

陕北黄土丘陵区不同立地条件 对杜仲生长及某些生理特性的影响

毕俊国, 郝文芳, 董娟娥^①, 胡景江, 梁宗锁

(西北农林科技大学生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 对陕北黄土丘陵区不同立地条件下杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliver)的生长状况和某些生理特性进行了比较研究。结果表明,生长于沟谷、阴坡、阳坡和山顶的杜仲成活率分别为 89.56%、81.26%、73.79% 和 64.44%, 差异显著($P < 0.05$)。随生长时间的延长,杜仲新生枝和地径生长总体上呈现平缓增加-急剧增加-平缓增加的“S”型变化曲线,生长在沟谷和阴坡的植株新生枝长度和地径生长量显著高于山顶和阳坡栽植的植株($P < 0.05$),其中沟谷中杜仲的平均新生枝长度和平均地径最大。在生长期,杜仲叶片的相对含水量(RWC)总体呈下降的趋势,而水分饱和亏(WSD)总体呈逐渐提高的趋势;在沟谷和阴坡中杜仲叶片的RWC较高、WSD较低,而在阳坡和山顶上杜仲叶片的RWC较低、WSD较高。杜仲叶片的SOD和CAT活性随生长时间的延长呈现先降低再逐渐升高的趋势;在沟谷和阴坡的植株叶片SOD和CAT活性均高于生长在阳坡和山顶的植株且差异显著。结果显示,立地条件对杜仲的生长和生理特性有较大影响,土壤水分是影响其生长的主要因素;在沟谷和阴坡立地条件下生长的杜仲具有旺盛的生长力和较强的适应性,沟谷和阴坡是陕北黄土丘陵区杜仲造林的较佳立地条件。

关键词: 杜仲; 黄土丘陵区; 立地条件; 生长状况; 生理特性

中图分类号: S567.1.04; Q945.32 文献标志码: A 文章编号: 1004-0978(2009)03-0032-06

Effects of different site conditions on growth and some physiological properties of *Eucommia ulmoides* in loess hilly region of Northern Shaanxi BI Jun-guo, HAO Wen-fang, DONG Juan-e^①, HU Jing-jiang, LIANG Zong-suo (College of Life Sciences, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling 712100, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2009, 18(3): 32-37

Abstract: The growth status and some physiological properties of *Eucommia ulmoides* Oliver at different site conditions were researched in loess hilly region of Northern Shaanxi. The results show that the survival rate at ravine, shady slope, sunny slope and hilltop is 89.56%, 81.26%, 73.79% and 64.44%, respectively, with a significant difference ($P < 0.05$). The growth of both of new branch and ground diameter presents a typical 'S' curve with slow-rapid-slow increasing trend with growth period prolonging. The new branch length and ground diameter at ravine and shady slope are significantly higher than those at sunny slope and hilltop ($P < 0.05$), and the largest at ravine. During growing period, the relative water content (RWC) of leaf displays gradual decreasing trend generally, and the water saturation deficit (WSD) of leaf displays gradual increasing trend generally. RWC of leaf is higher and WSD of leaf is lower at ravine and shady slope, while RWC is lower and WSD is higher at sunny slope and hilltop. SOD and CAT activities of leaf appear first going down and then rising trend with growth period prolonging. And SOD and CAT activities of leaf at ravine and shady slope are higher than those at sunny slope and hilltop, with a significant difference ($P < 0.05$). It is concluded that the growth and physiological properties of *E. ulmoides* are affected by site condition remarkably, and the soil water content is a mainly influencing factor. *E. ulmoides* planted at ravine and shady slope possesses vigorous growth ability and stronger adaptability, and ravine and shady slope are better site conditions for afforestation of *E. ulmoides* in loess hilly region of Northern Shaanxi.

收稿日期: 2008-12-08

基金项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目(2005DF02); “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD18B03)

作者简介: 毕俊国(1980—),男,河南信阳人,硕士,主要研究方向为植物水分与抗旱生理。

^①通信作者 E-mail: dje009@126.com

Key words: *Eucommia ulmoides* Oliver; loess hilly region; site condition; growth status; physiological property

杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliver)为中国特有的第三纪孑遗植物,分布广泛。杜仲皮、叶及种子等在医疗保健方面有着非常重要的作用。杜仲叶可用于降血压、降血脂及糖尿病的治疗^[1];杜仲皮是传统的中药材之一,具有补肝肾、强筋骨及安胎的作用^[2],其提取液有可能成为女性绝经后预防骨质疏松症的替代药物^[3]。杜仲根系深,有明显的垂直根(主根)和庞大的侧根、支根及须根系,杜仲林涵养水源和防止水土流失能力均较高^[4]。因此,杜仲是发展生态经济型林业的理想树种。

陕北黄土丘陵区沟壑纵横、地形复杂,生态环境恶劣。国家实施退耕还林政策后,该地区的植被覆盖率大幅度提高,但造林树种较为单一,主要为杨树(*Populus* sp.)和刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.),经济效益低,农民造林积极性不高。笔者所在项目组从2005年开始在安塞县进行杜仲造林实验,目的是能使当地农民通过杜仲林的营造增加收入,提高退耕还林的积极性,从而改善当地的水土条件和生态环境。造林3年来,杜仲生长状况良好。

为进一步了解陕北黄土丘陵区不同立地条件对杜仲生长及生理特性的影响,作者于2007年至2008年,对不同立地条件下杜仲的部分生长和生理指标进行了比较分析,以期为该地区的植被恢复和重建以及杜仲林的营造和管理提供理论依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西安塞县高桥乡北宋塔流域,地处北纬36°40′、东经109°13′,土壤为黄绵土,属中温带半干旱大陆性季风气候。年均气温8.8℃,极端最高气温36.8℃,极端最低气温-23.6℃;年均日照时数2 680.78 h,总辐射量5 537.75 MJ·cm⁻²;≥0℃的年活动积温3 824.1℃,≥10℃的年有效积温3 524.1℃;年均风速1.32 m·s⁻¹;年均降雨量505.3 mm,年降雨量最高为658.5 mm,最低为296.6 mm,降雨多集中在每年的7月份至9月份,占年降水量的60%~80%,多暴雨且雨热同期;年蒸发量大于1 490 mm。

研究区内地形复杂,作者选择了沟谷、阴坡、阳坡和峁顶4个不同的立地条件,各立地条件的光热特征各有不同^[5],峁顶风力较大、温度较低;阳坡光热资源较好;阴坡光热条件差;沟底土壤肥沃、光热资源较差。各立地条件的基本情况见表1。

表1 陕北黄土丘陵区不同立地条件的基本情况
Table 1 Basic status of different site conditions in loess hilly region of Northern Shaanxi

立地条件 Site condition	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	土壤贮水量/mm Soil water storage	空气相对湿度/% Air relative humidity
沟谷 Ravine	1 048	12	704.205	92
阴坡 Shady slope	1 273	21	575.115	44
阳坡 Sunny slope	1 264	27	509.369	29
峁顶 Hilltop	1 307	4	463.251	22

1.2 材料

供试杜仲林为3年生人工林,平均株高1.32 m,鱼鳞坑栽植,株距和行距均为2 m。

1.3 方法

1.3.1 成活率调查 于2007年6月,分别在上述4个立地的杜仲林中各划定10 m×10 m的样地3个,分别调查各样地中杜仲的成活株数,并以成活株数占当年栽植株数的百分比作为成活率,求其平均值。

1.3.2 新生枝长度和地径的测量方法 于2008年5月21日、6月23日、7月24日、8月20日、9月26日,在不同立地的杜仲林中分别随机抽取杜仲样株10株,于每株主茎的4个方向随机选择4个新生枝,用钢卷尺测量新生枝的长度,取平均值作为该样株的新生枝生长量,以10株样株新生枝长度的平均值作为该样地的平均新生枝生长量;在每一样株树干距地面5 cm处用游标卡尺在不同方向分别测量地径3次,以平均值作为该样株的地径,并以10株样株的地径平均值作为该样地的平均地径生长量。

1.3.3 叶片相对含水量(RWC)与水分饱和亏(WSD)的测定方法 分别于2008年5月21日、6月23日、7月24日、8月20日,在各立地的东、南、西、北4个方位各确定1株样株,在树冠上、中、下各采集4~8片枝条中部叶片,擦拭干净并称量后,立即浸入清水中6 h,取出并称量,然后于80℃烘干至恒质量,称量。参照文献[6]的方法计算叶片的

RWC 和 WSD。

1.3.4 叶片 SOD 和 CAT 活性的测定方法 分别于 2008 年 5 月 21 日、6 月 23 日、7 月 24 日、8 月 20 日按上述方法确定样株后,采集 4~8 片枝条中部叶片,迅速用冰水清洗并吸干水分,保存于液氮中。混合后剪取叶片 0.25 g,置于冷冻的研钵中,按文献 [6] 的方法在冰浴条件下迅速加入 5 mL 提取缓冲液,研磨至匀浆,于 4 °C、12 000 r·min⁻¹ 冷冻离心,取上清液测定酶活性。SOD 活性测定采用氮蓝四唑还原法^{[6]198-199},CAT 活性测定采用紫外吸收法^{[6]192-193}。

1.4 数据处理

采用 SPSS 16.0 软件对实验数据进行处理,并用 Duncan's 新复极差法进行显著性检验。

2 结果和分析

2.1 不同立地条件下杜仲生长状况的比较分析

2.1.1 成活率的比较 不同立地条件下杜仲的成活率明显不同(表 2),立地间差异显著($P < 0.05$)。以沟谷和阴坡中杜仲成活率较高,均在 80% 以上;阳坡和崩顶的杜仲成活率均低于沟谷和阴坡。这一现象与沟谷和阴坡的土壤贮水量较大、空气相对湿度较高有一定的关系。

2.1.2 新生枝长度的比较 不同立地条件下杜仲

新生枝长度见表 3。随着生长时间的延长,杜仲新生枝生长总体上均呈现平缓增加-急剧增加-平缓增加的“S”型曲线,即 5 月 21 日到 6 月 23 日新生枝生长较慢,6 月 23 日到 8 月 20 日新生枝生长较快,8 月 20 日以后新生枝生长逐渐减缓。同一时期不同立地条件下杜仲新生枝长度差异显著($P < 0.05$)。其中,沟谷中的杜仲新生枝生长量最大,阴坡上的杜仲新生枝长度也较长,而阳坡和崩顶上的杜仲新生枝长度较短,在 9 月 26 日,沟谷中的杜仲平均新生枝长度分别是阳坡和崩顶的 2.04 和 2.85 倍。

2.1.3 地径的比较 不同立地条件下杜仲地径的平均值见表 4。在整个测定期内,不同立地条件下杜仲的地径生长均随生长时间的延长呈现平缓增加-急剧增加-平缓增加的“S”型曲线。从 5 月 21 日到 6 月 23 日杜仲地径生长较慢,6 月 23 日到 8 月

表 2 不同立地条件下杜仲的成活率¹⁾

Table 2 Survival rate of *Eucommia ulmoides* Oliver at different site conditions¹⁾

立地条件 Site condition	成活率/% Survival rate
沟谷 Ravine	89.56 ± 2.77 a
阴坡 Shady slope	81.26 ± 0.86 b
阳坡 Sunny slope	73.79 ± 1.49 c
崩顶 Hilltop	64.44 ± 3.02 d

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P = 0.05$) Different small letters in same column indicate the significant difference ($P = 0.05$).

表 3 不同立地条件下不同时期杜仲新生枝长度的比较¹⁾

Table 3 Comparison of new branch length of *Eucommia ulmoides* Oliver in different dates at different site conditions¹⁾

立地条件 Site condition	不同日期(MM-DD)的新生枝长度/cm New branch length in different dates (MM-DD)				
	05-21	06-23	07-24	08-20	09-26
沟谷 Ravine	26.06 ± 0.79 a	36.06 ± 0.08 a	53.38 ± 0.11 a	70.75 ± 2.76 a	71.84 ± 0.33 a
阴坡 Shady slope	21.87 ± 1.46 b	25.25 ± 0.64 b	34.67 ± 4.19 b	42.56 ± 1.36 b	44.05 ± 2.19 b
阳坡 Sunny slope	13.96 ± 1.19 c	19.90 ± 0.71 c	22.90 ± 1.01 c	31.95 ± 0.63 c	35.14 ± 1.37 c
崩顶 Hilltop	13.60 ± 0.59 c	16.34 ± 0.09 d	21.50 ± 1.38 c	24.89 ± 0.67 d	25.19 ± 1.53 d

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P = 0.05$) Different small letters in same column indicate the significant difference ($P = 0.05$).

表 4 不同立地条件下不同时期杜仲地径的比较¹⁾

Table 4 Comparison of ground diameter of *Eucommia ulmoides* Oliver in different dates at different site conditions¹⁾

立地条件 Site condition	不同日期(MM-DD)的地径/mm Ground diameter in different dates (MM-DD)				
	05-21	06-23	07-24	08-20	09-26
沟谷 Ravine	6.98 ± 0.15 a	8.02 ± 0.30 a	9.05 ± 0.56 a	11.42 ± 0.58 a	12.12 ± 0.54 a
阴坡 Shady slope	6.64 ± 0.10 a	7.67 ± 0.41 a	7.88 ± 0.11 b	8.42 ± 0.30 b	8.91 ± 0.70 b
阳坡 Sunny slope	5.32 ± 0.22 b	5.65 ± 0.14 b	5.99 ± 0.17 c	6.33 ± 0.23 c	6.54 ± 0.56 c
崩顶 Hilltop	5.52 ± 0.13 b	5.58 ± 0.27 b	5.64 ± 0.30 c	5.66 ± 0.20 c	5.93 ± 0.90 c

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P = 0.05$) Different small letters in same column indicate the significant difference ($P = 0.05$).

20日地径增粗较快,8月20日以后生长缓慢。

沟谷中的杜仲地径增长最快也最大,但在前期(5月21日至6月23日)与阴坡上的杜仲差异不显著($P>0.05$),中期和后期差异显著,特别是在9月26日,沟谷中的杜仲地径平均值分别是阴坡、阳坡和崩顶的1.36、1.85和2.04倍,差异显著($P<0.05$)。阴坡上栽植的杜仲地径平均值也明显大于阳坡和崩顶的植株,而阳坡和崩顶上的杜仲地径平均值间有一定差异,但并不显著($P>0.05$)。

2.2 不同立地条件对杜仲叶片生理特性的影响

2.2.1 叶片相对含水量(RWC)的变化

不同生长期不同立地条件对杜仲叶片RWC的影响见表5。实验初期(5月21日),各立地上杜仲叶片的RWC差异不显著($P>0.05$),平均值均在82%以上;至6月23日,沟谷和阴坡中的杜仲叶片RWC平均值提高至85%以上,而阳坡及崩顶上的杜仲叶片RWC平均值则降至约81%,差异显著($P<0.05$);随生长期延长,各立地条件下杜仲叶片的RWC平均值均持续下降,至8月20日,除沟谷中的杜仲叶片RWC平均值仍保持在约81%外,其余立地条件下的杜仲叶片RWC平均值均降至80%以下,特别是生长在崩顶的杜仲,叶片RWC平均值降至62.72%。

结合表1的数据可看出,不同立地条件下杜仲叶片的RWC与土壤贮水量有较大关系,在土壤贮水

量相对较高的沟谷和阴坡中杜仲叶片RWC也较高,而在土壤贮水量相对较低的阳坡和崩顶的杜仲叶片RWC较低。因此,杜仲叶片的RWC除与生长期有一定关系外,与土壤贮水量关系密切。

2.2.2 叶片水分饱和亏(WSD)的变化

WSD是植物组织的饱和含水量与实际含水量的差值,以相对饱和含水量的百分数表示,水分饱和亏越大说明水分亏缺越严重^[7]。不同立地条件下不同时期杜仲叶片的水分饱和亏见表6。实验初期(5月21日),在不同立地下的杜仲叶片WSD平均值为14%~18%,差异不显著($P>0.05$);至6月23日,在沟谷和阴坡上的杜仲叶片WSD平均值降至最低,分别为11.32%和14.22%,而阳坡和崩顶上的杜仲叶片的WSD平均值分别提高至18.66%和18.95%,前两者与后两者间差异显著($P<0.05$);随生长期的延长,杜仲叶片的WSD平均值逐渐提高,特别是在阳坡和崩顶的杜仲叶片WSD平均值增幅较大;至8月20日,4个处理组间杜仲叶片的WSD平均值差异显著($P<0.05$),在崩顶的杜仲叶片WSD平均值达最大(37.29%),阳坡和阴坡上的杜仲叶片的WSD平均值分别提高至24.80%和27.83%,而沟谷中的杜仲叶片的WSD平均值最小,仅提高至18.97%。结果显示,崩顶上的杜仲植株水分亏缺最严重,而沟谷中的杜仲水分亏缺最轻。

表5 不同立地条件下不同时期杜仲叶片相对含水量(RWC)的比较¹⁾

Table 5 Comparison of relative water content (RWC) of *Eucommia ulmoides* Oliver leaf in different dates at different site conditions¹⁾

立地条件 Site condition	不同日期(MM-DD)的RWC/% RWC in different dates (MM-DD)			
	05-21	06-23	07-24	08-20
沟谷 Ravine	85.49 ± 0.67 a	88.68 ± 1.33 a	86.34 ± 0.33 a	81.04 ± 0.26 a
阴坡 Shady slope	83.25 ± 1.70 a	85.78 ± 1.23 a	84.81 ± 1.54 a	75.00 ± 0.62 b
阳坡 Sunny slope	84.16 ± 1.71 a	81.34 ± 1.29 b	80.65 ± 0.12 b	72.17 ± 1.14 c
崩顶 Hilltop	82.11 ± 0.74 a	81.05 ± 0.18 b	79.02 ± 1.26 b	62.72 ± 0.97 d

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P=0.05$) Different small letters in same column indicate the significant difference ($P=0.05$).

表6 不同立地条件下不同时期杜仲叶片水分饱和亏(WSD)的比较¹⁾

Table 6 Comparison of water saturation deficit (WSD) of *Eucommia ulmoides* Oliver leaf in different dates at different site conditions¹⁾

立地条件 Site condition	不同日期(MM-DD)的WSD/% WSD in different dates (MM-DD)			
	05-21	06-23	07-24	08-20
沟谷 Ravine	14.51 ± 0.67 a	11.32 ± 1.33 b	13.66 ± 0.33 b	18.97 ± 0.26 d
阴坡 Shady slope	16.75 ± 1.70 a	14.22 ± 1.23 b	15.19 ± 1.54 b	24.80 ± 0.62 c
阳坡 Sunny slope	15.84 ± 1.71 a	18.66 ± 1.29 a	19.34 ± 0.12 a	27.83 ± 1.14 b
崩顶 Hilltop	17.89 ± 0.74 a	18.95 ± 0.18 a	20.98 ± 1.26 a	37.29 ± 0.97 a

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P=0.05$) Different small letters in same column indicate the significant difference ($P=0.05$).

2.2.3 叶片 SOD 和 CAT 活性的变化 超氧化物歧化酶(SOD)是植物体内清除活性氧的关键酶,与过氧化氢酶(CAT)共同作用,可清除植物体内的超氧阴离子自由基,减缓自由基对植物细胞膜的伤害^[8]。不同生长时期各立地条件下杜仲叶片的 SOD 和 CAT 活性变化见表 7 和表 8。结果显示,随生长时间的延长(5月21日至8月20日),杜仲叶片的 SOD 和 CAT 活性均呈现先下降后上升的变化趋势,其中

5月21日杜仲叶片的 SOD 和 CAT 活性基本最高,至6月23日降至最低,然后逐渐提高,至8月20日 SOD 和 CAT 活性均接近5月份的水平。

在沟谷和阴坡中杜仲叶片的 SOD 和 CAT 活性在各生长期均较高,而在阳坡和崩顶的杜仲叶片的2种酶活性在各生长期均较低;2种酶的活性均以沟谷中的杜仲叶片最高,以崩顶的杜仲叶片最低,各生长期的差异均达到显著水平($P < 0.05$)。

表7 不同立地条件下不同时期杜仲叶片 SOD 活性的比较¹⁾

Table 7 Comparison of SOD activity of *Eucommia ulmoides* Oliver leaf in different dates at different site conditions¹⁾

立地条件 Site condition	不同日期(MM-DD)的 SOD 活性/ $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$			
	05-21	06-23	07-24	08-20
沟谷 Ravine	858.75 ± 2.48 a	754.10 ± 2.69 a	790.80 ± 1.84 a	848.68 ± 4.83 a
阴坡 Shady slope	819.65 ± 13.22 ab	722.55 ± 3.47 b	726.70 ± 3.96 b	759.45 ± 7.84 b
阳坡 Sunny slope	792.05 ± 35.29 b	696.55 ± 3.61 c	708.39 ± 1.00 c	720.76 ± 2.91 c
崩顶 Hilltop	733.25 ± 8.13 c	668.45 ± 0.77 d	700.50 ± 4.09 c	710.68 ± 0.45 c

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P = 0.05$) Different small letters in same column indicate the significant difference ($P = 0.05$).

表8 不同立地条件下不同时期杜仲叶片 CAT 活性的比较¹⁾

Table 8 Comparison of CAT activity of *Eucommia ulmoides* Oliver leaf in different dates at different site conditions¹⁾

立地条件 Site condition	不同日期(MM-DD)的 CAT 活性/ $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$			
	05-21	06-23	07-24	08-20
沟谷 Ravine	187.62 ± 4.77 a	33.88 ± 0.17 a	73.33 ± 4.71 a	174.87 ± 2.65 a
阴坡 Shady slope	141.65 ± 2.02 b	23.08 ± 1.46 b	65.25 ± 3.26 a	140.10 ± 7.34 b
阳坡 Sunny slope	100.07 ± 2.12 c	13.63 ± 2.78 c	60.10 ± 6.94 ab	107.96 ± 7.12 c
崩顶 Hilltop	75.89 ± 4.40 d	11.35 ± 2.93 c	50.28 ± 5.27 b	74.13 ± 4.06 d

¹⁾ 同列中不同的小写字母表示差异显著($P = 0.05$) Different small letters in same column indicate the significant difference ($P = 0.05$).

3 讨论和结论

在陕北黄土丘陵区,水分是控制植物生长的关键环境因子^[7],降水量和土壤含水量的累加值与植物生长显著相关^[9],土壤含水量与植物叶片的含水量也密切相关^[10]。水分缺乏会导致植物生理干旱,在植物体内体现为物理-化学-生理的复杂变化过程,很大程度上影响植物的生理特性^[11]。同时,水分还影响植物体的多种生理代谢过程,如水分和营养物质的吸收转运,酶的活性以及有机物的合成、转化和积累等^[12-13],进而影响植物的外部特征,使植物的径粗和株高等发生变化^[14]。不同立地条件下,土壤贮水量和空气相对湿度存在差异,其中沟谷和阴坡的土壤贮水量和空气相对湿度较高,生长在该地上的杜仲叶片的相对含水量(RWC)较高、水分

饱和亏(WSD)较小,生长速率较快、成活率高;而阳坡和崩顶的土壤贮水量和空气相对湿度均较小,在该立地条件下杜仲生长速率较小、成活率也较低,并且叶片 RWC 较低、WSD 较大。叶片 RWC 和 WSD 能真实反映土壤缺水时植物体内水分的亏缺程度,是抗旱性研究的重要生理指标^[7]。受不同立地条件下水分、光照、温度及相对湿度的影响,杜仲体内水分状况发生了不同程度的改变,表现在 RWC 和 WSD 的变化,这是杜仲对不同立地条件的生理反应。

SOD 能将超氧阴离子自由基快速歧化为 H_2O_2 和分子氧, H_2O_2 在 CAT 等酶的作用下转变为水和分子氧,这些酶活性的增强使细胞内的活性氧维持在较低水平,确保植物正常生长和代谢^[15];植物细胞中 SOD 和 CAT 等保护酶活性的高低与植物抗膜脂过氧化和耐旱能力有关^[16]。在不同立地条件下,杜

仲叶片的 SOD 和 CAT 活性差异较大,在沟谷和阴坡上杜仲叶片 SOD 和 CAT 活性较高,表明其抗氧化能力较强,能减轻自由基对细胞膜的伤害;而阳坡和崩顶上的杜仲叶片 SOD 和 CAT 的活性较低,表明阳坡和崩顶的干旱环境对杜仲细胞产生了一定的伤害,削弱了植株的抗干旱能力。研究表明,在沟谷和阴坡中生长的杜仲具有较强的适应当地环境的能力。

综上所述,在陕北黄土丘陵区,杜仲的生长、成活率、叶片相对含水量和保护酶活性等均随立地条件的不同而有差异。在沟谷、阴坡、阳坡和崩顶 4 种立地条件下,在沟谷和阴坡上栽植的杜仲新生枝和地径生长较快、成活率较高,在整个生长季中叶片 RWC 较高、WSD 较低,且变化较稳定,保护酶活性也较高;而生长在崩顶和阳坡的杜仲新生枝和地径生长量明显较低,在整个生长季中叶片 RWC 低、WDS 高且变幅较大,保护酶的活性水平也显著降低。研究结果显示,在陕北黄土丘陵区,水分是影响杜仲生长和生理特征的主要因素,栽植在沟谷和阴坡上的杜仲具有较强的自我调节能力,这 2 种立地条件对杜仲的生长较为适宜。

参考文献:

- [1] Park S A, Choi M S, Kim M J, et al. Hypoglycemic and hypolipidemic action of Du-zhong (*Eucommia ulmoides* Oliver) leaves water extract in C57BL/ KsJ-db/db mice[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2006, 107(3): 412 - 417.
- [2] 吴征镒. 新华本草纲要: 第一册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1988: 34 - 35.
- [3] Zhang R, Liu Z G, Li C, et al. Du-Zhong (*Eucommia ulmoides* Oliv.) cortex extract prevent OVX-induced osteoporosis in rats [J]. *Bone*, 2008, 08: 127 - 132.
- [4] 黄志刚, 李锋瑞, 曹云, 等. 南方红壤丘陵区杜仲和油桐人工林水土保持效应的比较[J]. *林业科学*, 2007, 43(8): 8 - 14.
- [5] 党维勤, 金绥庆, 郑妍, 等. 陕北黄土丘陵区人工栽培乔木树种的适地适树判别[J]. *中国水土保持*, 2003(4): 21 - 22.
- [6] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
- [7] 单长卷, 梁宗锁, 韩蕊莲, 等. 黄土高原陕北丘陵沟壑区不同立地条件下刺槐水分生理生态特性研究[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(7): 1205 - 1212.
- [8] 王茅雁, 邵世勤, 张建华, 等. 水分胁迫对玉米保护酶活力及膜系统结构的影响[J]. *华北农学报*, 1995, 10(2): 43 - 49.
- [9] 张娜, 梁一民. 黄土丘陵区两类天然草地群落地上部数量特征及其与土壤水分关系的比较研究[J]. *西北植物学报*, 1999, 19(3): 494 - 501.
- [10] 杨建伟, 梁宗锁, 韩蕊莲, 等. 不同土壤水分下刺槐和油松的生理特征[J]. *植物资源与环境学报*, 2004, 13(3): 12 - 17.
- [11] Guo W H, Li B, Huang Y M, et al. Effects of different water stresses on eco-physiological characteristics of *Hippophae rhamnoides* seedlings[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(10): 1238 - 1244.
- [12] Shao H B, Liang Z S, Shao M A, et al. Changes of anti-oxidative enzymes and membrane peroxidation for soil water deficits among 10 wheat genotypes at seedling stage[J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2005, 42(2): 107 - 113.
- [13] 黄刚, 赵学勇, 崔建垣, 等. 水分胁迫对 2 种科尔沁沙地植物光合和水分利用特性的影响[J]. *西北植物学报*, 2008, 28(11): 2306 - 2313.
- [14] Becker M, Nieminen T M, G eremia F. Short-term variations and long-term changes in oak productivity in northeastern France: the role of climate and atmospheric CO₂ [J]. *Annales des Sciences Foresti eres*, 1994, 51(5): 477 - 492.
- [15] 李合生. 现代植物生理学[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [16] 彭方仁, 杨玉珍, 朱振贤. 干旱胁迫对不同种源香椿叶片膜脂过氧化和保护酶系统的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2007, 16(2): 44 - 47.