天进入夜间  
万方数据

隶属函数值计算公式:

$$U(x_i) = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$$

式中 $U(x_i)$ 为隶属函数值, $x_i$ 为指标测定值, $x_{\max}$ 和 $x_{\min}$ 和为3个参试树种叶片某一指标的最大值和最小值。如果某一指标与树种抗旱性为负相关,则利用反隶属函数进行转换,计算公式为:

$$U(x_i) = 1 - (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$$

后,水势就处于平稳恢复阶段,直到第二天早晨日出前后恢复到最高值,这时土壤—植物—大气系统水势变化在一日内处于最稳定时期,此时最高水势称作清晨叶水势,反映了植物水分的恢复状况,可以判断植物水分亏缺程度<sup>[12]</sup>。食松和樟子松的水分亏缺程度显著小于油松,这一方面是由于食松和樟子松在日间较油松保持了更多的水分,另一方面则反映出食松和樟子松进入夜间后较油松强大的水分恢复能力,可以更大程度的利用土壤中有限的水分资源,因此显示了对干旱逆境更强的适应性。

植物的蒸腾作用在植物水分代谢中起着重要的调节支配作用,它反映了水分在植物体内的运转状况<sup>[13]</sup>。蒸腾作用比光合作用对水分胁迫的反应更为敏感,蒸腾速率下降是植物对干旱适应的一种反应,有利于保持体内水分,维持正常的生理功能。严重干旱下由于土壤水分的有限性,油松的高蒸腾必然会导致其体内水分的大量丧失,会对油松造成一定的伤害。而食松和樟子松由于针叶在形态解剖结构上所具有的低耗水特性,使二者的蒸腾速率较低,同时由于干旱胁迫,引起气孔关闭,导度减小,降低了蒸腾速率。

植物受到水分胁迫后体内形成过多的生物自由基,会导致膜脂过氧化水平增高,膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)含量增加,同时也会使膜系统相对透性增大,这是干旱伤害植物的重要原因之一<sup>[14~16]</sup>。大量研究发现抗旱性强的植物膜脂过氧化水平低,因此可通过测定水分胁迫下质膜的相对透性和MDA含量来评定树木的抗旱性。从结果来看干旱对樟子松所造成的伤害是最小的,食松次之,而油松造成的

伤害已非常明显。反映了油松在干旱下对生物自由基的清除,维持膜系统稳定性方面相比樟子松及食松有一定的差距。进一步的干旱胁迫将会导致伤害加深,最终造成苗木死亡。

**3.2 应用隶属函数值法,三树种基于以上7项指标的抗旱性综合排序为樟子松>食松>油松。**但从7项指标的隶属函数平均值来看,食松和樟子松抗旱性基本处于同一水平,因此在樟子松适生的毛乌素沙区,尽管干旱缺水,仍有着良好的生长表现。与油松相比,食松抗旱性明显强大的多,因此在油松的适生分布区,水分条件相对较好,使食松更具有了生长发展空间。综合来看,在以水分为主要限制因子的干旱半干旱区,食松有着广泛的适生范围,陕西境内的毛乌素沙区、黄土高原丘陵沟壑区及渭北旱塬区均具有发展前景。

#### 参考文献:

- [1] 韩恩贤,韩刚,武建超. 黄土高原引进美国可食松可行性分析[J]. 陕西林业科技, 2002(4): 7-9.
- [2] 吴中伦. 国外树种引种概论[M]. 北京: 科学出版社, 1983. 89-91.
- [3] 彭少兵,王德祥,彭禹磊. 用正交设计优化四翅椴的育苗方法[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(2): 85-87.
- [4] 施积炎,丁贵杰,袁小凤. 不同家系马尾松苗木水分参数的研究[J]. 林业科学, 2004, 40(3): 51-55.
- [5] 周广生,周竹青,朱旭彤. 用隶属函数法评价小麦的耐湿性[J]. 麦类作物学报, 2001, 21(4): 34-37.
- [6] 郭连声,田友亮. 八种针阔叶幼树清晨叶水势与土壤含水量关系及其抗旱性研究[J]. 生态学杂志, 1992, 11(2): 4-7.
- [7] 谢寅峰,沈惠娟,罗爱珍,等. 南方七个造林树种幼苗抗旱生理指标的比较[J]. 南京林业大学学报, 1999, 23(4): 13-16.
- [8] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990. 1-3.
- [9] 李雪华,蒋德明,范士香,等. 科尔沁沙地4种植物抗旱性的比较研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1385-1388.
- [10] 裴保华,陈绍光. 741 杨耐旱性的研究[J]. 河北林学院学报, 1994, 9(4): 282-287.
- [11] 杨敏生,秦安臣,丛金山. 白杨双交无性系抗旱性鉴定研究[J]. 河北农业大学学报, 1997, 20(1): 17-23.
- [12] 韩蕊莲,梁宗锁,邹厚远. 四个树种在干旱下的生理适应性研究[J]. 西北林学院学报, 1991, 6(4): 23-28.
- [13] 杨文斌. 干旱区几种树木的蒸腾速率及其与环境的比较[J]. 干旱区研究, 1988, 5(4): 47-55.
- [14] 王爱国,罗广华. 羟自由基启动下的脱氧核糖降解及其产物的TBA反应[J]. 生物化学与生物物理进展, 1993(20): 150-152.
- [15] 蒋进,高海峰. 桉柳属植物抗旱性排序研究[J]. 干旱区研究, 1992, 9(4): 41-44.
- [16] Dong J G, Olson D Silverstone A, Yang SF. Sequence of a Cdna coding for a 1-aminocyclopropan-1-carboxylate oxidase homolog from apple fruit[J]. Plant Physiol, 1982, 98: 1530-1531.
- [17] Mott K A. Sensing of atmospheric CO<sub>2</sub> by plants [J]. Plant, Cell Environm, 1990, (13): 731-737.
- [18] 张小全,徐德应,赵茂盛,等. CO<sub>2</sub>增长对杉木中龄林针叶光合生理生态的影响[J]. 生态学报, 2000, 20(3): 390-396.
- [19] 龚伟,宫渊波,胡庭兴,等. CO<sub>2</sub>浓度升高对湿地松针叶蒸腾特性和水分利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 178-182.
- [20] Berryman C A. Stomatal responses to a range of variables in two tropical tree species grown with CO<sub>2</sub> enrichment [J]. J. Exp. Bot., 1994, 45: 539-546.
- [21] Morison J I L, Gifford R M. Stomatal sensitivity to carbon dioxide and humidity[J]. Plant Physiol, 1983, 71: 789-796.

#### (上接第9页)

- [13] Mott K A. Sensing of atmospheric CO<sub>2</sub> by plants [J]. Plant, Cell Environm, 1990, (13): 731-737.
- [14] 张小全,徐德应,赵茂盛,等. CO<sub>2</sub>增长对杉木中龄林针叶光合生理生态的影响[J]. 生态学报, 2000, 20(3): 390-396.
- [15] 龚伟,宫渊波,胡庭兴,等. CO<sub>2</sub>浓度升高对湿地松针叶蒸腾