

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 04. 030

不同种源高山栲苗期生长及生理分析

王顺利¹, 张春华², 戚建华³, 毛晓佩⁴, 孙永玉²

(1. 永善县林业和草原局, 云南 昭通 657000; 2. 中国林业科学研究院高原林业研究所, 云南 昆明 650300;
3. 西南林业大学, 云南 昆明 650300; 4. 云南云景林业开发有限公司, 云南 普洱 665000)

摘要:以不同种源高山栲幼苗为研究对象,通过抗逆性指标测定以探究不同种源幼苗的环境适应能力,筛选出抗逆能力强的种源。将 5 个种源高山栲一年生实生苗种植于同一环境,测定其株高、地径、冠幅等生长指标,丙二醛(MDA)含量以及过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)等保护酶活性,净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂、蒸腾速率、光响应等生理生化指标。不同种源高山栲幼苗生长及生理性状均表现出显著性差异($P < 0.05$)。镇沅种源高山栲幼苗株高和冠幅生长量最大,表明镇沅种源有较好的环境适应性,同时其 MDA 含量最低,SOD、POD 活性最高,表明镇沅种源幼苗的细胞膜受损程度更低且具有较强的抗逆性;光合有效辐射强度段 400~800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 内高山栲幼苗达到光饱和点,镇沅和龙陵两个种源在相同光辐射强度下的净光合速率大,光合适应性强。综合不同种源幼苗生长及生理测定结果表明,适应性由强到弱排序为 ZY > LL > BC > YD > SB。不同种源高山栲幼苗在同一环境中生长,其生理、生化指标差异显著,结合生长和生理指标分析,高山栲苗期在种源选取方面可优先考虑镇沅种源。

关键词:高山栲;种源;幼苗;生长指标;生理生化

中图分类号:S723.13;S792.17;S718.43 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)04-0182-06

引文格式:王顺利,张春华,戚建华,等. 不同种源高山栲苗期生长及生理分析[J]. 林业调查规划,2023,48(4): 182-187. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 04. 030

WANG Shunli, ZHANG Chunhua, QI Jianhua, et al. Growth and Physiological Analysis of *Castanopsis delavayi* Seedlings from Different Provenances[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(4): 182-187. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 04. 030

Growth and Physiological Analysis of *Castanopsis delavayi* Seedlings from Different Provenances

WANG Shunli¹, ZHANG Chunhua², QI Jianhua³, MAO Xiaopei⁴, SUN Yongyu²

(1. Yongshan Bureau of Forestry and Grassland, Zhaotong, Yunnan 657000, China; 2. Institute of Highland Forest Science, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650300, China; 3. Southwest Forestry University, Kunming 650300, China;
4. Yunnan Yunjing Forestry Development Co., Ltd., Pu'er, Yunnan 665000, China)

Abstract: Taking *Castanopsis delavayi* seedlings from different provenances as the research object, the environmental adaptability of seedlings of different provenances was explored through the determination of stress resistance indexes, and provenances with strong resistance to stress were screened out. The five provenances were placed in the same environment to measure the plant height, ground diameter, crown

收稿日期:2022-03-11;修回日期:2022-03-30.

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务经费(CAFYBB2018ZB001-6);国家重点研发计划项目课题(2017YFC0505102).

第一作者:王顺利(1994-),女,云南昆明人,硕士.主要从事植物生理生态方面研究.

责任作者:孙永玉(1974-),男,山东济宁人,研究员.研究方向为森林培育与植被恢复. Email:cafstdren@163.com

width and other growth indicators, as well as malondialdehyde (MDA), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), and peroxidase (POD) and other physiological and biochemical indicators such as protective enzyme activity and net photosynthetic rate, stomatal conductance, intercellular CO_2 , transpiration rate, and light response. There were significant differences in the growth and physiological characteristics of *Castanopsis delavayi* seedlings from different provenances ($P < 0.05$). The plant height and crown growth of *Castanopsis delavayi* seedlings from Zhenyuan provenance were the highest, indicating that the Zhenyuan provenance showed better environmental adaptability and its MDA content was the lowest, and its SOD and POD activities were the highest, which indicated that the cell membrane of Zhenyuan provenance was less damaged and had strong stress resistance; the photosynthetic effective radiation intensity reached the light saturation point within $400\text{--}800\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, and the net photosynthetic rate of Zhenyuan and Longling provenances under the same light intensity was large, and the light suitability was strong. The comprehensive analysis of growth and physiological determination results showed that the order of adaptability from strong to weak was $\text{ZY} > \text{LL} > \text{BC} > \text{YD} > \text{SB}$. The physiological and biochemical indicators of *Castanopsis delavayi* seedlings from different sources in the same environment differed significantly. Based on the analysis of growth and physiological indicators, the Zhenyuan provenance can be given priority in the selection of seed sources during the seedling stage of *Castanopsis delavayi*.

Key words: *Castanopsis delavayi*; provenances; growth index; physiology and biochemistry

高山栲(*Castanopsis delavayi*)又名滇锥栗,壳斗科(Fagaceae)栲属(*Castanopsis*)乔木树种,主要分布在我国云南南部、四川西南部和贵州西南部海拔1500~2800 m的山地^[1]。以高山栲为建群种形成的森林是滇中高原和川西南山地区域的地带性顶级群落,高山栲林在生态服务功能方面具有重要作用,由于受人类活动的干扰,现存林地多为残留的斑块状森林,林下自然更新状况较差^[2]。高山栲同时是生态公益林建设的优良树种,具有重要的生态及经济开发价值^[3]。目前有关高山栲的研究主要有叶功能性状种群内的变异及其与环境因子间的关系^[4]、种子超低温保存^[5]、建群种生境^[6]、叶片水提液对云南松种子发芽的化感效应^[7]、种子虫蛀率、落种期、群落分布情况^[8]、种子性状^[2]、潜在适生区分布区及影响因子^[9]等,但尚未见关于不同地理种源的高山栲种苗筛选研究的报道。种源筛选试验能为高山栲壮苗培育和推广提供相应的支撑,以不同种源高山栲为对象,研究不同种源高山栲苗期生长及生理指标的差异。探究不同种源高山栲幼苗的环境适应能力,可筛选出速生、抗逆性强的高山栲种源,为高山栲优良种质选择提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

试验点位于云南省昆明市中国林业科学研究院

高原林业研究所($25^{\circ}05'N, 102^{\circ}45'E$),海拔1891 m,年均降水量约1011.8 mm,年均温14.7℃。依据高山栲实际地理分布,参考中国数字植物标本馆中相关标本采集的地理信息,确定了高山栲核心分布区在滇中高原附近,本次供试的高山栲幼苗种源来自核心分布区域内的5个县域,分别为楚雄双柏(SB)、大理宾川(BC)、临沧永德(YD)、普洱镇沅(ZY)、保山龙陵(LL),具体信息见表1。选取5个种源的一年生高山栲实生苗,每个种源选取15株,幼苗枝叶健康,无明显的损伤和病虫害痕迹。于2020年7月进行室外盆栽种植,盆土选用基础养分一致的红土生土。种植过程中及时补水,待幼苗缓苗,生长状况稳定后开始测定各指标。

1.2 研究方法

1.2.1 生长指标测定

于2020年9月进行生长指标测定,采用精度为0.1 cm的钢卷尺测量株高、冠幅。每次测定位置一致,采用精度0.01 mm游标卡尺测量接近土壤部分的地径,每隔2周测定1次。

1.2.2 生理指标测定

1) 保护酶含量及活性测定

采用硫代巴比妥酸反应法测定高山栲幼苗丙二醛(MDA)含量^[10]。比色法测定高山栲幼苗过氧化物酶(POD)活性^[11]。钼酸铵法测定高山栲幼苗过氧化氢酶(CAT)活性^[12]。依据超氧化物歧化酶抑制

表 1 高山栲种源采集地基本信息

Tab. 1 Basic information of the provenance collection sites of *Castanopsis delavayi*

种源	纬度	经度	海拔 /m	年均降雨 量/mm	年均温 /℃
镇沅(ZY)	24°11′	101°14′	1305	1313.5	18.5
龙陵(LL)	24°08′	98°08′	1312	2100.3	14.9
双柏(SB)	24°68′	101°67′	1314	950.3	14.9
宾川(BC)	25°23′	100°16′	1430	578.2	17.9
永德(YD)	24°12′	99°34′	2955	1303.8	17.4

氮蓝四唑在光下的还原作用测定高山栲幼苗超氧化物歧化酶(SOD)活性^[13]。

2) 光合特性测定

采用 Li-6400 便携式光合仪(LI-COR, 美国)测定不同种源高山栲幼苗相同部位的成熟健康叶片。日变化测定 3 次,从早上 8:00 至下午 18:00,每隔 2 h 进行 1 次测定,每株幼苗测量 2 片向阳叶片,1 片叶测量 3 次,减少实验误差。光响应曲线测定时选择天气晴朗、无大风的上午 11:00 左右开始测定,测定 3 次,设置相应的光合有效辐射梯度为 1 600、1 400、1 200、1 000、800、600、400、200、150、100、50、0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

1.3 数据处理

数据采用 Excel 2010 和 SPSS 25.0 进行统计分析及绘图,采用单因素方差分析检验不同种源高山栲幼苗生长指标及生理指标的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同种源高山栲幼苗生长指标

5 个种源高山栲幼苗株高、地径、冠幅等生长指标存在差异(表 2)。

表 2 不同种源高山栲株高、地径、冠幅生长量分析

Tab. 2 Comparative analysis of plant height, ground diameter and crown width of *Castanopsis delavayi* from different provenances

种源	株高生长量 /cm	地径生长量 /mm	冠幅生长量 /cm
ZY	9.40 ± 0.49a	2.22 ± 0.46b	10.75 ± 3.03a
LL	3.60 ± 1.30b	2.96 ± 1.17b	4.33 ± 3.69b
SB	3.33 ± 1.07b	2.67 ± 0.10b	2.92 ± 0.95b
BC	8.43 ± 0.84a	4.41 ± 0.71a	6.67 ± 3.39b
YD	1.67 ± 0.61c	2.23 ± 0.67b	3.25 ± 3.03b

注:不同小写字母表示同一指标在不同种源间存在显著差异($P < 0.05$)。下同。

株高生长量方面,ZY 种源生长量最大为 9.4 cm,地径生长量方面,BC 种源生长量最大为 4.41 mm,冠幅生长量方面,ZY 种源生长量最大为 10.75 cm。

2.2 不同种源高山栲幼苗生理指标

2.2.1 不同种源高山栲幼苗保护酶含量及活性

5 个种源高山栲幼苗的 MDA 含量、CAT 活性、SOD 活性和 POD 活性均存在显著差异($P < 0.05$),具体见表 3。

表 3 不同种源高山栲保护酶含量、活性分析

Tab. 3 Analysis of protective enzyme content and activity of *Castanopsis delavayi* from different provenances

种源	MDA 含量 /($\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1}$)	CAT 活性 /($\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	SOD 活性 /($\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	POD 活性 /($\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)
SB	6.75 ± 0.27b	18.89 ± 4.05d	8.05 ± 2.64d	7.64 ± 1.66bc
BC	8.26 ± 0.93a	34.44 ± 1.35bc	13.38 ± 0.95ab	6.36 ± 1.14c
YD	7.46 ± 0.06ab	22.68 ± 0.43cd	12.47 ± 2.06c	8.90 ± 0.10abc
ZY	4.21 ± 0.98c	54.06 ± 13.62a	17.90 ± 1.48a	9.76 ± 2.80ab
LL	4.72 ± 0.50c	43.43 ± 2.50ab	16.11 ± 0.91ab	11.57 ± 1.67a

从表 3 可知,BC 种源的 MDA 含量最高为 8.26 nmol/g ,ZY 种源最低为 4.21 nmol/g ;ZY 种源的 CAT 活性最高为 54.06 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,SB 种源最低为 18.89 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$;ZY 种源的 SOD 活性最高为 17.9 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,SB 种源最低为 8.05 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$;LL 种源的 POD 活性最高为 11.57 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,ZY

种源次之,为 9.76 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,SB 种源最低为 7.64 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 。

2.2.2 不同种源高山栲幼苗光合特性

1) 不同种源高山栲幼苗光合参数日变化

5 个种源光合参数日变化趋势基本相同,叶片净光合速率日变化曲线呈双峰型(图 1)。

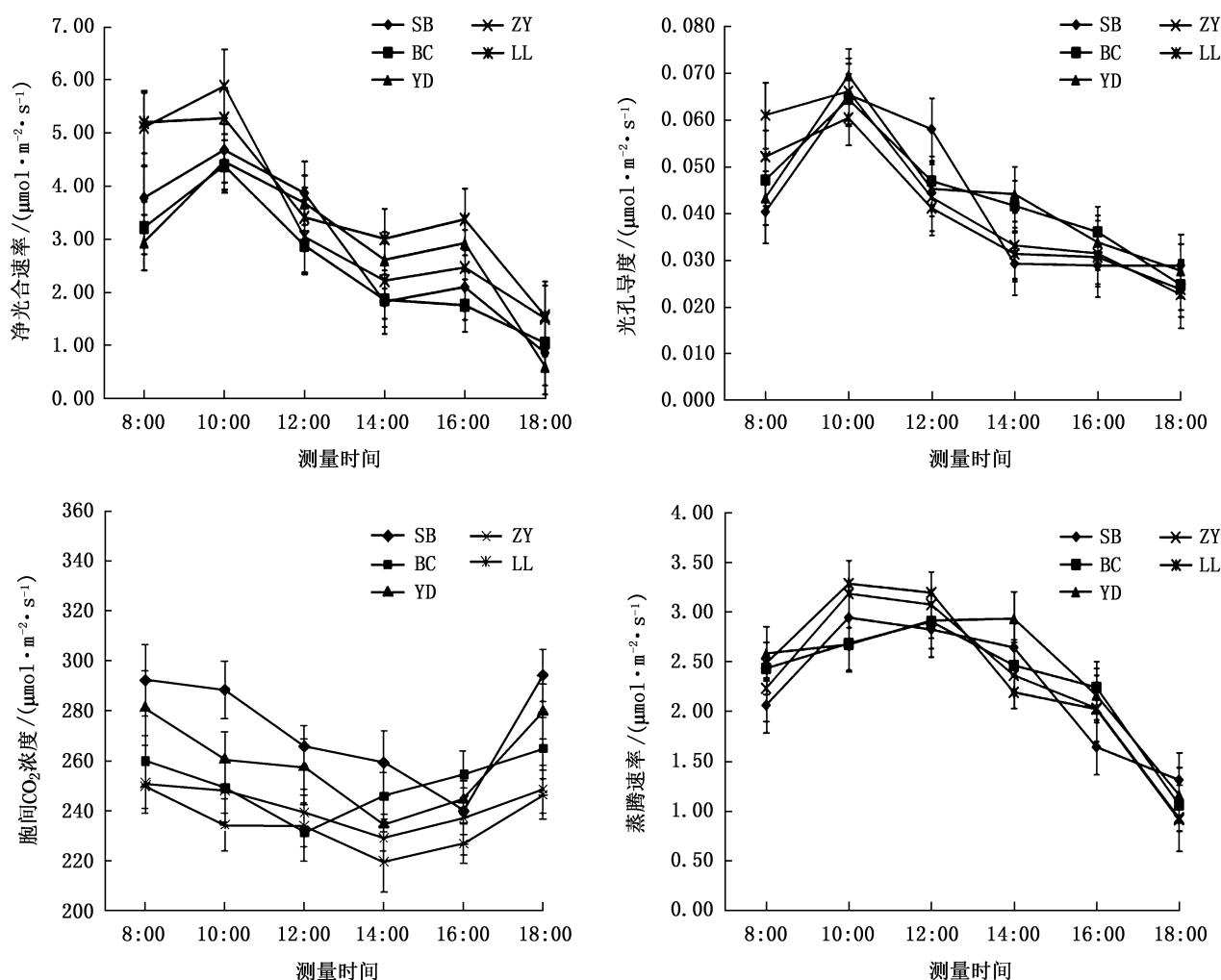


图1 不同种源高山栲光合参数日变化

Fig. 1 Diurnal variation of photosynthetic parameters of *Castanopsis delavayi* from different provenances

从图1可知,叶片净光合速率日变化曲线峰值出现在上午10:00时和下午16:00时,在两峰之间,即14:00时净光合速率出现谷值,说明高山栲幼苗存在明显的光合午休现象。其中ZY种源上午10:00时净光合速率最大,为 $5.87 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,BC种源的净光合速率最小,为 $4.38 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;在18:00时净光合速率达到最小值,其中YD种源最小为 $0.54 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。5个种源的气孔导度变化均呈单峰型,在10:00时出现最大值,YD种源气孔导度值最大,为 $0.07 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,在18:00时达到最小值,ZY种源最小为 $0.023 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。5个种源的胞间CO₂浓度有两个峰值,其中SB和YD种源在10:00至18:00内出现高峰,而LL、BC、ZY种源在12:00和18:00时达到峰值,5个种源的蒸腾速率变化趋势相似,均为单峰值,均在10:00至14:00达到最大值,随后一直呈下降的趋势,并且在

18:00时达到最小值,最大值为LL种源,为 $3.28 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,最小值为SB种源,为 $1.64 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。5个种源蒸腾速率也有细微差异,ZY、LL、SB种源在10:00时蒸腾速率最高,而YD、BC种源的蒸腾速率则在12:00后达到峰值。

2) 不同种源高山栲幼苗光响应曲线

随着光合有效辐射的增加,不同种源的净光合速率均呈上升趋势(图2)。

由图2可知,不同种源在光辐射强度小于 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时苗木的净光合速率急剧增加,当光辐射强度增大至 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以上时,不同种源苗木的净光合速率变化不大,这说明不同种源高山栲苗木的光饱和点为 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,且为阳性树种。此时不同种源的净光合速率以LL种源为最大,为 $4.61 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,其次为ZY种源,为 $4.38 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,SB种源为 $4.11 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,

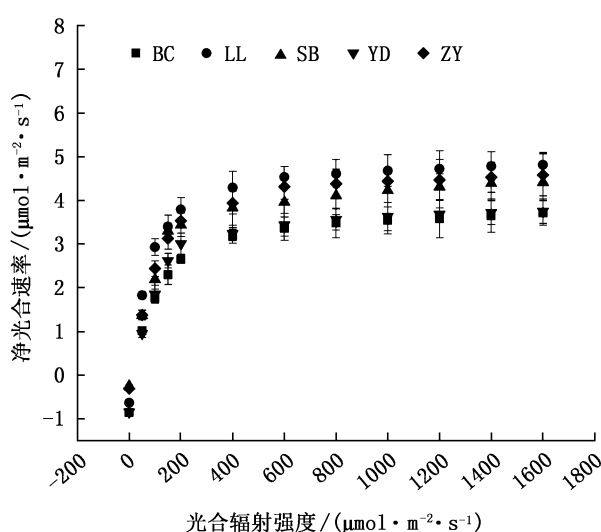


图 2 不同种源高山栲光响应曲线

Fig. 2 Light response curves of *Castanopsis delavayi* from different provenances

YD 种源为 $3.56 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, BC 种源最小, 仅为 $3.48 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。由此得到高山栲能应用在采伐迹地、裸地造林环境, 对强日照有效好的适应能力, 其中以 LL 种源的适应性最强。

3 讨论与结论

3.1 讨论

幼苗期是植物生活史中最为脆弱、对环境变化反应最为敏感的阶段, 其生长规律由遗传特性在环境条件下的适应性所决定^[14-15]。植物功能性状也易受环境因子的影响^[16-17], 经过地理隔离和自然选择, 树种会产生与生境相关的遗传变异以适应生长环境, 这在一定程度上有利于树种的生存和进化^[18]。地形和气候是影响高山栲分布的主要因素, 其中地形因子中海拔的影响最大, 最适的海拔范围在 $1400 \sim 2700 \text{ m}$; 其次是气候因子, 分布最适温度范围 $9 \sim 16.5^\circ\text{C}$, 高山栲的适生区域整体属于亚热带^[6]。本研究试验地位于昆明, 属于亚热带高原季风气候, 而镇沅属温带气候; 昆明海拔较镇沅更高, 受海拔影响, 昆明气温较镇沅低, 总体而言, 昆明海拔和温度均在高山栲最适生长范围内, 实验期间属于雨季, 雨季镇沅降水量为 1135.7 mm , 昆明降水量为 894.9 mm , 但昆明雨季于 5 月中旬至 10 月下旬终止, 雨季较长 (数据来自云南气候图册)。植物生长性状是试验地环境和遗传因素共同作用的结果, 种源间的生长表现依赖于对生境的适应性, 这综合体现了不同种源植物对生长环境的适应和自身遗传

结构在适应环境过程中的改变, 不同地点间光照、温度、降水等因素的差异, 导致不同种源对所处生境的生长适应性存在较大差异。

1) 株高、地径、冠幅等生物量指标是衡量植物生长情况的重要指标, 幼苗的生长指标在一定程度上能反应该植物对环境的适应能力^[19]。ZY 种源幼苗生长量优于其他 4 个种源, SB 和 YD 种源则劣于其他 3 个种源, 从生长性状和生长量来看, ZY 种源幼苗适应性更强。5 个种源生长性状由优到劣总体排序为 $\text{ZY} > \text{BC} > \text{LL} > \text{SB} > \text{YD}$ 。

2) 植物受到逆境胁迫时, 细胞内活性氧代谢平衡被破坏, 活性氧的大量积累会引起膜脂过氧化产物 MDA 含量增加, 细胞膜透性增加; 因此 MDA 含量常被作为表征细胞膜受损程度及其透性的指标, 反映对逆境抵抗力的强弱^[20]; MDA 含量越高说明植物细胞膜质过氧化程度高, 细胞膜受损伤严重, ZY 种源的高山栲幼苗 MDA 含量显著低于其他 4 个种源, 表明 ZY 种源幼苗的细胞膜受损程度更低。CAT 活性是指示植物对逆环境的适应能力的评价指标, 植物体内酶含量及活性能判断植物对逆境环境的适应能力; 植物中 CAT 可较好地清除细胞内产生破坏膜系统的 H_2O_2 ^[21], 维持膜的稳定; 5 个种源中 CAT 活性最高的是 ZY 种源。SOD 是消除植物体在新陈代谢过程中产生的有害物质的一种活性物质^[22], SOD 活性越高越有助于植物叶片细胞活性氧代谢达到平衡, 从而提高植物环境适应力, 5 个种源中 SOD 活性最高的是 ZY 种源。POD 在细胞氧化还原反应平衡中起到非常重要的作用, 对细胞代谢起重要的调控作用^[23-24], 是清除细胞内氧化物防止细胞受损的一种植物保护机制, 结果表明 LL 种源的 POD 活性最高, ZY 种源次之。综合保护酶测定结果可知, 适应性由强到弱排序为 $\text{ZY} > \text{LL} > \text{BC} > \text{YD} > \text{SB}$ 。

3) 光合作用是植物有机物和能量的来源, 在一定程度上决定植物的生长速率^[25]。高山栲光响应曲线及相关性研究表明 5 个种源净光合速率均随光合辐射强度的增加而上升, 在 $400 \sim 800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 后光合速率增长趋势变缓慢, 随后当光辐射强度大于 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, 其速率变化并不明显, 部分种源产生了光抑制现象, 导致速率下降。总体而言, ZY 和 LL 两个种源在相同光强下的净光合速率大, 光合适应性强。

3.2 结论

5 个种源间不同性状表现出显著差异。研究表明高山栲种源间存在明显的地理遗传分化, 为优良

种源选择提供了重要依据。从5个种源高山栲幼苗的生长、生理指标表现来看,镇沅种源的高山栲幼苗具有较强的抗逆性和较快的生长速率,可作为高山栲繁育的优良种源。

参考文献:

- [1] 中国植物志编辑委员会. 云南植物志[M]. 北京:科学出版社,1998:64-65.
- [2] 田瑞杰,巩合德,雷晨雨,等. 不同种源高山栲种子性状特征及其变异[J]. 中南林业科技大学学报,2021(9):88-95,126.
- [3] 李鑫,李昆,段安安,等. 不同地理种源云南松苗期表型性状与生物量比较研究[J]. 西北林学院学报,2020,35(1):94-100,139.
- [4] 杨建军,苏文华,王玲玲,等. 高山栲叶性状种内变异及其与环境因子的关系[J]. 广东农业科学,2015,42(12):152-158.
- [5] 卢玲,王海英,图雅,等. 高山栲种子的超低温保存[J]. 东北林业大学学报,2013,41(7):6-8,14.
- [6] 周杰. 滇中半湿润常绿阔叶林建群种生境分异的多尺度研究[D]. 昆明:云南大学,2018.
- [7] 王晓丽,曹子林,朱霞,等. 高山栲水提液对云南松种子发芽的化感效应[J]. 山东林业科技,2007(6):4-6,3.
- [8] 王崇云,朱峰,张智英,等. 滇青冈和高山栲种子昆虫寄生及其对种群更新的影响[J]. 植物分类与资源学报,2014,36(5):629-638.
- [9] 张春华,雷晨雨,田瑞杰,等. 用材树种高山栲潜在适生区分布区及影响因子[J]. 西部林业科学,2021,50(3):28-33.
- [10] ZHAO H D, WANG B G, CUI K B, et al. Improving post-harvest quality and antioxidant capacity of sweet cherry fruit by storage at near-freezing temperature[J]. Scientia Horticulturae, 2019(246):68-78.
- [11] 蒋选利,李振岐,康振生. 过氧化物酶与植物抗病性研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001(6):124-129.
- [12] ROZENTSVET O A, BOGDANOVA E S, TABALENKOVA G N, et al. Morphological, physiological, and biochemical characteristics of adaptation of calcephytes of the genus *Hedysarum*[J]. Contemporary Problems of Ecology, 2021, 14(5):465-471.
- [13] 杨华,宋绪忠,王秀云. 高温胁迫对鹿角杜鹃的生理及生长影响[J]. 森林与环境学报,2020,40(3):284-289.
- [14] 刘从,田甜,李珊,等. 中国木本植物幼苗生长对光照强度的响应[J]. 生态学报,2018,38(2):518-527.
- [15] 王子芝,张王菲,周俊宏,等. 不同地理种源漆树幼苗光合特性研究[J]. 西南农业学报,2020,33(12):2783-2787.
- [16] 肖志鹏,殷崇敏,郭连金,等. 光质对香果树种子萌发及幼苗生长影响的研究[J]. 植物研究,2020,40(2):189-195.
- [17] 倪妍妍,胡军,刘建锋,等. 不同地理种源栓皮栎幼苗生长与物质分配的变化趋势[J]. 西北植物学报, 2017,37(3):534-540.
- [18] 赵阳,北泉鑫,句娇,等. 文冠果种子及苗期生长性状地理种源变异[J]. 林业科学研究,2019,32(1):163-171.
- [19] 靳小未. 松嫩平原虎尾草实验无性系生长可塑性与繁殖策略的研究[D]. 长春:东北师范大学,2018.
- [20] 林榕燕,吴建设,林兵,等. 杂交兰叶艺品系主要生理特性的比较[J]. 江苏农业科学,2021,49(13):136-140.
- [21] 马一丹. 不同种源樟树生长差异性及抗铜研究[D]. 南昌:南昌工程学院,2019.
- [22] 杨栋林,方铁男,潘巍,等. 海菜花种植水对2种沉水植物抗逆性的影响[J]. 安徽农业科学,2021,49(1):66-69.
- [23] FOYER C H, NOCTOR G. Redox sensing and signalling associated with reactive oxygen in chloroplasts, peroxisomes and mitochondria[J]. Physiol Plant, 2003, 119(3):355-364.
- [24] YUN B W, SPOEL S H, LOAKE G J. Synthesis of and signalling by small, redox active molecules in the plant immune response[J]. Biochim Biophys Acta, 2012, 1820(6):770-776.
- [25] 倪建中,王伟,郁书君,等. 不同种源木棉生长及光合特性研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015,39(6):185-189.

责任编辑:陈旭