

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第23期 Vol.31 No.23 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 23 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟·····	付 刚,周宇庭,沈振西,等 (6989)
天山雪岭云杉大气花粉含量对气温变化的响应·····	潘燕芳,阎 顺,穆桂金,等 (6999)
春季季风转换期间孟加拉湾的初级生产力·····	刘华雪,柯志新,宋星宇,等 (7007)
降水量对川西北高寒草甸牦牛粪分解速率的影响 ·····	吴新卫,李国勇,孙书存 (7013)
基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究·····	陈 凯,刘增文,李 俊,等 (7022)
不同油松种源光合和荧光参数对水分胁迫的响应特征 ·····	王 琰,陈建文,狄晓艳 (7031)
盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响 ·····	刘慧霞,郭兴华,郭正刚 (7039)
高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响·····	黄激激,张念念,胡庭兴,等 (7047)
黄土高原水土保持林对土壤水分的影响 ·····	张建军,李慧敏,徐佳佳 (7056)
青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征·····	王志峰,胥 晓,李霄峰,等 (7067)
大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征·····	杜飞雁,林 钦,贾晓平,等 (7075)
湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素·····	张才学,龚玉艳,王学锋,等 (7086)
台湾海峡鲈鱼种群遗传结构·····	张丽艳,苏永全,王航俊,等 (7097)
洱海入湖河流弥苴河下游氮磷季节性变化特征及主要影响因素·····	于 超,储金宇,白晓华,等 (7104)
转基因鱼试验湖泊铜锈环棱螺种群动态及次级生产力·····	熊 晶,谢志才,蒋小明,等 (7112)
河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征 ·····	王维奇,徐玲琳,曾从盛,等 (7119)
EDTA 对铅锌尾矿改良土壤上玉米生长及铅锌累积特征的影响 ·····	王红新,胡 锋,许信旺,等 (7125)
不同包膜控释尿素对农田土壤氮挥发的影响·····	卢艳艳,宋付朋 (7133)
垄作栽培对高产田夏玉米光合特性及产量的影响·····	马 丽,李潮海,付 景,等 (7141)
DCE 不同施用时间对小麦生长期 N ₂ O 排放的影响 ·····	纪 洋,余 佳,马 静,等 (7151)
氮肥、钙肥和盐处理在冬小麦融冻胁迫适应中的生理调控作用 ·····	刘建芳,周瑞莲,赵 梅,等 (7161)
东北有机及常规大豆对环境影响的生命周期评价 ·····	罗 燕,乔玉辉,吴文良 (7170)
土壤施硒对烤烟生理指标的影响·····	许自成,邵惠芳,孙曙光,等 (7179)
不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响·····	宋 伟,赵长星,王月福,等 (7188)
西花蓟马的快速冷驯化及其生态学代价·····	李鸿波,史 亮,王建军,等 (7196)
温度对麦长管蚜体色变化的影响·····	邓明明,高欢欢,李 丹,等 (7203)
不同番茄材料对 B 型烟粉虱个体发育和繁殖能力的影响 ·····	高建昌,郭广君,国艳梅,等 (7211)
基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究·····	陈 贺,杨 盈,于世伟,等 (7218)
两种典型养鸡模式的能值分析 ·····	胡秋红,张力小,王长波 (7227)
四种十八碳脂肪酸抑藻时-效关系分析的数学模型设计 ·····	何宗祥,张庭廷 (7235)
流沙湾海草床重金属富集特征·····	许战州,朱艾嘉,蔡伟叙,等 (7244)
基于 QuickBird 的城市建筑景观格局梯度分析 ·····	张培峰,胡远满,熊在平,等 (7251)
景观空间异质性及城市化关联——以江苏省沿江地区为例·····	车前进,曹有挥,于 露,等 (7261)
基于 CVM 的太湖湿地生态功能恢复居民支付能力与支付意愿相关研究·····	于文金,谢 剑,邹欣庆 (7271)
专论与综述	
北冰洋海域微食物环研究进展·····	何剑锋,崔世开,张 芳,等 (7279)
城市绿地的生态环境效应研究进展·····	苏泳娴,黄光庆,陈修治,等 (7287)
城市地表灰尘中重金属的来源、暴露特征及其环境效应 ·····	方凤满,林跃胜,王海东,等 (7301)
研究简报	
三峡库区杉木马尾松混交林土壤 C、N 空间特征 ·····	林英华,汪来发,田晓堃,等 (7311)
广州小斑螟发生与环境因子的关系·····	刘文爱,范航清 (7320)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 39 * 2011-12



封面图说:黄河的宁夏段属于中国的半荒漠地区,这里气候干燥、降水极少(250mm 以下)、植被缺乏、物理风化强烈、风力作用强劲、其蒸发量超过降水量数十倍。人们从黄河中提水引水灌溉土地,就近形成了荒漠中的绿洲。有水就有生命,有水就有绿色。这种独特的条件形成了人与沙较量的生态关系——不是人逼沙退就是沙逼人退。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

黄微微,张念念,胡庭兴,李晓清,何远洋,尹丽. 高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响. 生态学报, 2011, 31 (23) : 7047-7055.

Huang W W, Zhang N N, Hu T X, Li X Q, He Y Y, Yin L. Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of *Simmondsia chinensis* seedlings from different provenances. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (23) : 7047-7055.

高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响

黄微微¹, 张念念¹, 胡庭兴^{1,*}, 李晓清², 何远洋¹, 尹 丽¹

(1. 四川农业大学林学院, 四川省林业生态工程重点实验室, 雅安 625014; 2. 四川省林业科学研究院, 成都 610081)

摘要: 利用人工气候室模拟高温环境, 研究了不同程度高温处理对 3 个不同种源 (Z_1 : 会东可河; Z_2 : 澳大利亚肯多伯冷; Z_3 : 美国菲尼克斯) 希蒙得木叶片相对含水量 ($LRWC$)、叶片光合特性、渗透调节、抗氧化保护酶、膜脂过氧化的影响。结果表明, 3 个种源希蒙得木幼苗 $LRWC$ 、净光合速率 (P_n) 和蒸腾速率 (Tr) 均随高温胁迫强度的加剧呈极显著下降趋势, 叶绿素含量 (Chl)、可溶性糖含量显著降低; 脯氨酸 (Pro) 含量呈极显著上升趋势; 丙二醛 (MDA) 含量和相对电导率 (REC) 均随高温胁迫强度的加剧而显著增加; 高温胁迫对希蒙得木幼苗叶片过氧化物酶 (POD) 活性和超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的影响因种源不同而有所差异, Z_1 、 Z_2 的 POD 活性随高温胁迫程度的增加而持续上升, Z_3 的 POD 活性呈先上升后降低趋势; Z_1 、 Z_3 的 SOD 活性随高温胁迫程度的增加而持续上升, Z_2 的 SOD 活性呈先降低后上升趋势。以隶属函数法综合分析各种种源希蒙得木幼苗抗高温能力的结果表明, 3 个种源希蒙得木幼苗的抗高温能力由强到弱依次为: Z_1 、 Z_3 和 Z_2 。结果表明, 长期生长在金沙江干热河谷的 Z_1 可能已经适应当地的生态环境, 表现出较好的抵御高温的能力, 不同种源耐高温能力的差异可能是通过种源所在地的气候、土壤、海拔等因素综合作用, 经过漫长的系统发育, 产生不同的变异结果。

关键词: 希蒙得木; 高温胁迫; 种源; 光合; 生理特性

Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of *Simmondsia Chinensis* seedlings from different provenances

HUANG Weiwei¹, ZHANG Niannian¹, HU Tingxing^{1,*}, LI Xiaoqing², HE Yuanyang¹, YIN Li¹

1 The Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering of Sichuan Province, College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, Sichuan, China

2 Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China

Abstract: Using phytotron to simulate high temperature environment, the physiological characteristics of leaves of *Simmondsia chinensis* seedlings from different provenances (Z_1 : kehe in China, Z_2 : Condobolin in Australia, Z_3 : Phoenix in USA) under different degree of high-temperature stress (CK , T_1 , T_2) have been studied. The results showed that with the increase of temperature, the leaf relative water content ($LRWC$), net photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (Tr), chlorophyll (Chl) content, and sugar content decreased significantly. While the contents of praline (Pro), malondialdehyde (MDA), and relative conductivity (REC) increased significantly, with the enhancement of temperature stress. However, the effects of high-temperature stress on peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD) activities were not consistent among different provenances. POD activities of Z_1 and Z_2 increased with the increase of temperature stress intensity, while that of Z_3 first increased and then decreased. SOD activities of Z_1 and Z_3 increased with the increase of temperature stress intensity, however that of Z_2 first decreased and then increased. The photosynthesis mechanisms of *S. chinensis* were different under diverse high-temperature stress. In high-temperature environment (T_1), a part of plant stomata closed to reduce the water loss and maintain normal physiological functions. Extreme heat- environment (T_2) broke

基金项目: 国家林业局“948”引进项目 (20000404); 四川省青年基金项目 (09ZQ026-057); 四川省重点学科建设项目 (SZD2004, SZD2008)

收稿日期: 2010-10-07; 修订日期: 2011-01-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hutx001@yahoo.com.cn

the systems of ROS generation and elimination, and further led ROS abundantly accumulating, lipid oxidation, MDA aggravation, plant cell dehydration, chl contents reduction, and the damage of photosynthetic organization. All of these changes brought about by high-temperature stress induced the decrease of P_n of *S. chinensis* greatly. Comprehensive evaluation of high-temperature resistance of *S. chinensis* seedlings of three provenances was conducted using fuzzy subordination method. The order of high-temperature resistance ability (from strong to weak) was Kehe in China (Z_1), Phoenix in USA (Z_3), and Condobolin in Australia (Z_2). The results suggest that Z_1 can adapt to the ecological environment of the arid-hot valley of Jinsha River. Z_1 has a better capacity of high-temperature resistance after breeding and cultivation for decades. The reasons that different provenances have diverse high-temperature resistance abilities may be the combined impact of environmental factors on plant, and the adaptation of plant to environment in the long-term of evolution. In short, *S. chinensis* has a good capability of high-temperature resistance and can be cultivated in extremely hot and dry area. Among the three provenances in the present study, Z_1 has a better ability to adapt to a high-temperature environment, such as the region of Jinsha River valley.

Key Words: *Simmondsia chinensis*; high-temperature stress; provenance; photosynthetic characteristics; physiological characteristics

人类活动排放大量的温室气体在大气中的含量逐步上升,导致全球气候变暖^[1],引发极端气候的频繁发生,如局部地区的异常高温、干旱等^[2-4]。高温热害严重影响植物的生长及生理代谢,成为限制植物分布、生长和生产力的一个主要环境因子^[5-7]。大量研究表明,高温胁迫下植物水分亏缺,光合速率降低,生长缓慢,活性氧代谢失调,膜脂过氧化发生,质膜透性增加^[8-10]。但植物在一定范围的高温环境下并不是被动地承受伤害,而是主动地调节适应。研究表明,在高温逆境下,植物一方面能通过降低蒸腾和增加体内可溶性有机物质的浓度来减缓水分缺失;另一方面通过激活体内一系列活性氧清除系统,减弱膜脂过氧化作用,保持细胞膜的稳定性。研究植物对高温逆境的响应机制将有助于采取有效的措施来抵御高温对植物的危害,并在植物的引种过程中具有一定的指导意义^[11]。

希蒙得木(*Simmondsia Chinensis*)为希蒙得木科希蒙得木属,为一属一种的多年生常绿灌木或小乔木,又名霍霍巴^[12],原产美国与墨西哥交接处的罗兰沙漠,是一种常绿灌木,寿命可达数百年^[13],在北纬 25—30°和西经 109—117°范围内的分布超过了 25.6 万 hm^2 ^[14]。希蒙得木种子含油 47%—62%,被誉为“液体黄金”^[15],是一种新兴的工业油料植物。希蒙得木根系发达,耐热、耐旱、耐瘠薄,被称为“沙漠克星”,是干旱、半干旱地区植被恢复和保持水土的优良树种。根据美国的福雷斯诺及墨西哥北纬 23—35°范围内 8 个气象站以及以色列 3 个站,苏丹 2 个站,共 13 个气象站的初步分析,希蒙得木的种植区和自然分布区多属于干旱沙漠或半干旱草原气候。其气候特点是空气干燥,降水稀少,气温较高,最高可达 50℃,昼夜温差可达 15—30℃。目前成功引种栽培希蒙得木的国家主要有阿根廷、以色列、秘鲁、澳大利亚、美国等,并进行了大规模种植和加工^[12,16]。自 20 世纪 70 年代末期,我国南方 10 多个省先后引种了希蒙得木并开展了相关研究^[17],多见于其引种^[18]、光合特性^[19]、开发利用^[12]等,国内外关于其对高温的生理响应的研究还不多见。希蒙得木特有的生物学特性、生态习性以及经济价值使其具有巨大的发展潜质,探讨其在我国能否作为高温、干旱等极端气候地带的适生树种具有重大的研究价值。本试验采用人工气候室模拟增温的方法,研究不同高温处理下 3 个优良希蒙得木种源各项生理指标的变化,旨在探讨这几个优良种源对高温胁迫的响应过程及其耐受能力,为希蒙得木的选种、引种及栽培管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料及胁迫环境

供试希蒙得木种子来源于四川省凉山彝族自治州会东县可河乡(Z_1)、澳大利亚肯多伯冷(Z_2)、美国菲尼克斯(Z_3)。具体培育方法如下:选用上口径为 30 cm、高 25 cm 的聚乙烯塑料盆,培育 2 年生实生幼苗;栽培

土壤为沙壤土与腐殖土以 3:1 比例混匀并灭菌,每盆装入 7.5 kg,于 2007 年 5 月 1 日播种,每盆 5 粒种子,待苗齐后间苗,每盆留均匀健壮苗 3 株。育苗期间进行常规水肥管理,保持幼苗正常生长。

高温胁迫试验在四川农业大学科研园区人工气候室里进行。

1.2 试验设计

高温胁迫参考姜春明等^[20]的方法。分别设 CK、 T_1 、 T_2 (图 1)3 个温度梯度处理,于 2009 年 8 月 14 日选择长势一致的幼苗移入人工气候室,每室每种源 6 盆,每日 8:00—19:00 时进行高温胁迫处理;通过人工气候室自动控制各室内相对湿度与自然环境保持一致(相对湿度日变化范围:55%—92%),控制浇水使各温度处理土壤湿度基本相同(土壤相对湿度:70%—75%)。胁迫 3 d 后,幼苗叶片已开始大量萎蔫(2009 年 8 月 17 日),测定各处理植株叶片光合参数,并采鲜叶样测定叶片相对含水量和各项生理指标。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 光合与蒸腾速率

光合指标采用 LI-6400 便携式光合测定仪(LI-COR, USA)测定。测定时间为 9:00—11:30,相对湿度 65%,设定光强(PFD)为 $1\ 000\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (饱和光强), CO_2 浓度为 $380\ \mu\text{mol}/\text{mol}$,活体测定希蒙得木幼苗成熟叶片净光合速率(P_n)和蒸腾速率(Tr)。每处理测定 6 个重复,每个重复待稳定后读取 5 个数据。

1.3.2 叶片相对含水量(LRWC)

叶片相对含水量采用饱和称重法^[21]测定。选取各处理部位一致、成熟完好的叶片迅速称其鲜重,再用蒸馏水浸泡 24 h,使组织吸水达到饱和状态,取出后吸去表面水后立即称其饱和重,然后在 $105\ ^\circ\text{C}$ 下杀青 30 min,在 $80\ ^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重,放在干燥器中冷却,称其烘干重。根据公式计算:

$$LRWC(\%) = [(\text{鲜重} - \text{干重}) / (\text{饱和重} - \text{干重})] \times 100\%$$

1.3.3 抗氧化保护酶活性

取待测植株叶片(去叶脉)0.05 g 于预冷的研钵中,加 5 mL 预冷的 $0.05\ \text{mol}/\text{L}$ 磷酸缓冲液(pH 7.8)在冰浴上研磨成匀浆,用磷酸缓冲液冲洗研钵,转入离心管,于 $4\ ^\circ\text{C}$ 下 $15\ 000\ \text{r}/\text{min}$ 离心 15 min,取上清液待测。SOD 活性测定参照高俊凤^[22]的方法,以抑制 NBT 还原率达 50% 的酶量为 1 个酶活性单位;POD 活性采用愈创木酚法^[23],每隔 30 s 记录 1 次吸光度,以每分钟内变化 0.01 为 1 个酶活性单位。

1.3.4 其它生理指标的测定

MDA 含量测定采用硫代芭比妥酸(TBA)比色法^[23];相对电导率测定采用电导仪法^[23];可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[23];脯氨酸含量测定采用磺基水杨酸提取,酸性茚三酮法测定^[23];叶绿素含量测定采用分光光度法^[24]。

1.3.5 数据分析

采用 SPSS 13.0 分析统计软件对试验数据进行单因素方差分析(One Way ANOVA);选用隶属函数法对各种源希蒙得木幼苗的耐高温能力进行综合评价^[25]。运用隶属函数公式:

$$\text{指标与耐高温性呈正相关时} \quad \hat{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{指标与耐高温性呈负相关时} \quad \hat{x}_{ij} = 1 - \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

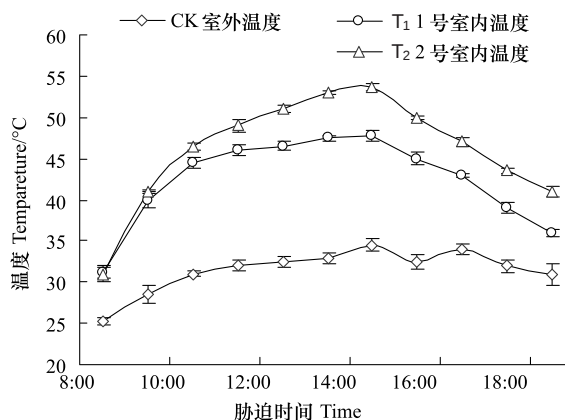


图 1 高温处理期间各处理环境温度日变化

Fig. 1 Diurnal variation of air temperature inside and outside of the phytotrons

图中各温度处理在各时刻的温度值为高温胁迫 3 d 内该时刻温度的平均值 $\pm$ 标准差($n = 3$)

式中, x_{ij} 为 i 种源 j 性状值; x_{imin} 为 j 性状中最小值; x_{imax} 为 j 性状中最大值; $\hat{x}_{ij}$ 为 i 种源 j 性状的耐高温隶属函数值。将种源所有性状的耐高温隶属函数值进行累加, 求其平均数:

$$\bar{x}_i = \sum \hat{x}_{ij} / n \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

式中, $\bar{x}_i$ 为 i 种源的耐高温隶属函数值, $\bar{x}_i$ 大则耐高温性强。

2 结果与分析

2.1 高温胁迫对希蒙得木幼苗叶片相对含水量的影响

由图 2 可知, 希蒙得木幼苗叶片相对含水量 ($LRWC$) 随温度升高呈极显著降低 ($P < 0.01$)。 T_2 处理时, 各种源 $LRWC$ 较 CK 的下降幅度表现为: Z_2 (66.21%) $> Z_3$ (51.05%) $> Z_1$ (48.40%); 与 T_1 处理相比各种源 $LRWC$ 均有所下降: 54.54% (Z_3)、45.72% (Z_2)、25.89% (Z_1), 这表明温度升高明显导致希蒙得木幼苗叶片水分亏缺, 且 Z_2 种源 (澳大利亚肯多伯冷) 叶片脱水速度最快。

2.2 高温胁迫对希蒙得木幼苗叶片叶绿素含量、净光合速率和蒸腾速率的影响

2.2.1 叶绿素含量

由图 2 可知, 3 个种源希蒙得木叶片叶绿素 (Chl) 含量随高温胁迫强度的加剧呈显著下降趋势 ($P < 0.05$)。 T_1 处理时, Z_1 、 Z_2 和 Z_3 幼苗 Chl 含量下降幅度较小; T_2 处理时, 各种源 Chl 含量与 T_1 处理时相比分别下降了: Z_3 (57.32%) $> Z_1$ (54.09%) $> Z_2$ (34.97%)。

2.2.2 净光合速率

由图 2 可知, 高温胁迫下 Z_2 、 Z_3 的净光合速率 (P_n) 呈极显著下降趋势 ($P < 0.01$)。 T_2 处理时, Z_1 、 Z_2 和 Z_3 的 P_n 分别为 $1.0704 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.6028 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $0.3014 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 此时 P_n 几乎接

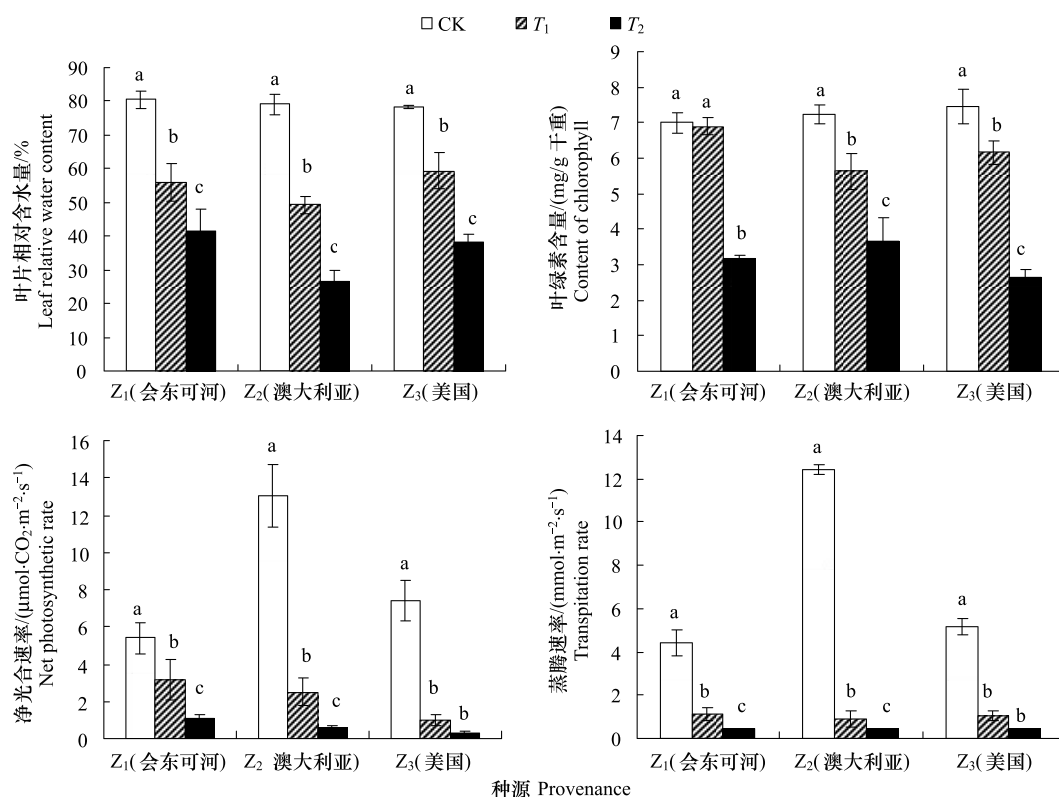


图 2 高温胁迫对不同种源希蒙得木幼苗叶片相对含水量、叶绿素含量、净光合速率和蒸腾速率的影响

Fig. 2 Effects of high-temperature stress on contents of relatively water and chlorophyll, net photosynthetic rate and transpiration rate in leaves of *S. chinensis* L. seedlings from different provenances

图中不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

近于 $0 \mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 各种源 P_n 与 CK 相比下降幅度表现为: $Z_3(95.93\%) > Z_2(95.38\%) > Z_1(80.16\%)$; 与 T_1 处理相比下降幅度表现为: $Z_2(75.70\%) > Z_3(70.02\%) > Z_1(66.16\%)$ 。这表明高温胁迫下希蒙得木幼苗叶片光合能力受到严重抑制。

2.2.3 蒸腾速率

由图 2 可以看出,随着高温胁迫程度的加重,3 个种源希蒙得木幼苗叶片蒸腾速率(T_r)呈极显著下降趋势($P < 0.01$)。 T_r 的变化规律与 P_n 大致相同,表现为:在 T_1 处理下, Z_1 、 Z_2 和 Z_3 幼苗叶片 T_r 均大幅度降低到较低水平,分别比 CK 降低了 73.69%、92.59% 和 79.44%,这可能是苗木对高温胁迫的一种适应性,降低蒸腾速率以减少水分散失; T_2 处理时,各种源希蒙得木叶片 T_r 很低,下降速度逐渐变小,与 T_1 相比各种源 T_r 的下降幅度表现为 $Z_3(60.36\%) > Z_1(59.08\%) > Z_2(51.30\%)$ 。不同程度高温胁迫下 T_r 的变化趋势与 P_n 的变化趋势一致,都是随着高温胁迫的加剧呈极显著下降,这可能与高温下叶片气孔关闭,光合电子传递和暗反应的一系列酶活性降低有关^[11]。

2.3 高温胁迫对希蒙得木幼苗叶片渗透调节的影响

渗透调节是植物抵御高温逆境的重要生理机制之一,脯氨酸、可溶性糖是备受关注的渗透调节物质^[11]。由图 3 可见,随着高温胁迫程度的加剧,希蒙得木叶片游离脯氨酸(Pro)含量呈极显著上升趋势($P < 0.01$)。在 T_2 处理时,各种源 Pro 分别比 CK 上升了 318.98% (Z_1)、198.48% (Z_3)、153.63% (Z_2);比 T_1 处理上升了 95.71% (Z_3)、53.60% (Z_2)、39.26% (Z_1)。此外, Z_1 、 Z_3 的可溶性糖含量随高温胁迫程度的加剧而逐渐下降,而 Z_3 的可溶性糖含量呈先升高后下降趋势(图 3)。

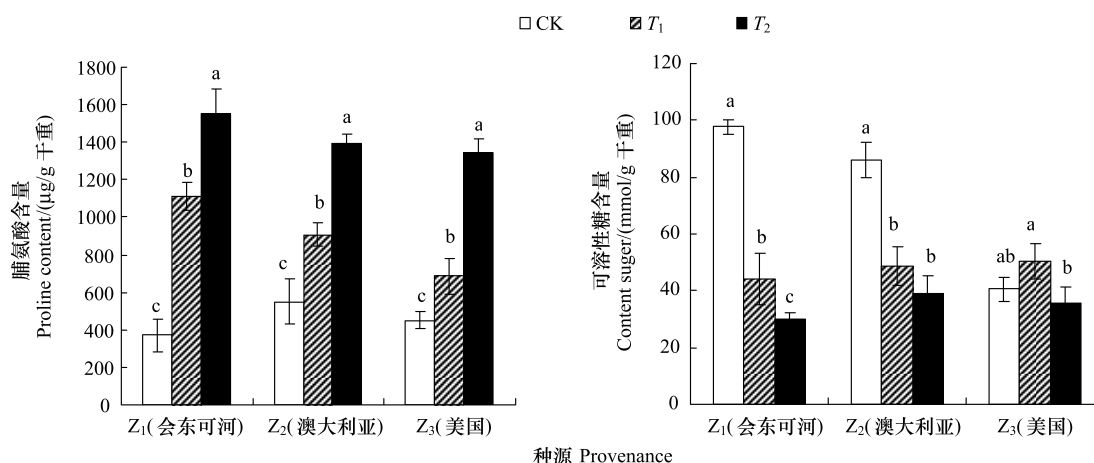


图 3 高温胁迫对不同种源希蒙得木幼苗叶片游离脯氨酸和可溶性糖含量的影响

Fig. 3 Effects of high-temperature stress on proline and sugar content in leaves of *S. chinensis* L. seedlings from different provenances

2.4 高温胁迫对希蒙得木幼苗叶片抗氧化保护酶活性的影响

在膜保护酶系统中,超氧化物歧化酶(SOD)是最有效的抗氧化酶之一,可以清除有潜在危险的超氧阴离子和过氧化氢,从而减轻超氧自由基和过氧化氢对植物的危害^[26]。由图 4 可见, Z_1 和 Z_3 的 SOD 活性随高温胁迫的加剧呈上升趋势,而 Z_2 的 SOD 活性呈先下降后上升的趋势。 T_1 处理时, Z_1 、 Z_3 的 SOD 活性与 CK 相比上升幅度较小; T_2 处理时,SOD 活性上升幅度增大,与 CK 相比各种源 SOD 活性上升幅度表现为: $Z_1(85.51\%) > Z_3(59.81\%) > Z_2(19.10\%)$ 。

过氧化物酶(POD)是植物体内重要的活性氧清除酶,对减少活性氧积累,清除 MDA,抵御膜脂过氧化和维护膜结构的完整性有重要作用^[26]。图 4 显示, Z_1 和 Z_2 的 POD 活性随高温胁迫的加剧呈上升趋势,而 Z_3 的 POD 活性呈先上升后下降的趋势。 T_2 处理时,与 CK 相比分别上升了 902.68% 和 8.05%,而 Z_3 的 POD 活性下降了 63.44%;与 T_1 处理相比, Z_1 和 Z_2 的 POD 活性分别上升了 37.00%、3.01%,而 Z_3 的 POD 活性下降了 78.68%。

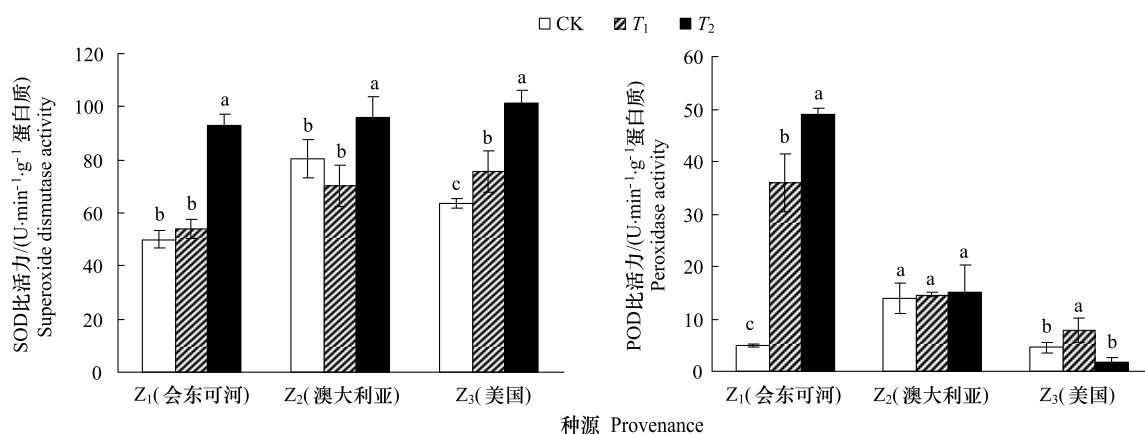


图4 高温胁迫对不同种源希蒙得木幼苗叶片 SOD 和 POD 活性的影响

Fig. 4 Effects of high-temperature stress on the activity of SOD and POD in leaves of *S. Chinensis* L. seedlings from different provenances

2.5 高温胁迫对希蒙得木叶片质膜透性和膜脂过氧化的影响

植物在逆境条件下生物膜的受损是因为积累的氧自由基引发膜脂过氧化,导致膜透性丧失所致。丙二醛 (MDA) 是膜脂过氧化的产物而被用于衡量植物细胞受损程度^[27]。由图 5 可见,随着高温胁迫程度的加剧,希蒙得木叶片 MDA 含量呈显著上升趋势 ($P < 0.05$)。T₁ 处理时,3 个种源叶片的 MDA 含量上升幅度均较小; T₂ 处理时,与 CK 相比 MDA 含量上升幅度较大,表现为: Z₂ (41.19%) > Z₃ (23.17%) > Z₁ (14.63%)。

由图 5 可以看出,3 个种源希蒙得木的叶片相对电导率随着温度升高而升高。T₁ 处理时,上升幅度均较小; T₂ 处理时,上升幅度显著 ($P < 0.05$),与 CK 和 T₁ 相比各种源上升幅度分别表现为: Z₃ (168.48%) > Z₂ (78.78%) > Z₁ (47.62%); Z₃ (119.03%) > Z₂ (50.99%) > Z₁ (46.71%)。

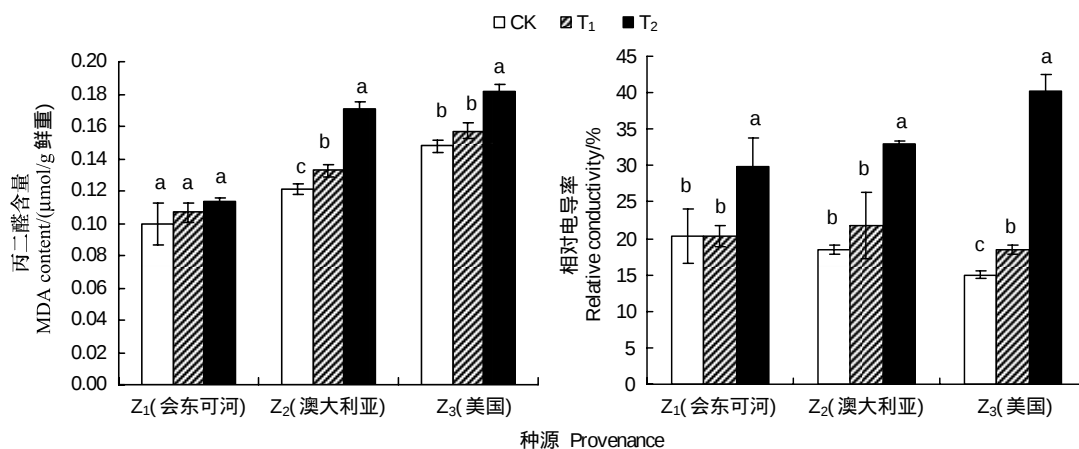


图5 高温胁迫对不同种源希蒙得木幼苗叶片丙二醛 (MDA) 含量和相对电导率的影响

Fig. 5 Effects of high-temperature stress on MDA content and relative conductivity in leaves of different *S. Chinensis* L. seedlings from different provenances

2.6 3 个种源希蒙得木耐高温能力综合评价

采用数学分析法——隶属函数法对各种源希蒙得木幼苗的耐高温能力进行综合评价。通过计算,得出 Z₁、Z₂、Z₃ 的隶属函数综合抗高温指标值分别为 0.513、0.466、0.496,由此表明 3 个种源希蒙得木幼苗的耐高温能力由强到弱依次为:会东可河 (Z₁),美国菲尼克斯 (Z₃),澳大利亚肯多伯冷 (Z₂)。

表 1 3 种源希蒙得木幼苗耐高温能力的综合评价

Table 1 Comprehensive appraisal of high-temperature resistance of 3 provenances of *S. chinensis* L.

指标 Index	种源 Provenance		
	Z ₁	Z ₂	Z ₃
叶片相对含水量 relatively water content B	0.543	0.523	0.492
SOD 比活力 Superoxide dismutase activity A	0.365	0.109	0.439
POD 比活力 Peroxidase activity A	0.567	0.536	0.490
丙二醛含量 MDA content B	0.499	0.591	0.577
脯氨酸含量 Proline content A	0.543	0.475	0.422
可溶性糖含量 Suger content A	0.404	0.591	0.577
净光合速率 Net photosynthetic rate A	0.495	0.384	0.366
蒸腾速率 Transpiration rate A	0.391	0.346	0.378
叶绿素含量 Content of chlorophyll A	0.658	0.517	0.578
相对电导率 Relative conductivity B	0.662	0.589	0.622
综合评价 Comprehensive Evaluation	0.513	0.466	0.494
耐高温能力排序 High-temperature resistance ability	1	3	2

A: 耐高温指标与耐高温性成正相关, B: 耐高温指标与耐高温性成负相关

3 结论和讨论

3.1 短期高温对希蒙得木幼苗光合生理特性的影响

温度是影响植物生理过程的重要生态因子之一,高温首先引起植物生理代谢紊乱,超过植物自身的调节控制范围后导致植物出现热害症状,甚至萎蔫死亡^[28],光合作用是对高温反应最敏感的生理过程之一^[29]。关于高温对植物光合作用的抑制机理,一是认为高温使气孔关闭,减少 CO₂ 供应量,降低叶片光合速率^[30];二是认为高温对光合作用的抑制是由非气孔因素引起,主要受内部酶活力和光合组分控制^[31]。有研究表明,当 LRWC<50% 时,光合机构的正常运转受到影响^[32]。在本研究 T₁ 处理中,3 个种源希蒙得木叶片 P_n、Tr 极显著下降(P<0.01),LRWC 均大于 50%,叶绿素含量小幅度下降,MDA、相对电导率的上升幅度均小,Pro 含量显著升高,POD 活性呈上升趋势,Z₁ 和 Z₃ 的 SOD 活性上升幅度较小,而 Z₂ 的 SOD 活性与 CK 相比有所下降。这表明,POD 活性的上升有效地将在少量 SOD 作用下歧化 O₂⁻ 生成的 H₂O₂ 分解为 H₂O 和 O₂; Pro 的大量积累防止植物水分散失,提高原生质胶体的稳定性,保持了蛋白质的水合度,平衡细胞质与液泡间的渗透势,减低质膜热受害程度。因此可推测,净光合速率下降的主要原因可能是气孔因素;在 T₁ 高温环境中,希蒙得木幼苗通过关闭部分气孔,降低蒸腾作用减少水分丧失,以维持正常的生理功能,从而限制 CO₂ 供应量。陈志刚等^[2] 对不同地理种源西南桦(*Betula alnoides*) 研究表明,高温下叶片气孔部分关闭,蒸腾作用、光合作用降低,使植物保持体内的水分来渡过干旱炎热的夏季而不至于死亡。郑军等^[33] 的研究也取得一致的结论:在高温胁迫下 12 个不同种源银杏(*Ginkgo biloba*) 叶片叶绿素含量变化不一,蒸腾速率明显降低,叶片气孔的部分关闭直接导致了净光合速率的下降。T₂ 处理时,3 个种源的净光合速率、蒸腾速率都几乎接近于 0 μmol·m⁻²·s⁻¹,Z₁、Z₂、Z₃ 的 LRWC 分别为 41.53%、26.72%、38.34%,叶绿素含量降低到 CK 处理时的 50% 左右,SOD 活性、相对电导率、MDA、Pro 含量显著上升,可溶性糖含量极显著下降,Z₁ 的 POD 活性仍显著上升,但 Z₂、Z₃ 的 POD 活性接近或小于 CK。这表明,极度高温打破了希蒙得木幼苗活性氧生成与清除平衡,导致活性氧大量积累,致使发生光氧化,膜脂过氧化加剧,水分散失和植物细胞脱水,光合色素含量急剧下降,造成光合机构的伤害,这些变化与气孔因素一起使净光合速率大大下降,同时 Pro 的大量积累平衡细胞质与液泡间的渗透势,减低质膜热受害程度,尽可能使希蒙得木幼苗叶片保持一定的水分以增强对高温环境的适应。

T₁ 处理时,3 个种源希蒙得木光合速率的下降主要由气孔因素限制,表明此时植物受高温的影响不是很大,抗氧化系统并未遭受严重破坏,膜脂过氧化程度很小,植物细胞耐脱水能力很强。T₂ 处理时,气孔因素与非气孔因素一起综合作用使光合速率大大下降(活性氧积累,膜脂过氧化加剧,植物细胞大量脱水,光合色素

含量下降和气孔大量关闭)。这表明,随着胁迫温度的上升,3 个种源希蒙得木幼苗受高温的影响程度加剧,同时,其自身又通过各种生理机理的变化以增强自己对极端高温环境的适应。

3.2 不同种源希蒙得木耐高温能力比较

本研究表明,希蒙得木为一种耐高温性较强的树种。高温胁迫下,3 个种源希蒙得木幼苗通过各种生理生化反应以抵御逆境,维持正常生长,各种抗高温指标的变化趋势总体相同,不同胁迫程度和不同种源各指标的变化规律存在差异,3 个种源的耐高温能力也存在一定区别。本试验通过隶属函数法综合分析各种源的耐高温性能。不同指标的隶属值种源排序并不完全相同,证明了这些生理指标通过相互作用抵御高温逆境,因此不能用单一指标来评价植物的抵御高温能力。综合分析得出 3 个种源希蒙得木幼苗的抗高温能力由强到弱依次为:会东可河(Z_1),美国菲尼克斯(Z_3),澳大利亚肯多伯冷(Z_2)。不同种源耐高温能力的差异可能是由于种源所在地的气候因子(如年均温、年降水量、光照等),土壤因子,海拔因子等综合作用,经过漫长的系统发育,产生不同的变异结果。本研究结果表明,长期生长在金沙江干热河谷的希蒙得木种源 Z_1 已适应当地的生态环境,表现出较强的耐高温的能力; Z_3 的抗高温性高于 Z_2 可能由于 Z_3 生长于美国亚利桑那州南中部的菲尼克斯,属热带沙漠气候,四季天气晴朗、日照充足,雨量极少,7 月平均气温高达 33℃,最高温可达 50℃,高温干旱的气候条件较之于属热带草原气候的澳大利亚肯多伯冷,则更加恶劣。

综上所述,3 个种源希蒙得木幼苗在强烈高温条件下通过降低蒸腾速率,增加细胞渗透调节物质含量,降低水分丧失,平衡细胞质与液泡间的渗透势,同时提高保护酶含量和活性,清除机体内 O_2^- 和 H_2O_2 ,降低膜脂过氧化作用,减轻对植物细胞的伤害,来增强其对高温环境的适应能力。希蒙得木为耐热性很强的植物,能在极度高温干旱的地方引种栽培,建议在高温干旱严重的地区栽培会东可河(Z_1)种源,在高温危害较轻的地区栽培美国菲尼克斯(Z_3)和澳大利亚肯多伯冷(Z_2)种源。在我国攀西地区,应广泛发展更耐热的会东可河(Z_1)种源,如果新引进的种源 Z_2 、 Z_3 比 Z_1 的产量高,其他性能指标(如含油量等)更高,则可加大引种驯化的力度。

References:

- [1] Qian W H, Zhu Y F. Climate change in China from 1880 to 1998 and its impact on environment condition. *Climatic Change*, 2001, 50: 419-444.
- [2] Chen Z G, Xie Z Q, Zheng H S. The research of heat-tolerance of different provenances of *Betula alnoides* seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2327-2332.
- [3] Bigras F J. Photosynthetic response of white spruce families to drought stress. *New Forest*, 2005, 29: 135-148.
- [4] Salinger M J. Climate variability and change: past, present and futurean overview. *Climatic Change*, 2005, 70: 9-29.
- [5] Chaitanya K V, Sundar D, Masilamani S, Reddy A R. Variation in he at stress-induced antioxidant enzyme activities among three mulberry cultivars. *Plant Growth Regulation*, 2001, 100: 1-6.
- [6] Ghoul H, Montpied P, Epron D, Ksonyini M, Hanchi B, Dreyer E. Thermal optima of photosynthetic functions and thermostability of photochemistry in cork oak seedlings. *Tree Physiology*, 2003, 23: 1031-1039.
- [7] Gulen H, Eris A. Effect of heat stress on peroxidase activity and total protein content in strawberry plants. *Plant Science*, 2004, 166: 739-744.
- [8] Guo P G, Li R H. Effects of high nocturnal temperature on photosynthetic organization in rice leaves. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(7): 673-678.
- [9] Martin J R, Specht J E. Temperature tolerance in soybeans. *Crop Science*, 1979, 19: 75-81.
- [10] Ma X J, Zhu D H. Functional roles of the plant superoxide dismutase. *Hereditas*, 2003, 25(2): 225-231.
- [11] Ou Z L, Cao F L. Research advancement of plant adapting to high-temperature stress. *China Forestry Science and Technology*, 2008, 22(1): 1-5.
- [12] Li X Q, Li R W, Cao X J, Wang Z. Research of *Simmondsia chinensis* abroad and corresponding development couniermeasue in China. *Journal of Southwest Forestry College*, 2004, 24(1): 75-78.
- [13] National Research Council. Jojoba; New Crop for Arid Lands, New Material for Industry. Washington D. C; National Academy Press, 1985.
- [14] Gentry H S. The natural history of jojoba (*Simmondsia chinensis*) and its cultural aspects. *Ecological Botany*, 1958, 12: 261-295.
- [15] Binman S, Belfer S, Shani A. Functionalization at the doublebond region of jojoba oil & Chemical binding ofjojoba liquid wax to polystyrene resins. *Journal of American Oil Chemists Society*, 1996, 73: 1075-1081.
- [16] Naqvi H H, Goldstein G, Ratnayaka C. Jojoba breeding and agronomic investigations at uc riverside // Baldwin A R ed. Seventh Iinternational conference on Jojoba and its Uses. Champaign; American Oil Chemists' Society, 1988: 395-410.

- [17] Chen Y K, Jiang G Z, Wu Y B, Chen P. Feasibility study and report of Panxi dry hot valley introduction of Jojoba. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 1985, 4: 21-26.
- [18] Chen S. Introduction of *Simmondsia chinensis* in coastal sandy area of South Fujian. *Journal of Northeast Forestry University*, 2007, 35(3): 15-20.
- [19] Li X Q, Gao H D, Cao X J, Li R W, Wang Z, Wang X L. Photosynthetic characteristics of *Simmondsia chinensis* in the arid-hot valley of the Jinsha River. *Journal of Zhejiang Forestry*, 2007, 24(3): 302-307.
- [20] Jiang C M, Yin Y P, Liu X, Wang Z L. Response of flag leaf lipid peroxidation and protective enzyme activity of wheat cultivars with different heat tolerance to high temperature stress after anthesis. *Acta Agronomica Sinica*, 2007, 33(1): 143-148.
- [21] Gindaba J, Rozanov A, Negash L. Response of seedlings of two Eucalyptus and three deciduous tree species from Ethiopia to severe water stress. *Forest Ecology and Management*, 2004, 201: 119-129.
- [22] Gao J F. *Plant Physiology Lab Guide*. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [23] Li H S. *Plant Physiological and Biochemical Principles and Techniques*. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [24] Zhao S J. *Plant Physiology Lab Guide*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998.
- [25] Wang Y C, Wang D X, Peng S B, He F. Effects of drought stress on physiological characteristics of woody saltbush. *Scintia Silvae Sinicae*, 2010, 46(1): 61-67.
- [26] Zhou Z B, Xu X W, Yang L Y. Physiological response and high-temperature resistance of three species of Psammophytes under high-temperature stress. *Arid Land Geography*, 2005, 28(6): 824-830.
- [27] Zhou G S, Zhu X D. Changes of physiological characters of wheat waterlogging and relations between physiological characters and waterlogging tolerance of different varieties. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(7): 777-783.
- [28] Zhang Z S, Li R Q, Wang J B. Effects of Ca^{2+} pretreatment on plasmalemma permeability, GSH and ASA contents, and calcium distribution in pepper mesophyll cells under heat stress. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2001, 25(2): 230-234.
- [29] Berry J A, Björman O. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plant. *Annual Review of Plant Physiology*, 1980, 31: 491-543.
- [30] Arquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33: 317.
- [31] Lai A M, Ku S B, Edwards G E. Analysis of inhibition of photosynthesis due to water stress in the C_3 species *Hordeum vulgare* and *Vicia faba*: electron transport, CO_2 fixation and carboxylation capacity. *Photosynthesis Research*, 1996, 49: 57-69.
- [32] Taiz L, Zeiger E. *Plant Physiology*. 2nd edition. Sunderland, Mass, USA: Sinauer Associates Press, 1998.
- [33] Zheng J, Cao F L, Wang G B, Zhang W X, Fang Y J. Study on physiologic effects of the high temperature on cultivars of *Ginkgo biloba* L. *China Forestry Science and Technology*, 2008, 22(1): 13-16.

参考文献:

- [2] 陈志刚, 谢宗强, 郑海水. 不同地理种源西南桦苗木的耐热性研究. *生态学报*, 2003, 23(11): 2327-2332.
- [8] 郭培国, 李荣华. 夜间高温胁迫对水稻叶片光合机构的影响. *植物学报*, 2000, 20(7): 673-678.
- [10] 马旭俊, 朱大海. 植物超氧化物(SOD)的研究进展. *遗传*, 2003, 25(2): 225-231.
- [11] 欧祖兰, 曹福亮. 植物耐热性研究进展. *林业科技开发*, 2008, 22(1): 1-5.
- [12] 李晓清, 李荣伟, 曹小军, 王准. 国外希蒙得木研究与我国发展对策. *西南林学院学报*, 2004, 24(1): 75-78.
- [17] 陈永锟, 江国泽, 吴英伯, 陈萍. 攀西地区干热河谷地带引种发展希蒙得木可行性调研报告. *四川林业科技*, 1985, 4: 21-26.
- [18] 陈胜. 闽南沿海沙质地区希蒙得木的引种. *东北林业大学学报*, 2007, 35(3): 15-20.
- [19] 李晓清, 高捍东, 曹小军, 李荣伟, 王准, 王晓玲. 金沙干热河谷希蒙得木的光合特性. *浙江林学院学报*, 2007, 24(3): 302-307.
- [20] 姜春明, 尹燕桦, 刘霞, 王振林. 不同耐热性小麦种旗叶膜脂过氧化和保护酶活性对花后高温胁迫的响应. *作物学报*, 2007, 33(1): 143-148.
- [22] 高俊凤著. *植物生理学实验指导*. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [23] 李合生著. *植物生理生化实验原理和技术*. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [24] 赵世杰著. *植物生理学实验指导*. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [25] 王宇超, 王得祥, 彭少兵, 何帆. 干旱胁迫对木本滨藜生理特性的影响. *林业科学*, 2010, 46(1): 61-67.
- [26] 周智彬, 徐新文, 杨兰英. 三种固沙植物对高温胁迫的生理相应及其抗热性研究. *干旱区地理*, 2005, 28(6): 824-830.
- [27] 周广生, 朱旭彤. 湿害后小麦生理变化与品种耐湿性的关系. *中国农业科学*, 2002, 35(7): 777-783.
- [28] 张宗申, 利容千, 王建波. 外源 Ca^{2+} 预处理对高温胁迫下辣椒叶片细胞膜透性和 GSH, AsA 含量及 Ca^{2+} 分布的影响. *植物生态学报*, 2001, 25(2): 230-234.
- [33] 郑军, 曹福亮, 汪贵斌, 张往祥, 方炎杰. 高温对银杏品种主要生理指标的影响. *林业科技开发*, 2008, 22(1): 13-16.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 23 December, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient	FU Gang, ZHOU Yuting, SHEN Zhenxi, et al (6989)
Changes in the concentrations of airborne <i>Picea schrenkiana</i> pollen in response to temperature changes in the Tianshan Mountain area	PAN Yanfang, YAN Shun, MU Guijin, et al (6999)
Primary production in the Bay of Bengal during spring intermonsoon period	LIU Huaxue, KE Zhixin, SONG Xingyu, et al (7007)
Effect of rainfall regimes on the decomposition rate of yak dung in an alpine meadow of northwest Sichuan Province, China	WU Xinwei, LI Guoyong, SUN Shucun (7013)
SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau	CHEN Kai, LIU Zengwen, LI Jun, et al (7022)
Characterization of the responses of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters to water stress in seedlings of six provenances of Chinese Pine (<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.)	WANG Yan, CHEN Jianwen, et al (7031)
Effect of silicon supply on Tall Fescue (<i>Festuca arundinacea</i>) growth under the salinization conditions	LIU Huixia, GUO Xinghua, GUO Zhenggang (7039)
Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of <i>Simmondsia Chinensis</i> seedlings from different provenances	HUANG Weiwei, ZHANG Niannian, HU Tingxing, et al (7047)
Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau	ZHANG Jianjun, LI Huimin, XU Jiajia (7056)
The distribution of male and female <i>Populus cathayana</i> populations along an altitudinal gradient	WANG Zhifeng, XU Xiao, LI Xiaofeng, et al (7067)
Analysis on the characteristics of macrobenthic community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring	DU Feiyan, LIN Qin, JIA Xiaoping, et al (7075)
The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China	ZHANG Caixue, GONG Yuyan, WANG Xuefeng, et al (7086)
Population genetic structure of <i>Pneumatophorus japonicus</i> in the Taiwan Strait	ZHANG Liyan, SU Yongquan, WANG Hangjun, et al (7097)
Seasonal variation of nitrogen and phosphorus in Miju River and Lake Erhai and influencing factors	YU Chao, CHU Jinyu, BAI Xiaohua, et al (7104)
Population dynamics and production of <i>Bellamyia aeruginosa</i> (Reeve) (Mollusca: Viviparidae) in artificial lake for transgenic fish, Wuhan	XIONG Jing, XIE Zhicai, JIANG Xiaoming, et al (7112)
Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland	WANG Weiqi, XU Linglin, ZENG Congsheng, et al (7119)
Effects of EDTA on growth and lead-zinc accumulation in maize seedlings grown in amendment substrates containing lead-zinc tailings and soil	WANG Hongxin, HU Feng, XU Xinwang, et al (7125)
Effects of different coated controlled-release urea on soil ammonia volatilization in farmland	LU Yanyan, SONG Fupeng (7133)
Effects of ridge planting on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize in high-yield field	MA Li, LI Chaohai, FU Jing, et al (7141)
Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period	JI Yang, YU Jia, MA Jing, et al (7151)
The role of the fertilizing with nitrogen, calcium and sodium chloride in winter wheat leaves adaptation to freezing-thaw stress	LIU Jianfang, ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, et al (7161)
Environment impact assessment of organic and conventional soybean production with LCA method in China Northeast Plain	LUO Yan, QIAO Yuhui, WU Wenliang (7170)
Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco	XU Zicheng, SHAO Huifang, SUN Shuguang, et al (7179)
Influence of different planting patterns on field microclimate effect and yield of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	SONG Wei, ZHAO Changxing, WANG Yuefu, et al (7188)
Rapid cold hardening of Western flower thrips, <i>Frankliniella occidentalis</i> , and its ecological cost	LI Hongbo, SHI Liang, WANG Jianjun, et al (7196)

- Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae* (F.) DENG Mingming, GAO Huanhuan, LI Dan, et al (7203)
- Development and reproduction of *Bemisia tabaci* biotype B on wild and cultivated tomato accessions
..... GAO Jianchang, GUO Guangjun, GUO Yanmei, et al (7211)
- Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland
..... CHEN He, YANG Ying, YU Shiwei, et al (7218)
- Emergy-based analysis of two chicken farming systems: a perspective of organic production model in China
..... HU Qiuhong, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (7227)
- Mathematical model design of time-effect relationship analysis about the inhibition of four eighteen-carbon fatty acids on toxic
Microcystis aeruginosa HE Zongxiang, ZHANG Tingting (7235)
- Enrichment of heavy metals in the seagrass bed of Liusha Bay XU Zhanzhou, ZHU Aijia, CAI Weixu, et al (7244)
- A gradient analysis of urban architecture landscape pattern based on QuickBird imagery
..... ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (7251)
- Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization: an example from Yangtze River in Jiangsu Province
..... CHE Qianjin, CAO Youhui, YU Lu, et al (7261)
- CVM for Taihu Lake based on ecological functions of wetlands restoration, and ability to pay and willingness to pay studies
..... YU Wenjin, XIE Jian, ZOU Xinqing (7271)
- Review and Monograph**
- Progress in research on the marine microbial loop in the Arctic Ocean HE Jianfeng, CUI Shikai, ZHANG Fang, et al (7279)
- Research progress in the eco-environmental effects of urban green spaces
..... SU Yongxian, HUANG Guangqing, CHEN Xiuzhi, et al (7287)
- Source, exposure characteristics and its environmental effect of heavy metals in urban surface dust
..... FANG Fengman, LIN Yuesheng, WANG Haidong, et al (7301)
- Scientific Note**
- Spatial structures of soilcarbon and nitrogen of China fir and Masson pine mixed forest in the Three Gorger Reservoir Areas
..... LIN Yinghua, WANG Laifa, TIAN Xiaokun, et al (7311)
- The relationship between *Oligochroa cantonella* Caradja and environmental factors LIU Wenai, FAN Hangqing (7320)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 23 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 23 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元