

不同苗龄沙地柏抗旱生理特性比较研究

赵秀莲^{1,2}, 夏新莉², 尹伟伦², 江泽平¹, 肖文发³, 刘建锋^{1*}

(1 中国林业科学研究院林业研究所 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091; 2 北京林业大学 生物学院, 北京 100083; 3 中国林业科学研究院 森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

摘要:以相同来源的 1、3、5 年生沙地柏幼苗为材料, 采用室内生长池人工控水模拟不同干旱胁迫条件, 对 10 个抗旱相关生理指标进行考察, 探讨沙地柏苗龄对其抗旱特性影响。结果表明: (1) 沙地柏叶片的保水力、细胞膜透性、RuBP 羧化酶活性在胁迫前不同苗龄间差异显著, 而叶片相对水分亏缺、气孔导度等指标不同龄苗间差异不显著。 (2) 在干旱胁迫条件下, 随土壤含水量的降低, 不同苗龄沙地柏的叶片水分亏缺、气孔导度差异一直不显著, 而其净光合速率、蒸腾速率、水分利用率、胞间 CO₂ 浓度在 6.78% 土壤水分含量时出现显著差异; 当土壤水分含量降低到 4.52% 时, 不同苗龄的叶片光量子效率也出现显著差异。 (3) 各苗龄组随着干旱胁迫的加剧, 5 年生沙地柏净光合速率、RuBP 羧化酶活性、光量子效率显著低于 1 年生沙地柏, 而其胞间 CO₂ 浓度显著高于 1、3 年生沙地柏, 并且其气孔导度、蒸腾速率随土壤水分含量降低而下降的幅度最大, 水分利用率增加幅度比 1、3 年生的更多。研究表明, 不同苗龄沙地柏幼苗抗旱性指标对于干旱胁迫的响应程度存在差异, 抗旱指标对苗龄的稳定性不同; 干旱胁迫条件下低苗龄沙地柏比高苗龄的生长势更强, 更有生命活力, 但高苗龄沙地柏对水分胁迫的适应能力强于低苗龄; 另外, 在进行抗旱鉴定时, 试验苗木年龄最好一致, 抗旱鉴定指标选取也需考虑其对材料年龄的敏感性及稳定性。

关键词: 沙地柏; 苗龄; 抗旱性; 生理指标; 差异

中图分类号: Q945.78

文献标志码: A

Age-based Variation of Several Drought-resistance Physiological Characteristics for *Juniperus sabina*

ZHAO Xiulian^{1,2}, XIA Xinli², YIN Weilun², JIANG Zeping¹, XIAO Wenfa³, LIU Jianfeng^{1*}

(1 Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation of State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091 China; 2 College of Biology, Beijing Forestry University, Beijing, 100083 China; 3 Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Variations of age or developmental stage could influence plants' ability for drought resistance. Ten drought-resistance physiological characteristics of *Juniperus sabina* at three ages were measured in this paper. Results indicated that: (1) The values of water-losing rate were already significantly different among different seedling ages under the condition of normal water supply, so were relative permeability of membrane and RuBP activity. But there was no significantly difference on relative water deficiencies (RWD), stomatal conductance (G_s), net photosynthesis (P_n) rate etc. among these three seedling ages. (2) Under water stress, there was still no significant difference on RWD and G_s among these three seedling ages all along. The P_n , transpiration rate (T_r), water use efficiency (WUE) and intercellular carbon dioxide concentration (C_i) of these three seedling ages were significantly different when the SWC is 6.78%. As the

收稿日期: 2013-05-13; 修改稿收到日期: 2013-11-15

基金项目: 国家林业局“948”项目(2006-4-55); 国家“十二五”科技支撑项目(2011BAD38B01)

作者简介: 赵秀莲(1979—), 女, 博士, 主要从事植物生理生态学相关研究。E-mail: aimzhaoxl@sina.com

* 通信作者: 刘建锋, 博士, 副研究员, 主要从事树木地理与生理生态学研究。E-mail: liujf@caf.ac.cn

SWC got down to 4.52%, significant difference appears among these three ages on their light-use efficiency. (3) Comparison of these three age-groups showed that P_n , RuBP activity and light-use efficiency of the 5-year old seedlings were significantly lower than that of the 1-year old seedlings' under water stress. Nevertheless, C_i , magnitude of the declines in G_s and T_r , and magnitude of the increase in WUE of the 5-year old seedlings were significantly higher than that of the 1 and 3-year old seedlings'. Thus it can be seen that seedlings' responses to drought stress may differ between different seeding ages. The stability of the drought-resistance indicators to age were different. The 1-year old seedlings have more life vitality than 5-year old seedlings and the 5-year old seedlings were much more adaptable to water stress. We should better choose the materials at the same age during drought resistance appraisal, and the sensitivity and stability of indicators to seedlings' age must be considered.

Key words: *Juniperus sabina*; seedling age; drought resistance; physiological characteristics; variation

长期以来,中国辽阔的干旱半干旱地区一直是生态环境建设的重点区域,这里水资源贫乏,生态环境脆弱,加上不合理的土地利用、植被破坏,生态环境持续恶化,严重制约着当地乃至全国的经济发展和人民生活水平的提高。抗旱性林木优选与评价是解决该地区植被恢复问题、改善该地区生态环境的重要内容^[1]。多年来,专家和学者对林木抗旱品系的选择^[2-6]及抗旱鉴定有效方法与指标的筛选^[7-9]均进行过不同程度的研究,并取得了很多成果。然而,以往研究多以1~2年生林木幼苗为试验材料,而林木的生长周期较长,幼树的抗旱特性是否与成年树的抗旱特性表现一致还未知。有研究发现,太行山区主要造林树种的保水力在不同年龄间存在差异,且不同树种随年龄的变化趋势不同,油松(*Pinus tabulaeformis*)随着年龄的增加而下降,而侧柏(*Platycladus orientalis*)则有所增强^[10];18年生杉木在不同季节不同部位针叶的光合能力均表现出当年生大于1年生,1年生大于2年生的趋势^[11];2年生常春藤的抗旱性强于1年生^[12]。可见,植物的抗旱性特性与其年龄和发育阶段存在着一定关系。但目前有关林木的年龄对其抗旱性影响的研究还很不深入,仅见少数文献对几个树种有限指标进行了对比^[13-14]。

沙地柏(*Juniperus sabina*)又名臭柏,是中国西北干旱、半干旱地区山地、沙地及草地上自然分布的一种优势针叶灌木^[15-16],以其适应范围广、抗旱、固沙、抗风蚀能力强、萌蘖能力旺盛、群聚度高等优良特性日益受到人们重视^[17-20]。何维明等^[18]对其研究认为,3年生沙地柏在水分散失及水分利用效率方面与5年生沙地柏存在明显差异。因此,本试验选用同一种源的3个不同苗龄沙地柏为材料,在已有研究的基础上^[21-22],分析了不同苗龄沙地柏抗旱特性差异,以年龄作为独立因素,探讨不同抗旱指标

对试验材料年龄的敏感性,以期沙地柏抗旱种源筛选及抗旱机制的研究提供一定理论依据和参考,为林木抗旱性高效鉴定研究提供新的资料。

1 材料和方法

1.1 材料和试验设计

试验材料来自山西大同,采用随机区组试验设计将1、3、5年生沙地柏移栽入中国林业科学研究院温室6个生长池内,每个生长池15株,其中每个年龄5株。生长池用木板订制而成,规格为2.00 m×1.50 m×0.45 m,土壤基质为细沙,其水分特征曲线见图1。苗木移栽后,每周灌水1次,使土壤水势在-0.1~ -0.15 MPa范围内(土壤水分含量>15%)。

移栽苗木恢复正常生长后采用自然干燥法控水设置水分梯度。6个生长池随机分成A、B、C等3组,每组2个生长池,A组作为对照继续每周1次正常浇水,B组再继续灌水2次以后不再浇水,C组一直不再灌水。设置控水8周时,从A组、C组生长池中每个年龄选定生长旺盛的沙地柏5株,测定水分亏缺和膜透性指标(因为B组生长池中植物水势

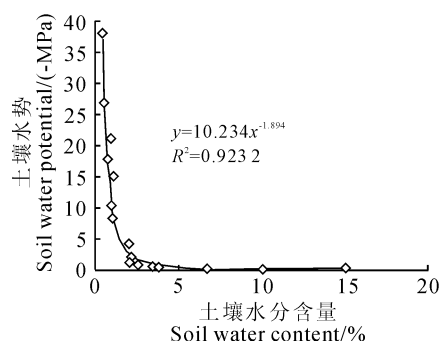


图1 生长池中土壤水分特征曲线

Fig. 1 Water character of the soil in the experimental growth pool

表 1 不同控水处理对土壤水分状况(离地表 20 cm)及植物水分状况的影响

Table 1 Effects of different watering treatments on soil (20 cm depth) and plant water characteristics

生长池 Growth pool	控水 8 周 Control watering for 8 weeks				控水 10 周 Control watering for 10 weeks			
	控水时间 No watering time/d	土壤水分含量 Soil water content/%	土壤水势 Soil water potential/MPa	植物水势 Plant water potential/MPa	控水时间 No watering time/d	土壤水分含量 Soil water content/%	土壤水势 Soil water potential/MPa	植物水势 Plant water potential/MPa
A(CK)	0	15.13±2.57a	-0.06±0.016a	-0.52±0.067a	0	16.06±2.03a	-0.05±0.019a	-0.48±0.083a
B	42	8.02±1.86b	-0.19±0.017b	-0.77±0.134a	56	6.78±1.12b	-0.27±0.027b	-1.97±0.281b
C	56	6.67±0.96c	-0.29±0.035c	-1.89±0.151b	70	4.52±0.88c	-0.35±0.045c	-2.95±0.415c

注:A.正常灌水处理组;B.正常灌水2周后开始干旱处理组;C.未灌水干旱处理组;表中数值为平均值±标准差;土壤水分含量和土壤水势样本数(n)为14,植物水势样本数(n)为9(每个年龄3个样品);同列不同字母表示差异显著($P<0.05$);下同。

Note: A, B and C represent treatment with normal watering(CK), treatment with normal watering for 2 weeks and treatment without watering, respectively. The values are mean±standard deviation(n=14 for values of soil water content and soil water potential;n=9 for values of plant water potential, 3 samples each age). Values with the same letter are not significant difference at 0.05 level. The same as below.

未与 A 组形成显著差异,所以只测 A、C 2 组生长池)。设置控水 10 周时,A 组、B 组、C 组形成 3 个水分梯度,从各组中每个年龄选定沙地柏 5 株测定其余各项生理指标。3 组生长池的控水时间及植物与土壤的水分状况见表 1。

1.2 指标测定方法

1.2.1 保水力 选定晴天上午 8:00 取样,鲜样称重后叶片摊于室内桌面上,自然失水,相对温度(26±2)℃,相对湿度(46±5)%,定时称重至基本恒重,计算每一时刻累计失水量占叶片总水量的百分比。

1.2.2 相对水分亏缺(RWD) 取叶后,测定叶片鲜质量(F_w),叶片置于 4℃完全黑暗的环境中吸水 6 h 称饱和质量(T_w),最后置于 60℃烘箱中 48 h 称干质量(D_w)。

$$RWD(\%) = (T_w - F_w) / (T_w - D_w) \times 100\%$$

1.2.3 膜透性 取植株茎段中部功能枝叶,冲洗表面灰尘,蒸馏水浸洗 0.5 h,重蒸水冲洗 3 次,吸干表面水分,将枝叶剪成 0.3 cm 的小段,取 0.3 g 放入试管中,加蒸馏水 10 mL 恒温振荡浸泡 24 h,室温下测定初始电导率,然后将样品在沸水浴中煮沸 30 min,冷却至室温条件下测得总电导率。利用初始电导率与总电导率的比值,计算相对电导率,表示质膜相对透性。

1.2.4 气体交换参数 采用 Li-6400 光合分析仪,上午 9:00~10:00,设定叶室内CO₂浓度375 μmol ·

mol⁻¹,温度27℃,光合有效辐射(PAR)1 300 μmol · m⁻² · s⁻¹,测定净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)及胞间 CO₂ 浓度(C_i)。植物瞬时水分利用率用 P_n/T_r 值表示;设置不同光强测取光响应曲线,光量子效率用 P_n -PAR 曲线初始斜率表示^[23];设置不同 CO₂ 浓度测取 CO₂ 响应曲线,RuBP 羧化酶活性用 P_n - C_i 曲线初始斜率表示^[24]。

1.2.5 土壤含水量(SWC) 采用 S 形取样法,每个生长池 7 个点,取土壤表面向下 20 cm 土样,称鲜重后 105℃烘干 8 h 称干重。

$$SWC = (\text{土壤鲜重} - \text{土壤干重}) / \text{土壤鲜重} \times 100\%$$

1.2.6 土壤及植物的水势 用 WP₄ 露点水势仪测定。

1.3 统计分析

运用 Excel 2010 和 SPSS 18.0 软件进行绘图与数据处理,采用 One-way ANVOA 方法进行方差分析($P<0.05$),对于差异显著的指标运用 LSD 检验进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 沙地柏离体叶片保水力比较

单位时间内离体叶片失水量可以反映树木组织的抗脱水能力,即保水力^[25]。表 2 结果显示,自然失水 3~57 h 后,沙地柏叶片失水率在 3 个不同年

表 2 不同年龄沙地柏叶片失水率比较

Table 2 Comparison of water-losing rate of *J. sabina* at different ages(n=5)

年龄 Age/a	自然干燥时间 Water-losing time/h						
	3	6	9	21	33	57	129
1	14.01±1.56a	21.05±2.77a	25.81±2.82a	36.21±3.29a	45.81±3.63a	69.26±3.88a	92.85±2.28a
3	12.45±1.67b	17.91±2.97b	21.22±3.03b	31.74±3.54b	40.46±3.91b	63.71±4.18b	91.87±2.46a
5	11.26±1.70b	14.95±3.02b	18.05±3.08b	27.62±3.60b	36.49±3.97b	57.05±4.24b	93.87±2.45a

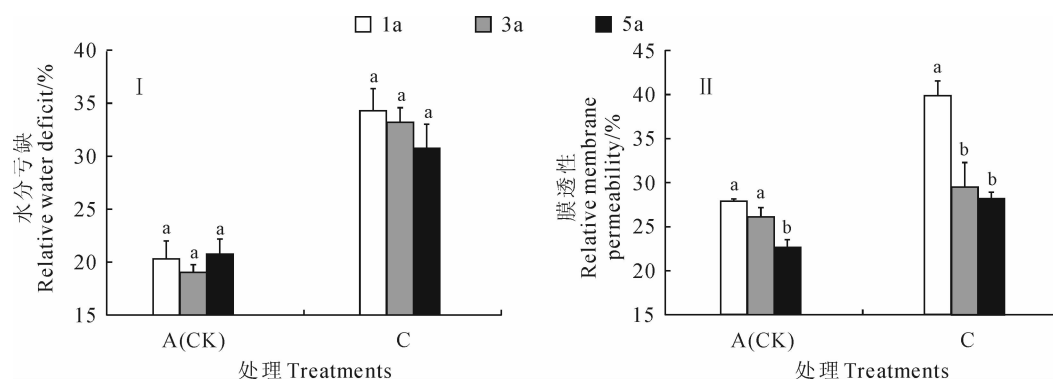


图2 处理8周时不同水分条件下各苗龄沙地柏的水分亏缺和膜透性

1a、3a、5a代表1年生、3年生、5年生沙地柏；误差线代表标准差(n=5)；不同小写字母表示在0.05水平差异显著；下同

Fig. 2 Mean values of relative water deficit and relative membrane permeability

of *J. sabina* at different ages under water stress for 8 weeks

1a, 3a, 5a mean 1-year old, 3-year old and 5-year old seedlings. Error bars represent $\pm$ standard deviation (n=5).

The bars with the different normal letters are significantly different at 0.05 level. The same as below

龄组存在显著差异，且均表现为1年生沙地柏失水率显著高于3、5年生沙地柏；3年生沙地柏失水率虽然高于5年生沙地柏，但差异不显著。表明在此时间范围内1年生沙地柏幼苗叶片保水能力最差。自然失水129 h后，各年龄沙地柏叶片失水率均达到90%以上，差异显著性消失，保水力相近。

2.2 沙地柏叶片水分亏缺和细胞膜透性比较

RWD是植物达到充分饱和和所需要的水分量，相同的土壤水分条件下，比较各树种间RWD，可以反映它们维持水分平衡能力的大小^[26]。本研究结果(图2, I)表明，在正常供水条件下(A组)，沙地柏各年龄幼苗叶片间RWD相近；随着土壤水分含量降低，3个不同年龄沙地柏幼苗叶片RWD都有所增加，但不同年龄沙地柏RWD不存在显著差异。说明无论在胁迫前还是在胁迫后，年龄因素对沙地柏的RWD影响不显著。

细胞膜是细胞与环境物质进行交换的主要通道，水分胁迫条件下细胞膜的相对电导能反映膜的稳定性，是林木抗旱性鉴定中常用指标^[27-28]。本研究结果(图2, II)表明，各年龄沙地柏膜透性在未受水分胁迫和水分胁迫条件下均存在显著性差异。在未受水分胁迫条件下(A组)，1年生沙地柏与3年生沙地柏膜透性显著高于5年生的沙地柏。经水分胁迫后(C组)，1年生沙地柏膜透性显著高于3年和5年生的沙地柏，而后两者无显著差异；同时，水分胁迫后各年龄苗木的膜透性均不同程度地增加，3年生的增加最小，而1年生的增加程度最大。说明3年生苗木受水分胁迫影响最小，而1年生苗木受水分胁迫影响最大。

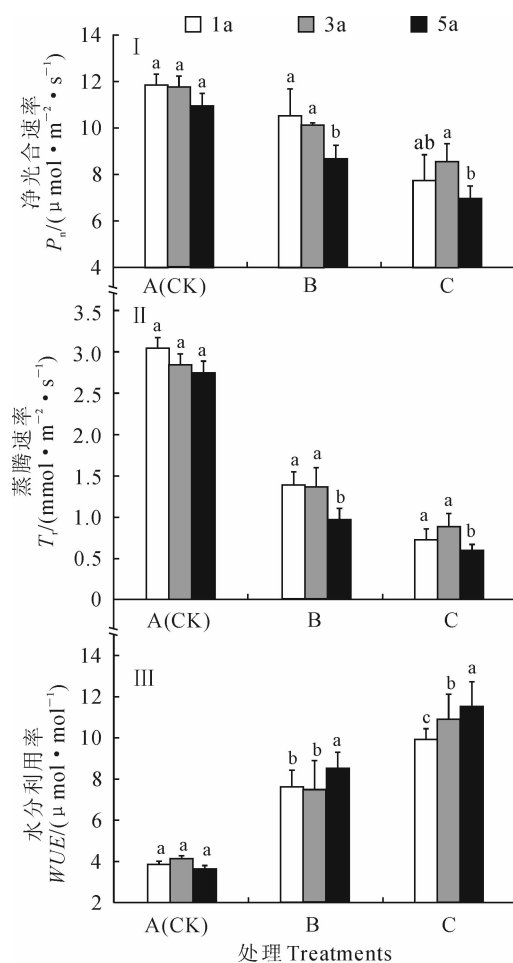


图3 处理10周时不同水分条件下各苗龄沙地柏的净光合速率(I)、蒸腾速率(II)和水分利用率(III)

Fig. 3 Comparison of P_n (I), T_r (II) and WUE (III) of *J. sabina* at different ages under water stress for 10 weeks

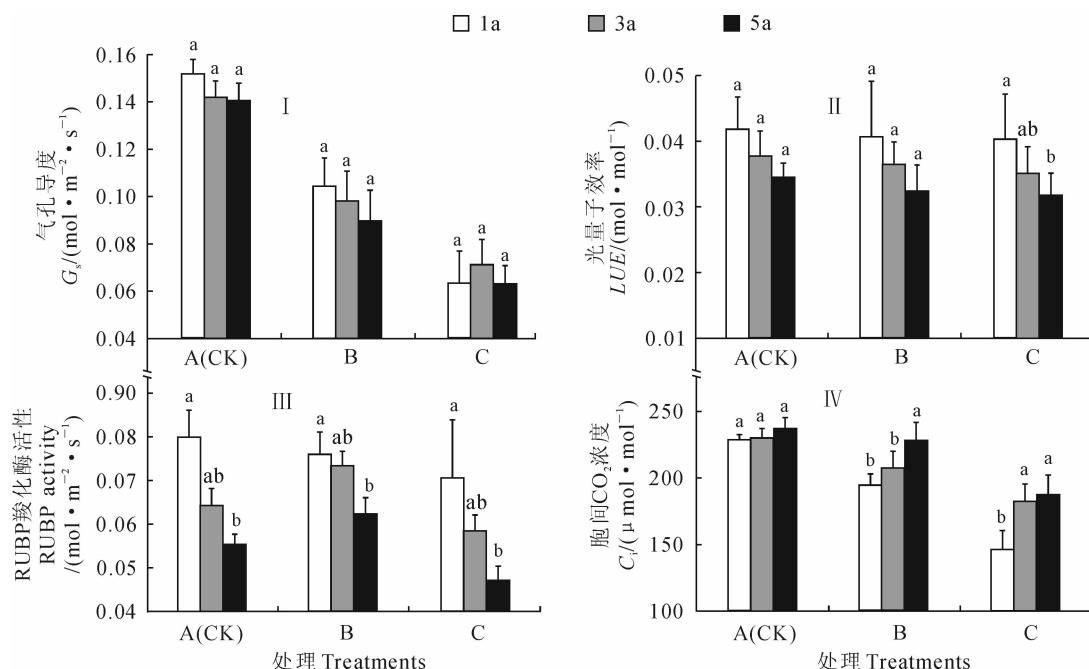


图4 处理10周时不同水分条件下各苗龄沙地柏的气孔导度、光量子效率、RuBP羧化酶活性和胞间 CO_2 浓度

Fig. 4 Mean values of G_s , light-use efficiency, RuBP activity and C_i of

J. sabina at different ages under water stress for 10 weeks

2.3 各年龄沙地柏幼苗叶片气体交换参数比较

2.3.1 净光合速率 不同年龄沙地柏的净光合速率均随土壤水分含量降低而下降(图3, I), 当土壤水分含量降低到4.52%(C处理), 各年龄苗木的净光合速率还均高于 $6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 没有对净光合速率产生限制性作用, 这与以往研究结果相吻合, 沙地柏净光合速率受水分胁迫影响较小^[29-30], 进一步证实了该树种突出的抗旱性能。分析不同年龄间差异, 未受水分胁迫条件下(A处理), 沙地柏不同年龄间净光合速率差异不显著(图3, I), 说明年龄对沙地柏的净光合速率不构成显著影响。但水分胁迫条件下(B、C处理), 5年生沙地柏净光合速率显著低于1年生、3年生沙地柏, 说明水分胁迫条件下, 年龄对沙地柏的净光合速率影响显著。

2.3.2 蒸腾速率 沙地柏蒸腾速率对水分胁迫的反应更加敏感(图3, II), 当土壤水分含量从16.06%(A处理)降至6.78%(B处理), 各年龄沙地柏蒸腾速率下降幅度均超过50%。当土壤水分含量下降到4.52%(C处理), 沙地柏蒸腾速率的下降幅度超过70%。沙地柏蒸腾速率、气孔导度随土壤水分含量降低而迅速降低, 作为适应干旱的生存战略之一, 进一步说明沙地柏典型的节水型御旱耐旱特性^[17]。分析不同年龄间差异, 未受水分胁迫条件下(A处理), 不同年龄间差异不显著, 说明年龄对沙地柏蒸腾速率的影响不显著。但水分胁迫条件

下, 5年生沙地柏蒸腾速率最低, 与1年生、3年生的沙地柏差异显著, 而1、3年生沙地柏间不存在显著差异, 说明水分胁迫条件下, 年龄能够对沙地柏的蒸腾速率带来显著影响。

2.3.3 水分利用率 随土壤含水量降低, 不同年龄沙地柏气孔导度均降低, 气体交换速率减缓, 植物的光合速率和蒸腾速率下降, 但与光合速率相比, 沙地柏蒸腾速率受到的抑制更强烈(图3, III), 水分利用率提高。比较不同年龄间差异, 在未受水分胁迫条件下(A处理), 不同年龄沙地柏水分利用率差异不显著。而当土壤水分含量从16.06%(A处理)降至6.78%(B处理)时, 5年生沙地柏水分利用率提高最多, 与1年生、3年生沙地柏形成显著差异(图3, III)。当土壤水分含量下降到4.52%(C处理), 5年生沙地柏水分利用率相比对照提高2倍, 不同年龄间差异显著。说明水分胁迫条件下, 年龄亦对沙地柏的水分利用率产生显著影响。

2.3.4 气孔导度 气孔是植物与外界进行气体交换的门户^[31]。研究结果表明, 随土壤含水量的降低, 沙地柏的气孔导度迅速下降(图4, I)。当土壤水分含量从16.06%(A处理)降至6.78%(B处理)时, 各年龄沙地柏气孔导度的下降幅度均超过20%。当土壤水分含量下降到4.52%(C处理), 沙地柏气孔导度的下降幅度超过50%。可以看出, 沙地柏气孔导度对水分胁迫的反应比光合速率敏感得

多,受到更强烈的抑制。比较不同年龄间差异,各水分处理条件下,不同年龄沙地柏气孔导度差异均不显著,说明年龄对沙地柏的气孔导度不构成显著影响。不同于光合速率,气孔导度对年龄的稳定性更高。

2.3.5 光量子效率、胞间 CO_2 浓度及 RuBP 羧化酶 沙地柏光量子效率、胞间 CO_2 浓度也随土壤含水量降低而下降,但与气孔导度、蒸腾速率不同,下降的幅度不明显(图 4, II、IV)。RuBP 羧化酶又称 1,5 二磷酸核酮糖(RuBP)羧化酶,是决定植物光合碳代谢方向和效率的关键酶,RuBP 羧化酶含量及活性与光合速率显著相关^[32],随着水分胁迫的加剧,RuBP 羧化酶活性会相应下降^[24],本研究中,当土壤水分含量从 16.06%下降到 6.78%时,1 年生沙地柏 RuBP 羧化酶活性略有下降,而 3 年生、5 年生沙地柏 RuBP 羧化酶活性出现了增高的现象(图 4, III),且当土壤水分含量降低到 4.52%时,3 个年龄沙地柏的 RuBP 羧化酶活性下降幅度也不大,这与上述结果相吻合,可能正是干旱胁迫条件下沙地柏光合速率下降不明显的原因。分析不同年龄间差异,相比光量子效率和胞间 CO_2 浓度,沙地柏 RuBP 羧化酶活性对年龄更加敏感,在未受水分胁迫条件下(A 处理),5 年生与 1 年生沙地柏间已存在显著差异。水分胁迫条件下,年龄对沙地柏的光量子效率、胞间 CO_2 浓度及 RuBP 羧化酶影响均显著。

以上结果说明未受水分胁迫条件下,沙地柏幼苗叶片气体交换各项参数对年龄的稳定性相对较高,除 RuBP 羧化酶活性外不同年龄间差异均不显著;但在水分胁迫条件下,不同年龄差异显著性增加,除气孔导度外各项气体交换参数均有显著差异,水分胁迫加剧了指标对年龄的敏感性。各项气体交换参数中,气孔导度对年龄的稳定性最高,而 RuBP 羧化酶活性对年龄的稳定性最低,对年龄最敏感。

3 讨 论

沙地柏保水力在不同年龄苗木间存在显著差异,高年龄保水力相对较高,这可能与它们所含渗透调节物质的量、角质化程度、蜡质层厚度等不同有关,体现了植物保水机理的复杂性。油松(*Pinus tabulaeformis*)保水力随着年龄的增加而下降,而侧柏(*Platycladus orientalis*)则有所增强,阔叶树中随着年龄的增加,有的保水力下降,如白蜡(*Fraxinus chinensis*)、元宝枫(*Acer truncatum*),有的变化不大,如刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、紫穗槐

(*Amorpha fruticosa*),有的反而增强,如黄栌(*Cotinus coggygria*)和沙棘(*Hippophae rhamnoides*)^[10],虽然各年龄间是否存在显著差异并没有明确判断,但足以说明,随着年龄的增长不同树种叶片保水力的增加或下降存在差异,这种变化将影响到它们在长期干旱条件下的生存能力。

本试验在未受水分胁迫时,沙地柏的膜透性不同年龄间已经存在显著差异,这可能与不同年龄苗木木质膜结构的特性不同有关^[33],这与傅瑞树‘不同年龄苏铁叶片的电解质外渗率差异显著’^[34]结论相吻合。鉴于年龄因素对该指标的影响,在进行抗旱鉴定时,建议用胁迫前后膜透性的变化值进行比较可能更为准确,而非单一比较胁迫后膜透性值。

通常情况下,植物受水分胁迫时光合作用会明显减弱。但本试验结果表明,沙地柏在气孔导度与蒸腾速率已受到水分胁迫的强烈抑制的同时,还能进行正常的光合反应,进一步证实了沙地柏突出的抗旱性能^[30]。1 年生沙地柏净光合速率、RuBP 羧化酶活性、光量子效率显著高于 5 年生沙地柏,说明低年龄的沙地柏比高年龄的沙地柏生长势强,更有生命活力;但 5 年生沙地柏的胞间 CO_2 浓度比 1、3 年生的高,并且其气孔导度、蒸腾速率随土壤水分含量的降低而下降的幅度最大,水分利用率随着土壤水分含量下降增加幅度比 1 年生与 3 年生的高得多,所以,水分胁迫条件下,5 年生沙地柏虽然生命活力不如低年龄的 1、3 年生的沙地柏,但是对水分胁迫的适应能力却强于 1、3 年生的沙地柏。李淑英等^[12]也指出不同年龄的常春藤对干旱的适应能力也存在差异,2 年生植株气孔调节能力、PS II 的潜在活性、原初光能转化效率及综合抗旱能力均高于 1 年生植株,本文的研究结果与之相近;但朱教君却指出,2 年生与 4 年生樟子松幼苗在相同土壤干旱胁迫条件下,其光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率等各生理指标比较接近^[13]。由此可见,不同树种不同树龄各光合指标的表现差异较大,这可能与树木的种类、生长状况及周围的环境条件有关。本研究中沙地柏 5 年生苗木的 RuBP 羧化酶活力比 1、3 年生的低,这可能因为 5 年生植株比较大,需要的缓苗期较长,植株的生长势较弱造成的,也可能是由于年龄的增长,植物体内各类逆境蛋白及它感化合物表达受到了限制^[35-36],还有待于进一步研究。

针对不同抗旱指标对苗木年龄的敏感度不同,在进行抗旱性鉴定时,供试材料的选取一定要注意,尤其在对大田中自然生长的树种进行取材鉴定时,

所测定的材料的年龄容易不统一,更要注意选取相同年龄植株进行试验。抗旱鉴定指标选取时,也要

考虑指标对年龄的敏感性或稳定性,在应用对年龄敏感的指标时,试验材料的年龄必须一致。

参考文献:

- [1] GAO T(高 婷),ZHANG W H(张文辉). Physiological responses of different energy willow clones under drought stress[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.* (西北植物学报),2012,**32**(4):739—744(in Chinese).
- [2] PERCIVAL G C,SHERIFFS C N. Identification of drought tolerant woody perennials using chlorophyll fluorescence[J]. *Journal of Arboriculture*,2002,**28**(5):215—221.
- [3] LIU H R(刘红茹),FENG Y ZH(冯永忠),WANG D X(王得祥),*et al.* Drought resistance evaluation and leaf structures of ten species of broad-leaved ornamental plants in Yan'an Urban Area[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.* (西北植物学报),2012,**32**(10):2 053—2 060(in Chinese).
- [4] TAN X H(谭雪红),GAO Y P(高艳鹏),GUO X P(郭小平),*et al.* Physiological characteristics and comprehensive evaluation of drought resistance in five plants used for roadside ecological restoration[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报),2012,**32**(16):6 815—6 823(in Chinese).
- [5] LIU H Y(刘海燕),LI J Y(李吉跃),ZHAO Y(赵 燕),*et al.* Influence of drought stress on gas exchange and water use efficiency of *Salix psammophila* growing in five places[J]. *Arid Zone Research* (干旱区研究),2007,(6):815—820(in Chinese).
- [6] AN Y Y(安玉艳),LIANG Z S(梁宗锁),HAN R L(韩蕊莲). Water use characteristics and drought adaptation of three native shrubs in the Loess Plateau[J]. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学),2011,(10):8—15(in Chinese).
- [7] YANG M SH(杨敏生),FEI B H(费保华),ZHU ZH T(朱之梯). Index analysis on comprehensive judgement of drought resistance ability of white poplar hybrid clones[J]. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学),2002,**38**(6):36—42(in Chinese).
- [8] EILMANN B,RIGLING A. Tree growth analyses to estimate tree species' drought tolerance[J]. *Tree Physiology*,2012,**32**(2):178—187.
- [9] YING Y Q(应叶青),GUO J(郭 璟),WEI J F(魏建芬),*et al.* Effects of drought stress on physiological characteristics of *Phyllostachys edulis* seedlings[J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志),2011,**30**(2):262—266(in Chinese).
- [10] LI J Y(李吉跃). Drought tolerance of the main tree species in Taihang Mountains area(Ⅱ)——general water physiology characteristics [J]. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报),1991,**13**(Sup):11—19(in Chinese).
- [11] ZHANG X Q(张小全),XU D Y(徐德应). Seasonal changes and daily courses of photosynthetic characteristics of 18-year-old Chinese fir shoots in relation to shoot ages and positions within tree crown[J]. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学),2000,**36**(3):19—26(in Chinese).
- [12] LI SH Y(李淑英),ZHOU Y D(周研第),LAN Y P(兰彦平). Studay on the drought resistance and adaptive form of subtropical evergreen broadleaved in Northern China[J]. *Journal of Beijing Agricultural College* (北京农学院学报),2005,**20**(4):12—16(in Chinese).
- [13] ZHU J J(朱教君),KANG H ZH(康宏樟),LI ZH H(李智辉),*et al.* Impact of water stress on survival and photosynthesis of *Mongolian pine* seedlings on sandy land[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报),2005,**25**(10):2 527—2 533(in Chinese).
- [14] ZHAO G D(赵广东),WANG B(王 兵),LI SH N(李少宁),*et al.* Photosynthetic characteristics of dominant species *Castanopsis fargesii* and *Cstanopsis sclerophyllain* different leaf ages in Dagangshan Mountain, Jiangxi Province[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jian-gxiensis* (江西农业大学学报),2005,**27**(2):161—165(in Chinese).
- [15] ZHANG X SH(张新时). The ecological background of the Mu Us sandland and the principles and optional models for grassland management[J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报),1994,18:1—16(in Chinese).
- [16] SONG X D(宋西德),ZHANG Y(张 永),ZHOU F L(周锋利),*et al.* The research development of the characters of *Sabina vulgaris* [J]. *Journal of Northwest Forestry University* (西北林学院学报),2003,**18**(4):63—66(in Chinese).
- [17] DONG X J(董学军),CHEN ZH X(陈仲新),BAO A(阿拉腾宝),*et al.* A preliminary study on the water regimes of *Sabina vulgaris* in Maowusu sand land[J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报),1999,**23**(4):311—319(in Chinese).
- [18] HE W M(何维明). Effects of water factor on hydraulic and growth characteristics of *Sabina vulgaris* seedlings[J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报),2001,**25**(1):11—16(in Chinese).
- [19] WEN G SH(温国胜),ZHANG M R(张明如),ZHANG G SH(张国盛),*et al.* Ecophysiological strategy of *Sabina vulgaris* under drought stress[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报),2006,**26**(12):4 059—4 065(in Chinese).

- [20] SU SH P(苏世平), XI Y Y(席艳芸), ZHANG J P(张继平), *et al.* Drought-resistant characteristics of *Sabina vulgaris*[J]. *Protection Forest Science and Technology*(防护林科技), 2008, **85**(4): 3—6(in Chinese).
- [21] LIU J F(刘建锋), ZHAO X L(赵秀莲), JIANG Z P(江泽平). Comparison on several physiological characteristics in *Sabina vulgaris* seedlings of different ages[J]. *Journal of Northwest Forestry University*(西北林学院学报), 2011, **26**(3): 17—20(in Chinese).
- [22] HE W M(何维明), ZHANG X SH(张新时). Ecological significance of change of leaf form in *Sabina vulgaris*[J]. *Acta Botanica Yunnanica*(云南植物研究), 2001, **23**(4): 433—438(in Chinese).
- [23] MENG P(孟平), ZHANG J S(张劲松), GAO J(高峻). Characteristics of photosynthesis and water physioecology of Young *Macrocarpum officinalis*[J]. *Forest Research*(林业科学研究), 2005, **18**(1): 47—51(in Chinese).
- [24] 张建国, 李吉跃, 沈国舫. 树木耐旱特性及其机理研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [25] ZHANG J G(张建国), LI J Y(李吉跃). Studies on classification models and mechanisms of drought tolerance of major afforestation species in North China—Water-Holding Ability and Maintenance of Turgor[J]. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*(河北林学院学报), 1995, **10**(3): 187—192(in Chinese).
- [26] MARSHALL J G, RUTLEDGE R G, BLUMWALDE E, *et al.* Reduction in turgid water volume in jack pine, white spruce and black spruce in response to drought and paclobutrazol[J]. *Tree Physiology*, 2000, **20**: 701—707.
- [27] AN Y Y(安玉艳), LIANG Z S(梁宗锁), HAO W F(郝文芳). Growth and physiological responses of the *Periploca sepium* Bunge seedlings to drought stress[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2011, **31**(3): 716—725(in Chinese).
- [28] NIU Q H(牛清河), GE J ZH(葛君州), XU P(徐鹏), *et al.* Physiological and biochemical responses of *Nitraria* L. to drought stress[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*(中国农学通报), 2012, **28**(1): 24—29(in Chinese).
- [29] HE W M(何维明), MA F Y(马风云). Effects of water gradient on fluorescence characteristics and gas exchange in *Sabina vulgaris* seedlings[J]. *Acta Phytocologica Sinica*(植物生态学报), 2000, (24): 630—634(in Chinese).
- [30] ZHOU F L(周峰力), SONG X D(宋西德). Study on drought-resistance physiology of *Sabina vulgaris*[J]. *Journal of Southwest Forestry College*(西北林学院学报), 2005, **25**(3): 1—4(in Chinese).
- [31] GUAN Y X, DAI J Y, LIN Y. The photosynthetic stomatal and nonstomatal limitation of plant leaves under water stress[J]. *Plant Physiology Communications*, 1995, **31**: 293—297.
- [32] MA D Y, GUO T C, SONG X, *et al.* Effects of nitrogen fertilizer application on RuBP carboxylase activity and chlorophyll fluorescence parameters in flag leaves of winter wheat[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报), 2010, **30**(11): 2 197—2 202(in Chinese).
- [33] LGBAVBOA U, AVDULOV N A, SCHROEDER F, *et al.* Increasing age alters transbilayer fluidity and cholesterol asymmetry in synaptic plasma membranes of mice[J]. *Journal of Neurochemistry*, 1996, **66**(4): 17—25.
- [34] FU R SH(傅瑞树). Study on physiological characters of cold resistance of *Cycas revolute*[J]. *Chinese Journal of Eco-agriculture*(中国生态农业学报), 2003, **11**(1): 120—122(in Chinese).
- [35] ZHU CH Y(朱春云), ZHAO Y(赵越), LIU X(刘霞), *et al.* Study on physiological drought of *Caragana* and others[J]. *Arid Zone Research*(干旱区研究), 1996, **13**(1): 59—63(in Chinese).
- [36] YING Y Q(应叶青), WEI J F(魏建芬), XIE N N(解楠楠), *et al.* Effects of natural low temperature stress on physiological and biochemical properties of *Phyllostachys edulis*[J]. *Journal of Nanjing Forestry University*(Nat. Sci. Edi.)(南京林业大学学报·自然科学版), 2011, **35**(3): 133—136(in Chinese).