

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

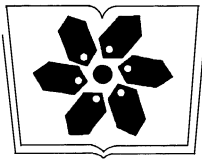
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第14期 Vol.33 No.14 **2013**

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 33 卷 第 14 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

石鸡属鸟类研究现状..... 宋 森,刘迺发 (4215)

个体与基础生态

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响.....
..... 闫 慧,吴 茜,丁 佳,等 (4226)

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响..... 邵怡若,许建新,薛 立,等 (4237)

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性..... 蔡 苗,董燕婕,李佰军,等 (4248)

不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应.....
..... 张智猛,宋文武,丁 红,等 (4257)

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化..... 李华东,潘存德,王 兵,等 (4266)

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应..... 李伶俐,郭红霞,黄耿华,等 (4278)

镁、锰、活性炭和石灰及其交互作用对小麦镉吸收的影响..... 周相玉,冯文强,秦鱼生,等 (4289)

CO₂ 浓度升高对毛竹器官矿质离子吸收、运输和分配的影响 庄明浩,陈双林,李迎春,等 (4297)

pH 值和 Fe、Cd 处理对水稻根际及根表 Fe、Cd 吸附行为的影响 刘丹青,陈 雪,杨亚洲,等 (4306)

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响..... 周卫霞,李潮海,刘天学,等 (4315)

玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响..... 焦念元,宁堂原,杨萌珂,等 (4324)

不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型..... 黄晶晶,井家林,曹德昌,等 (4331)

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究..... 陈 浩,曾晓东 (4343)

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响..... 孙 芳,陈中正,段毕升,等 (4354)

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定..... 王海建,李彝利,李 庆,等 (4361)

不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响..... 李 霞,徐秀秀,韩兰芝,等 (4370)

种群、群落和生态系统

基于 *mtCOII* 基因对山东省越冬代亚洲玉米螟不同种群的遗传结构分析
..... 李丽莉,于 毅,国 栋,等 (4377)

太湖湿地昆虫群落结构及多样性..... 韩争伟,马 玲,曹传旺,等 (4387)

西江下游浮游植物群落周年变化模式..... 王 超,赖子尼,李新辉,等 (4398)

环境和扩散对草地群落构建的影响..... 王 丹,王孝安,郭 华,等 (4409)

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性..... 杨丽娜,赵允格,明 姣,等 (4416)

景观、区域和全球生态

基于景观安全格局的建设用地管制分区..... 王思易,欧名豪 (4425)

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析..... 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等 (4436)

2000—2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析 骆成凤,许长军,游浩妍,等 (4450)

基于“源”“汇”景观指数的定西关川河流域土壤水蚀研究 李海防,卫 伟,陈 瑾,等 (4460)

农业景观格局与麦蚜密度对其初寄生蜂与重寄生蜂种群及寄生率的影响 ... 关晓庆,刘军和,赵紫华 (4468)

CO₂ 浓度和降水协同作用对短花针茅生长的影响..... 石耀辉,周广胜,蒋延玲,等 (4478)

资源与产业生态

城市土地利用的生态服务功效评价方法——以常州市为例..... 阳文锐,李 锋,王如松,等 (4486)

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例..... 王慧娜,赵小锋,唐立娜,等 (4495)

研究简报

间套作种植提升农田生态系统服务功能..... 苏本营,陈圣宾,李永庚,等 (4505)

矿区生态产业评价指标体系 王广成,王欢欢,谭玲玲 (4515)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-07



封面图说: 古田山常绿阔叶林景观——亚热带常绿阔叶林是我国独特的植被类型,生物多样性仅次于热带雨林。古田山地处中亚热带东部,浙、赣、皖三省交界处,由于其特殊复杂的地理环境位置,分布着典型的中亚热带常绿阔叶林,是生物繁衍栖息的理想场所,生物多样性十分突出。中国科学院在这里建立了古田山森林生物多样性与气候变化研究站,主要定位于研究和探索中国亚热带森林植物群落物种共存机制,阐释生物多样性对森林生态系统功能的影响,以及监测气候变化对于亚热带森林及其碳库和碳通量的影响。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201301150100

邵怡若, 许建新, 薛立, 张柔, 吴彩琼, 卢广超. 低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响. 生态学报, 2013, 33(14): 4237-4247.

Shao Y R, Xu J X, Xue L, Zhang R, Wu C Q, Lu G C. Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4237-4247.

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响

邵怡若¹, 许建新^{1,2}, 薛立^{1,*}, 张柔¹, 吴彩琼², 卢广超¹

(1. 华南农业大学林学院, 广州 510642; 2. 深圳市铁汉生态环境股份有限公司, 深圳 518040)

摘要:以盐肤木(*Rhus chinensis*)、假连翘(*Duranta repens*)、老鸭嘴(*Thunbergia erecta*)和葛藤(*Pueraria lobata*)4 种幼苗为试验材料,研究了人工模拟下的低温胁迫环境(6℃)对幼苗叶片生理生化及光合特性的影响。结果表明:(1)随低温胁迫的延长,假连翘幼苗的叶绿素含量先升后降,其余 3 种幼苗持续下降,低温解除后均显著回升;4 种幼苗的脯氨酸含量持续上升或波动;葛藤幼苗的可溶性蛋白质含量先升后降,其余幼苗显著上升,且低温解除后有所增加;4 种幼苗叶片可溶性糖含量以及丙二醛含量呈增加趋势,SOD 活性持续上升或先升后降。低温解除后,盐肤木幼苗的 SOD 活性略有上升,其余幼苗显著下降。(2)随低温胁迫的延长,4 种幼苗的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)均持续下降,假连翘的胞间 CO_2 浓度(C_i)持续上升,其余幼苗先降后升。低温解除后 4 种幼苗叶片 P_n 、 G_s 、 T_r 均有不同程度的回升, C_i 有不同程度的下降。低温胁迫和恢复 48 h 期间,4 种幼苗的脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白质含量的增加和 SOD 活性的稳定或增加,减轻了幼苗叶片细胞的膜脂过氧化程度,维持了细胞膜的完整性,是幼苗对低温胁迫适应性反应的重要调节机制。恢复 48 h 时的 P_n 、 G_s 和 T_r 均有不同程度的回升, C_i 有不同程度的下降,说明 4 种幼苗有一定的抗寒能力。(3)用主成分分析法分别对生理生化指标和光合生理指标进行分析,均得出 4 种幼苗的抗寒性顺序为葛藤>盐肤木>老鸭嘴>假连翘,这一结果可为采矿石废弃地生态恢复的植物筛选提供科学依据。

关键词:幼苗;低温胁迫;生理生化;光合;主成分分析

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species

SHAO Yiruo¹, XU Jianxin^{1,2}, XUE Li^{1,*}, ZHANG Rou¹, WU Caiqiong², LU Guangchao¹

1 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2 Shenzhen Tech and Ecology & Environment CO., LTD. Shenzhen, Guangdong 518040, China

Abstract: Low temperature stress is one of the major environmental factors affecting the process of physiology and photosynthesis of plants, which is known to cause many physiological and biochemical changes in plant metabolism such as protein denaturation, lipid liquefaction, the increased activity of antioxidant enzymes or perturbation of membrane integrity. Also low temperature decreases capacity and efficiency of photosynthesis. Therefore, the above physiological and biochemical indexes and photosynthetic characteristics are often used as an indicator of stress injury in plants. In response to low temperature stress, plants naturally have developed diverse mechanisms which can mitigate the effect of stress and lead to the adjustment of plant tolerance. Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics were studied in the seedlings of *Rhus chinensis*, *Duranta repens*, *Thunbergia erecta* and *Pueraria lobata*. Results showed that (1) with increasing time of low temperature, the chlorophyll content of *D. repens* seedlings increased initially and then decreased, whereas that of the other three seedling types continuously decreased, and

基金项目:国家科学技术部农业科技成果转化资金项目(2009GB2E020423)

收稿日期:2012-01-15; 修订日期:2012-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: forxue@scau.edu.cn

it rebounded significantly after removal of low-temperature stress for the four seedling types. The free proline content of the four seedling types gradually increased or fluctuated; the soluble protein content of *P. lobata* seedlings increased followed by an decrease, whereas the other three seedling types continuously increased, and that of the seedling types except for *P. lobata* rebounded significantly after low-temperature stress relieving; the contents of soluble sugar and MDA of the four seedling types tended to increase, their SOD activity continuously rose or rose initially and then fell, and SOD activity of the seedling types except for *R. chinensis* declined significantly after low-temperature stress relieving. (2) With increasing low temperature time, the net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s) and transpiration rate (T_r) continuously decreased for the four seedling types, and the intercellular CO_2 concentration (C_i) of *D. repens* continuously increased, whereas that of the other seedling types decreased followed by an increase. The P_n , G_s and T_r of the four seedling types increased to some extent, whereas their C_i decreased to some extent after low-temperature stress relieving. Increase in contents of free proline, soluble protein and soluble protein and increase or steady in SOD activity for the four seedling types alleviated degree of membrane lipid peroxidation of seedling cells and protected cell membrane, which is important regulatory mechanism of seedlings to low temperature stress. (3) The physiological indexes and photosynthetic indexes of the four seedling types were evaluated using principal component analysis, indicating that their ability of low temperature resistance was *P. lobata* > *R. chinensis* > *T. erecta* > *D. repens*. During low temperature stress and low-temperature stress relieving, osmotic substance content and SOD activity kept steady or increased in the seedlings of four plant species, and their P_n , G_s and T_r increased to some extent and C_i increased to some extent after low-temperature stress relieving, indicating that they had some ability of low temperature resistance. This result could supply scientific basis for plant selection in restoration of abandoned quarries.

Key Words: seedling; low temperature stress; physiological and biochemical; photosynthetic; analysis of principal component

低温影响植物生长发育、生理和光合特性^[1]。植物在长期适应低温胁迫过程中,逐步形成独特的生理生化特性,例如积累渗透物质、叶绿素含量、抗氧化酶系统发生变化^[2],调整光合特性^[1]。因此,生理和光合指标成为评价植物抗寒性的重要指标^[3]。

近年来,随着城镇化的快速发展,人类大量消耗石材资源形成了许多矿山废弃地。矿山废弃地缺少表土以及地表植被,直接暴露于光照之下,蒸发加强,温度变化剧烈,冬季低温通过改变色素组成,降低叶绿素荧光以及损害叶绿体发育^[4]而影响植物的光合^[5],限制植物的定居^[6],因而寒害成为采矿石废弃地植被恢复的主要环境胁迫之一。因此,研究低温对矿山植被恢复植物的生理和光合特性影响具有重要的价值。盐肤木(*Rhus chinensis*)、假连翘(*Duranta repens*)、老鸭嘴(*Thunbergia grandiflora*)、葛藤(*Pueraria lobata*)是热带、亚热带地区重要的矿山植被恢复植物,但是鲜有对这4种植物抗寒性研究的报道。本研究以这4种植物幼苗为研究对象,人工模拟低温环境,从叶绿素、渗透调节物质、抗氧化酶系统和光合特性等方面比较研究了它们的耐寒性强弱,以期对矿山废弃地的植被恢复提供科学依据。

1 研究方法

1.1 试验材料

本试验在华南农业大学林学院三楼进行。以来自深圳市林科院种苗示范基地的1年生盐肤木、假连翘、老鸭嘴和葛藤的实生容器苗为材料,营养袋直径9 cm,高9 cm,基质用林下表土与黄心土,比例3:7。幼苗的基本情况见表1。

1.2 试验方法

每种植物选生长良好和长势基本一致的容器苗24株,移入RXZ智能型人工气候箱进行低温处理(自然生长为对照)。光照时间设为8:00—17:00,光照强度为 $120\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,相对湿度保持在80%—85%。以

30℃ 为对照,进行第 0 h 测定。人工气候箱以 6℃/h 降温,幼苗在气候箱内经历约 4 h 降至(6.0 ± 0.5)℃,保持该温度为处理温度。在第 0、24、48、72 小时以及恢复 48 h (R) (低温解除)时进行各项指标测定。

表 1 4 种幼苗的基本情况(平均值±标准差)

Table 1 Characteristics of seedlings of four examined plant species (mean±SD)

幼苗	平均地径/cm	平均苗高/cm	平均冠幅/cm
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	1.2±0.6	35±1.5	22±0.9
假连翘 <i>Duranta repens</i>	0.7±0.1	56±2.5	53±2.6
老鸭嘴 <i>Thunbergia grandiflora</i>	1.6±0.4	45±1.2	25±0.8
葛藤 <i>Pueraria lobata</i>	2.1±0.5	65±2.4	32±0.4

1.3 样品采集

采样时间为 8:00,以从植株顶芽开始的第 3—8 片完全展开叶为供试材料,用蒸馏水擦净表面污物,将叶片剪碎、混合均匀后,进行不同生理指标测定,每个指标做 3 个重复。

1.4 生理指标的测定

生理生化指标 叶绿素含量的测定用分光光度法,脯氨酸含量的测定用酸性茚三酮法,SOD 活性的测定用氯化硝基四氮唑蓝(NBT)光化还原法,MDA 含量的测定用硫代巴比妥酸比色法(TBA)^[7],可溶性蛋白质含量的测定用考马斯亮蓝法^[8],可溶性糖含量的测定用蒽酮比色法^[9]。

光合指标 选择每株幼苗的第 3 位至第 8 位功能叶(6 枚叶片)挂牌标记,于早晨 9:00—12:00 采用美国 Li-Cor 公司生产的 Li-6400 便携式光合系统分析仪测定幼苗叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、细胞间隙 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r),每枚叶片测定 3 次。测定条件:叶室温度控制在 20—25℃,光强为 1000 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$, CO_2 浓度为 400 $\mu mol/mol$,流速为 500 $\mu mol/s$ 。

1.5 数据分析与处理

数据统计分析和作图由 Excel 和 SAS8.1 软件系统完成。用 Duncan 多重比较检验同一幼苗在不同处理时间后差异显著性,检验显著性水平为 0.05。

主成分分析法能够较少损失原有信息的前提下,将原来个数较多且彼此相关的指标转换成新的个数较少且彼此独立的综合指标^[10]。按下列公式对各指标数值进行标准化,

$$X = \frac{(x_i - \bar{x})}{S}$$

式中,X 为标准化后所得数据, x_i 为某项指标的原始数据, $\bar{x}$ 为某项指标的平均值。对标准化后的数据进行主成分分析。以累积贡献率达 85% 以上为参考值,确定主成分个数。因主成分之间相互独立且有着不同的贡献率,所以每个主成分得分是其加权值,其中权重是主成分对应的贡献率,由主成分的特征向量计算出每种幼苗的主成分得分^[11-12]。本研究运用主成分计算各个抗寒指标的得分,按得分多少评定各植物的抗寒能力。

2 结果分析

2.1 不同低温胁迫时间对幼苗生理生化指标的影响

2.1.1 不同低温胁迫时间对幼苗叶绿素含量的影响

低温胁迫处理期间,盐肤木、老鸭嘴和葛藤幼苗的叶绿素含量持续下降,低温 24 h 时分别下降为对照的 96.4%、87.2% 和 96.3%,低温 72 h 时分别下降为对照的 71.0%、57.3% 和 73.0%,均显著小于后者($P < 0.05$) (图 1)。假连翘幼苗的叶绿素含量先升后降,低温 24 h 时上升为对照的 134.0%,低温 72 h 时比对照显著下降了 13.6% ($P < 0.05$)。4 种幼苗恢复 48 h 时的叶绿素含量均显著大于低温 72 h 时的值($P < 0.05$) (图 1)。

2.1.2 不同低温胁迫时间对幼苗脯氨酸含量的影响

随低温胁迫时间的延长,盐肤木和假连翘幼苗的脯氨酸含量均持续上升,在低温 72 h 时与对照相比显著

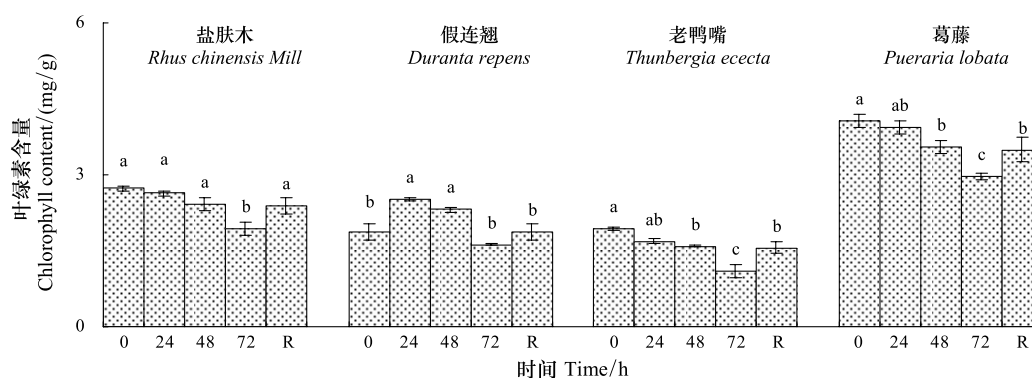


图1 低温胁迫下对幼苗叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effect of low temperature stress on the chlorophyll content in seedling leaves of the examined plants

图中 a、b、c、d 为多重比较结果,相同字母表示差异不显著

上升了 38.6% 和 42.8% ($P < 0.05$) (图 2)。老鸭嘴幼苗的脯氨酸含量下降后趋于平稳,低温 72 h 时显著小于对照 ($P < 0.05$)。葛藤幼苗的脯氨酸含量上升后趋于平稳。4 种幼苗恢复 48 h 时的脯氨酸含量与低温 72 h 时相比均无显著差异。

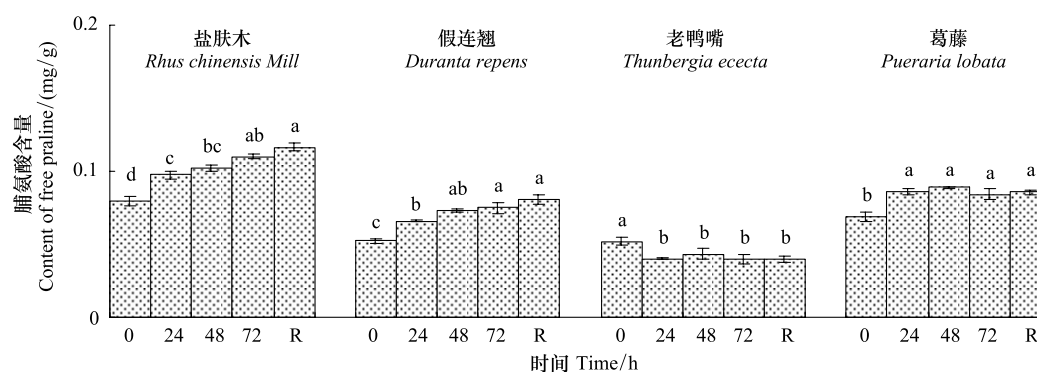


图2 低温胁迫下对幼苗叶片脯氨酸含量的影响

Fig. 2 Effect of low temperature stress on the content of free proline in seedling leaves of the examined plants

图中 a、b、c、d 为多重比较结果,相同字母表示差异不显著

2.1.3 不同低温胁迫时间对幼苗可溶性蛋白质含量的影响

随低温胁迫时间的延长,盐肤木、假连翘、老鸭嘴幼苗叶片的可溶性蛋白质含量均显著上升 ($P < 0.05$),在低温 72 h 时分别为对照的 219.4%、271.6% 和 228.7%。葛藤幼苗叶片的可溶性蛋白质含量先升后降,在低温 72 h 时为对照的 160.3%。恢复 48 h 时,葛藤幼苗叶片的可溶性蛋白质含量与低温 72 h 时相比有所降低,其余幼苗有所增加 (图 3)。

2.1.4 不同低温胁迫时间对幼苗可溶性糖含量的影响

随低温胁迫时间的延长,盐肤木叶片的可溶性糖含量显著上升后小幅波动,其余幼苗持续增加。盐肤木、假连翘、老鸭嘴和葛藤幼苗叶片的可溶性糖含量在低温 72 h 时分别增加 167.9%、224.0%、196.5% 和 124.0% (图 4)。恢复 48 h 时与连续低温 72 h 时相比盐肤木和老鸭嘴幼苗的可溶性糖含量有所上升,其余幼苗有所下降。

2.1.5 不同低温胁迫时间对幼苗丙二醛含量的影响

低温胁迫处理期间,4 种幼苗的丙二醛 (MDA) 含量均持续上升,盐肤木增幅较小,在低温 72 h 时增幅为 66.4%,假连翘、老鸭嘴和葛藤的增幅分别为 112.7%、161.4%、165.2% (图 5)。恢复 48 h 时,4 种幼苗的 MDA 含量与低温 72 h 时相比,盐肤木和假连翘的 MDA 含量有所下降,老鸭嘴和葛藤有所上升。

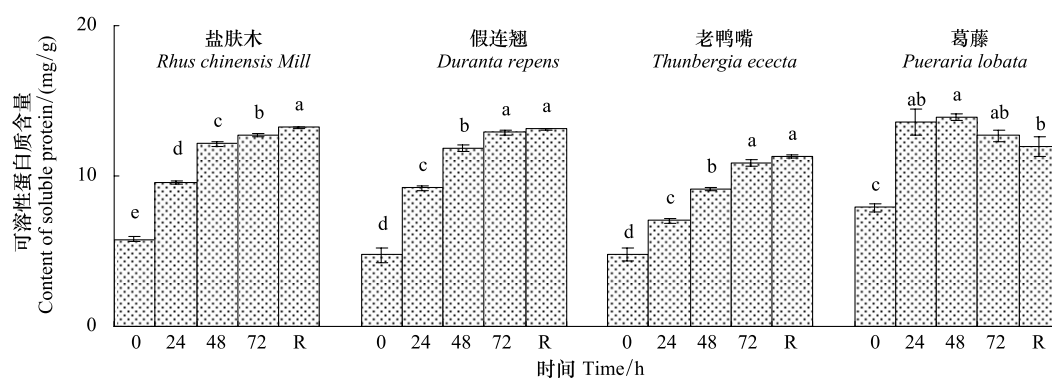


图 3 低温胁迫下对幼苗叶片可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 3 Effect of low temperature stress on the content of soluble protein in seedling leaves of the examined plants

图中 a、b、c、d 为多重比较结果,相同字母表示差异不显著

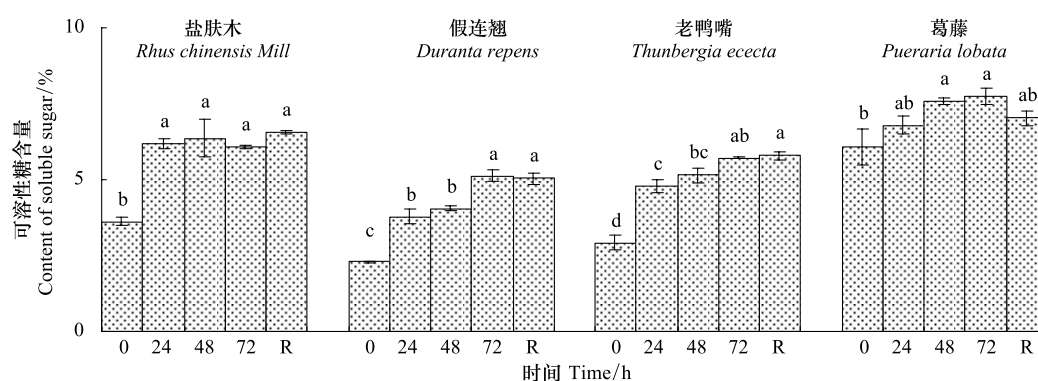


图 4 低温胁迫下对幼苗叶片可溶性糖含量的影响

Fig. 4 Effect of low temperature stress on the content of soluble sugar in seedling leaves of the examined plants

图中 a、b、c、d 为多重比较结果,相同字母表示差异不显著

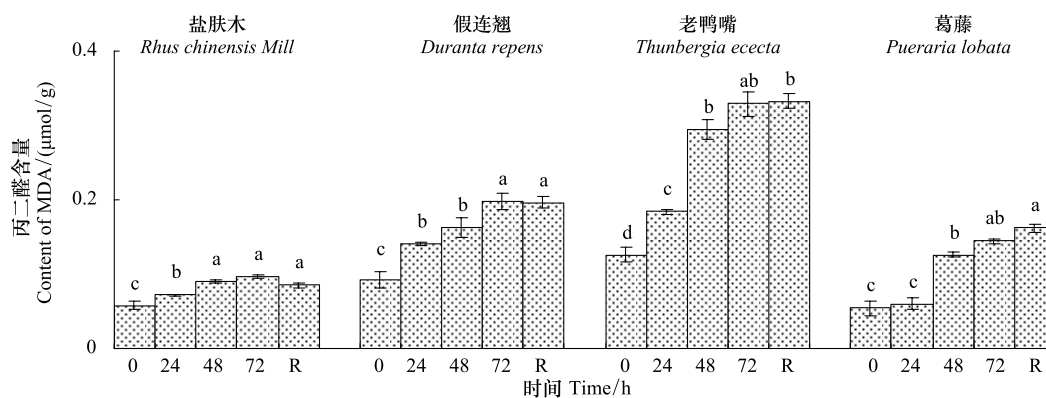


图 5 低温胁迫下对幼苗叶片丙二醛含量的影响

Fig. 5 Effect of low temperature stress on the content of MDA in seedling leaves of the examined plants

图中 a、b、c、d 为多重比较结果,相同字母表示差异不显著

2.1.6 不同低温胁迫时间对幼苗 SOD 活性的影响

低温胁迫处理期间,盐肤木和老鸭嘴幼苗叶片的 SOD 活性先升后降,在低温 72 h 时分别降至对照的 133.7% 和 144.9%,而假连翘和葛藤持续上升,在低温 72 h 时分别增至对照的 148.8% 和 123.9% (图 6)。

恢复 48 h 时,盐肤木幼苗的 SOD 活性比低温 72 h 时略有上升,其余幼苗的 SOD 活性下降显著($P<0.05$)。

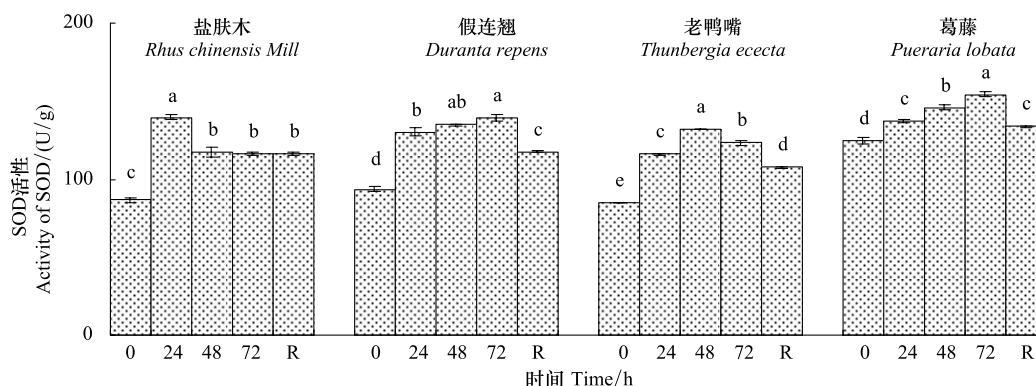


图6 低温胁迫下对幼苗叶片 SOD 含量的影响

Fig. 6 Effect of low temperature stress on the activity of SOD in seedling leaves of the examined plants

图中 a、b、c、d 为多重比较结果,相同字母表示差异不显著

2.2 不同低温胁迫时间对幼苗光合特性的影响

2.2.1 不同低温胁迫时间对幼苗净光合速率(P_n)的影响

随低温胁迫时间的延长,4 种幼苗的 P_n 持续下降,经 72 h 低温处理时,盐肤木、假连翘、老鸭嘴和葛藤分别下降到对照的 13.3%、18.5%、3.8% 和 2.9%。恢复 48 h 时假连翘的 P_n 与低温 72 h 时相比略有回升,其余幼苗显著回升($P<0.05$) (图 7)。

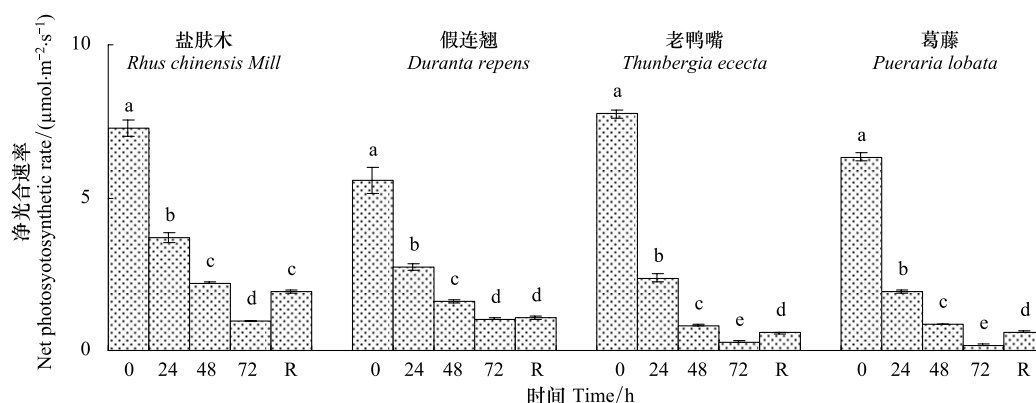


图7 低温胁迫下对幼苗叶片净光合速率(P_n)的影响

Fig. 7 Effect of low temperature stress on the net photosynthetic rate (P_n) in seedling leaves of the examined plants

图中 a、b、c、d 为多重比较结果,相同字母表示差异不显著

2.2.2 不同低温胁迫时间对幼苗气孔导度(G_s)的影响

随低温胁迫时间的延长,4 种幼苗的 G_s 持续下降,低温 72 h 时盐肤木、假连翘、老鸭嘴和葛藤幼苗的 G_s 分别下降到对照的 3.3%、7.1%、2.3% 和 1.8%。恢复 48 h 时假连翘和老鸭嘴的 G_s 与低温 72 h 时相比有所回升,盐肤木和葛藤显著回升($P<0.05$) (图 8)。

2.2.3 不同低温胁迫时间对幼苗胞间 CO_2 浓度(C_i)的影响

随低温胁迫时间的延长,除假连翘幼苗的 C_i 持续上升外,其余幼苗均先下降后上升。低温 72 h 时,盐肤木、假连翘、老鸭嘴和葛藤幼苗的 C_i 分别上升为对照的 101.1%、152.3%、151.2% 和 131.3%。恢复 48 h 时 4 种幼苗的 C_i 均显著小于低温 72 h 的值($P<0.05$) (图 9)。

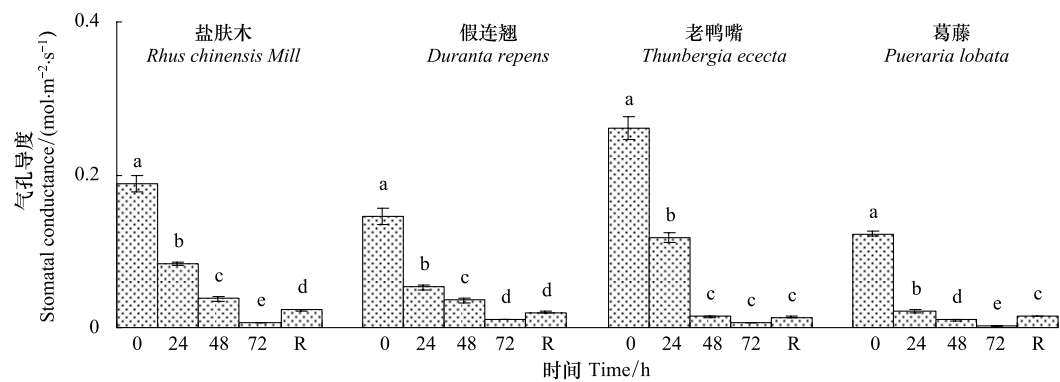


图 8 低温胁迫下对幼苗叶片气孔导度(G_s)的影响

Fig.8 Effect of low temperature stress on the stomatal conductance (G_s) in seedling leaves of the examined plants

图中 a、b、c、d 为多重比较结果,相同字母表示差异不显著

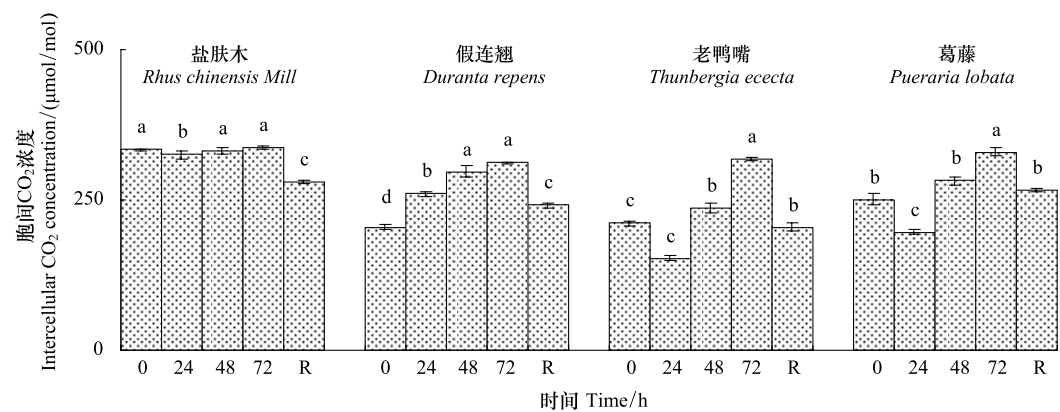


图 9 低温胁迫下对幼苗叶片胞间 CO₂ 浓度(C_i)的影响

Fig.9 Effect of low temperature stress on the Intercellular CO₂ concentration (C_i) in seedling leaves of the examined plants

图中 a、b、c、d 为多重比较结果,相同字母表示差异不显著

2.2.4 不同低温胁迫时间对幼苗叶片蒸腾速率(T_r)的影响

随低温胁迫时间的延长,4 种幼苗的 T_r 显著下降,低温 72 h 时盐肤木、假连翘、老鸭嘴和葛藤幼苗的 T_r 分别下降为对照的 16.6%、24.1%、13.2% 和 9.0%,恢复 48 h 时均显著回升($P<0.05$)(图 10)。

2.3 抗寒性综合评价结果

对 4 种幼苗低温胁迫的生理指标进行主成分分析,结果如表 2。低温胁迫下前 2 个主成分的分差累计贡

表 2 低温胁迫幼苗的生理指标主成分分析

Table 2 Principal component result of physiological indicators for seedlings under drought stress

	Prin1	Prin2
叶绿素含量 Chlorophyll content	0.536531	-0.12622
SOD 活性 SOD activity	0.42977	-0.44657
MDA 含量 MDA content	0.29038	0.526235
脯氨酸 Free proline content	-0.48454	0.255875
蛋白质含量 Soluble protein content	0.254757	0.640601
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.378726	0.178542
特征值 Eigenvalues	4.1102	2.7651
贡献率 Contribution rate	0.5607	0.3153
累计贡献率 Cumulative contribution rate	0.5607	0.8760

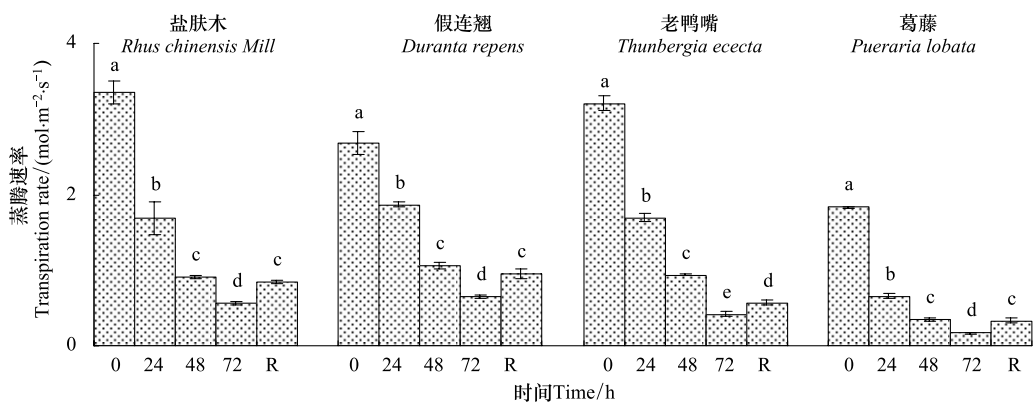


图 10 低温胁迫下对幼苗叶片蒸腾速率(T_r)的影响

Fig. 10 Effect of low temperature stress on the transpiration rate (T_r) in seedling leaves of the examined plants

图中 a、b、c、d 为多重比较结果,相同字母表示差异不显著

献率达到 87.6%,故前 2 个主成分足够描述植物低温胁迫下的情况。由表 2 可知,第 1 主成分中叶绿素和脯氨酸系数较大,说明二者是反映低温胁迫最重要的生理指标。

根据生理指标的数据,由主成分的特征向量计算出 4 种幼苗的生理指标得分,表明 4 种幼苗的抗寒性为葛藤>盐肤木>老鸭嘴>假连翘(表 3)。

表 3 低温胁迫下 4 种幼苗的生理生化指标得分

Table 3 Cold resistance scores of four species seedlings under low temperature

得分 Scores	葛藤 <i>Pueraria lobata</i>	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	老鸭嘴 <i>Thunbergia erecta</i>	假连翘 <i>Duranta repens</i>
平均得分 Mean Score	2.06	1.14	1.10	1.02
抗寒次位 Rank of cold resistance	1	2	3	4

表 4 列出 4 种幼苗低温胁迫的光合指标主成分分析。低温胁迫下前 2 个主成分的方差累计贡献率达到 91.85%,故采用前 2 个主成分。由表 4 可知,第 1 主成分中 P_n 和 T_r 的系数较大,说明二者是反映低温胁迫最重要的光合指标。

表 4 低温胁迫幼苗的光合指标主成分分析

Table 4 Principal component result of photosynthetic indicators for seedlings under drought stress

	Prin1	Prin2
净光合速率 P_n	0.56873	0.097017
气孔导度 G_s	0.348437	0.867222
胞间 CO_2 浓度 C_i	-0.51229	0.262886
蒸腾速率 T_r	0.541011	-0.41159
特征值 Eigenvalues	4.1477	1.2121
贡献率 Contribution rate	0.7018	0.2167
累计贡献率 Cumulative contribution rate	0.7018	0.9185

根据光合生理指标的数据,由主成分的特征向量计算出 4 种幼苗的光合生理得分(表 5),表明 4 种幼苗的抗寒性为葛藤>盐肤木>老鸭嘴>假连翘。

表 5 低温胁迫下 4 种幼苗光合指标得分

Table 5 Cold resistance scores of four species seedlings under low temperature

	葛藤	盐肤木	老鸭嘴	假连翘
平均得分	1.49	1.09	0.76	0.45
抗寒次位	1	2	3	4

3 结论与讨论

3.1 幼苗抗寒性与叶片生理生化指标

3.1.1 幼苗抗寒性与叶片叶绿素含量

温度影响叶绿素合成,进而植物的光合和生长。本研究低温处理的假连翘幼苗假叶片的叶绿素含量上升后下降,其余幼苗叶片的叶绿素含量持续下降。解除低温胁迫恢复 48 h 时 4 种幼苗的叶绿素含量均显著增加,这与光合速率的变化一致,说明解除低温胁迫后叶绿体色素合成有所恢复,光合作用加强。大部分植物在低温胁迫下叶绿素含量降低,一方面可能是叶绿体色素合成酶活性降低,叶绿体合成受阻而造成;另一方面也可能是低温引起了叶绿体功能的紊乱^[13],或加速了叶绿素的分解和叶绿体形态结构的受损使植物叶片内含量减少^[14]。此外,低温使植物体代谢缓慢,合成叶绿素的原料不足,也可能会造成叶绿素含量减少^[15]。

3.1.2 幼苗抗寒性与叶片的渗透调节物质含量

植物体内游离脯氨酸是细胞质重要的渗透调节物质,可以降低质膜受冻害的程度^[16]。在各低温胁迫阶段除了老鸭嘴幼苗的脯氨酸含量低于对照之外,其余幼苗均大于对照,这有利于缓解低温对植株造成的伤害。

可溶性蛋白质的吸水性很强,有助于提高细胞内的束缚水,降低冰点,减少原生质内结冰而伤害致死的机会^[17]。本研究的葛藤幼苗的可溶性蛋白质含量上升后相对稳定,其余幼苗的可溶性蛋白质含量均呈上升趋势,有利于抗寒。

可溶性糖是理想的渗透调节物质,可以缓解逆境对膜系统的伤害^[18]。在低温胁迫下,盐肤木幼苗的可溶性糖含量上升后保持稳定,其余幼苗持续上升,可以加大细胞的原生质浓度,增强细胞液的流动性而起到抗脱水的作用,有利于抗冷性的增加。在低温胁迫解除后,盐肤木和老鸭嘴幼苗的可溶性糖含量有不同幅度的增加,说明其对低温有较强的适应性。

3.1.3 幼苗抗寒性与叶片 MDA 含量和 SOD 活性

低温胁迫破坏细胞内活性氧代谢平衡被而产生活性氧,造成细胞膜系统的损害,引发或加剧膜质过氧化的作用,最终产物主要为丙二醛^[19]。本研究结果表明,随低温胁迫时间的延长,4 种幼苗的 MDA 含量都呈增加趋势,其中盐肤木和葛藤在低温胁迫 24 h 时增幅小,说明这两种幼苗低温胁迫初期的膜脂过氧化程度弱,表现出较强的抗寒性。恢复 48 h 时,4 种幼苗的 MDA 含量与低温 72 h 时相比无显著差异,说明在解除低温胁迫后,幼苗的细胞膜脂过氧化程度变化不大。

SOD 是植物重要的耐冷保护酶系统^[20]。与对照相比,4 种幼苗在受到低温胁迫 24 h 时,SOD 活性都有不同程度的上升,说明幼苗细胞内活性氧含量超出了正常水平,促发细胞内 SOD 活性增强,其活性的上升说明在低温胁迫下其清除自由基的能力增强。在降温初期幼苗对低温具有一定的防御反应,来减缓细胞内多余的自由基对细胞伤害的速度与程度,是 4 种幼苗对低温胁迫的适应性反应。随着低温胁迫时间的延长,假连翘的 SOD 活性保持稳定,葛藤持续增加,说明低温没有减弱假连翘,特别是葛藤的清除自由基的能力,有利于这些幼苗的抗寒。

3.2 幼苗抗寒性与叶片光合特性指标变化

净光合速率是光合系统功能的直接体现,也是植株光合系统工作正常与否的指标^[21]。气孔是植物与大气进行水汽和 CO₂ 交换的通道,影响着植物的光合与蒸腾。随低温胁迫的延长,4 种幼苗的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)均持续下降,假连翘的 C_i 持续上升,其余幼苗均先下降后上升。4 种幼苗的 P_n 降低有利于抗冻。低温胁迫期间,假连翘幼苗的 G_s 持续下降,且 C_i 持续上升,所以其 P_n 下降主要有非气孔因素引起。其余 3 种幼苗的 G_s 持续下降, C_i 先降后升,其 P_n 前期下降的原因主要是气孔因素, G_s 的下降限制了外界 CO₂ 通过气孔进入细胞间隙,导致光合速率下降,后期转变为非气孔因素^[22]。从光合生理指标来看,假连翘幼苗的抗寒性最差,其他 3 种幼苗较强。恢复 48 h 时 P_n 、 G_s 和 T_r 均有不同程度的回升, C_i 有不同程度的下降,说明 4 种幼苗均有一定的抗寒能力。

综上所述,幼苗抗寒性是受渗透调节物质和保护酶活性等共同调节的。低温 4 种幼苗的脯氨酸、可溶性

糖、可溶性蛋白质含量的增加和 SOD 活性的稳定或增加,减轻了幼苗叶片细胞,特别是葛藤和盐肤木叶片细胞的膜脂过氧化程度,维持了细胞膜的完整性,减轻了低温对幼苗的伤害,是幼苗对低温胁迫的适应性反应的重要调节机制。

研究植物抗寒有重要的应用价值^[3]。从生理生化指标和光合生理指标的主成分得分可知,4 种幼苗的抗寒性均为葛藤>盐肤木>老鸭嘴>假连翘,这一结果可为采矿石废弃地植被恢复植物的筛选提供科学依据。幼苗定居后,通过凋落物和根系分泌物来增加有机质^[23-24]和有效养分,减轻水蚀和风蚀的形成和程度,减少土壤养分的流失,改善土壤特性^[25],促进植被的生长和植被覆盖度的增加,从而营造一个植物群落环境,加速群落内养分的累积和其它种类的入侵,从而促进物种丰富度的不断增加。

References:

- [1] Guo S H, Xue L, Zhang R, Yang Z Y. Photosynthetic response of four species seedlings to low temperature stress. *Journal of South China Agricultural University*, 2012, 33(3): 373-377.
- [2] He Y J, Xue L, Ren X R, Cao H, Liang L L, Xu Yan. Effects of low temperature stress on physiological characteristics of six tree species seedlings. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(4): 524-531.
- [3] Xu Y, Xue L, Qu M. Physiological and ecological mechanisms of plant adaptation to low temperature. *Scientia Silvae Sinica*, 2007, 43(4): 88-94.
- [4] Farooq M, Aziz T, Wahid A, Lee D J, Siddique KHM. Chilling tolerance in maize: agronomic and physiological approaches. *Crop and Pasture Science*, 2009, 60(6): 501-516
- [5] Zhu X C, Song F B, Xu H W. Arbuscular mycorrhizae improves low temperature stress in maize via alterations in host water status and photosynthesis. *Plant and Soil*, 2010, 331(1/2): 129-137
- [6] Yang Z Y, Xue L, Xu J X. Advances in ecology restoration of abandoned quarries. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 5264-5274.
- [7] Chen J X, Wang X F. *Guideline of Experiments in Plant Physiology*. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2002: 31-32, 117-120.
- [8] Gao J F. *Guideline of Experiments in Plant Physiology*. Beijing: Higher Education Press, 2006: 142-143
- [9] Li H S. *Principle and technology on physiological and bio-chemical test of plant*. Beijing: Higher Education Press, 2000: 195-197.
- [10] Wang S G, Wang Z L, Wang P, Wang H W, Li F, Huang W, Wu Y G, Yin Y P. Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4): 1064-1072.
- [11] Feng H F, Xue L, Ren X R, Fu J D, Zheng W G, Shi X L. Physiological responses of four broadleaved seedlings to drought stress simulated by PEG. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(2): 371-382.
- [12] Tan X H, Gao Y P, Guo X P, Zhao T N, Wang L. Physiological characteristics and comprehensive evaluation of drought resistance in five plants used for roadside ecological restoration. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 5076-5086.
- [13] Wang Y, Yang H F, Li S D. Studies on chilling injury and cold hardiness of horticultural crops: a literature review. *Acta Horticulturae Sinica*, 1994, 21(3): 239-244.
- [14] Liang L H, Mei X, Lin F, Xia J, Liu S J, Wang J H. Effect of low temperature stress on tissue structure and physiological index of cashew young leaves. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(1): 317-320.
- [15] Wang C G, Wang X, Cang J, Yang L J. Effect of low temperature stress on cold resistance ability of rice seedlings. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2004, 35(2): 205-207.
- [16] He B, Chen Q B, Pan Y Z, Liu Y G. Research on physiology characteristic performance of several *euphorbia pulcherrima* Willd. cultivars under low temperature stress. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2004, 22(4): 332-334, 360.
- [17] Gao Y, Qi X H, Yang J H, Zheng M F. The response mechanism of cold stress in higher plants. *Northern Horticulture*, 2007(10): 58-61.
- [18] Yin C X, Yao R X, Qiao A M. The response to cold stress and evaluation of cold resistance of five cassava varieties. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 11: 30-33.
- [19] Chen S Y. Injury of membrane lipid peroxidation to plant cell. *Plant Physiology Communications*, 1991, 27(2): 84-90.
- [20] Liu H Y, Zhu Z J, Lu G H. Effect of low temperature stress on chilling tolerance and protective system against active oxygen of grafted watermelon. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(4): 659-662.
- [21] Zhou J, Yang L F, Hao F G, You Y. Photosynthesis and chlorophyll-fluorescence of *Magnolia grandiflora* seedlings under low temperature stress. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*, 2009, 29(1): 0136-0142.

- [22] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33(3): 317-345.
- [23] An Z S, Zhan J, Sun Q Y. Changes of nitrogen components in wastelands of copper mine tailings with the formation of natural plant communities. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5958-5966.
- [24] Li Y, Chen M L. Effects of the inhabitation by *Hippochaete ramosissimum* on heavy metal speciations and enzyme activities in copper mine tailing soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5949-5957.
- [25] Xue S, Liu G B, Dai Q H, Wei W, Hou X L. Evolution of soil microbial biomass in the restoration process of artificial *Robinia pseudoacacia* under erosion environment. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(6): 909-917.

参考文献:

- [1] 郭淑红, 薛立, 张柔, 杨振意. 4 种幼苗对低温胁迫的光合生理响应. *华南农业大学学报*, 2012, 33(3): 373-377.
- [2] 何跃君, 薛立, 任向荣, 曹鹤, 梁丽丽, 徐燕. 低温胁迫对六种幼苗生理特性的影响. *生态学杂志*, 2008, 27(4): 524-531.
- [3] 徐燕, 薛立, 屈明. 植物抗寒性的生理生态学机制研究进展. *林业科学*, 2007, 43(4): 88-94.
- [6] 杨振意, 薛立, 许建新. 采石场废弃地的生态恢复研究进展. *生态学报*, 2012, 32(16): 5264-5274.
- [7] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 31-32, 117-120.
- [8] 高俊凤. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 2006: 142-143.
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000: 195-197.
- [10] 王树刚, 王振林, 王平, 王海伟, 李府, 黄玮, 武玉国, 尹燕桦. 不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价. *生态学报*, 2011, 31(4): 1064-1072.
- [11] 冯慧芳, 薛立, 任向荣, 傅静丹, 郑卫国, 史小玲. 4 种阔叶苗木对 PEG 模拟干旱的生理响应. *生态学报*, 2011, 31(2): 371-382.
- [12] 谭雪红, 高艳鹏, 郭小平, 赵廷宁, 王亮. 五种高速公路边坡绿化植物的生理特性及抗旱性综合评价. *生态学报*, 2012, 32(16): 5076-5086.
- [13] 王毅, 杨宏福, 李树德. 园艺植物冷害和抗冷性的研究——文献综述. *园艺学报*, 1994, 21(3): 239-244.
- [14] 梁李宏, 梅新, 林锋, 夏军, 刘术金, 王金辉. 低温胁迫对腰果幼苗叶片组织结构和生理指标的影响. *生态环境学报*, 2009, 18(1): 317-320.
- [15] 王晨光, 王希, 苍晶, 杨丽娟. 低温胁迫对水稻幼苗抗冷性的影响. *东北农业大学学报*, 2004, 35(2): 205-207.
- [16] 何兵, 陈其兵, 潘远智, 刘应高. 几个一品红品种低温胁迫的生理特性研究. *四川农业大学学报*, 2004, 22(4): 332-334, 360.
- [17] 高媛, 齐晓花, 杨景华, 张明方. 高等植物对低温胁迫的响应研究. *北方园艺*, 2007, (10): 58-61.
- [18] 尹彩霞, 尧瑞霞, 乔爱民. 5 个木薯品种对低温胁迫的响应及其抗寒性评价. *广东农业科学*, 2012, 11: 30-33.
- [19] 陈少裕. 膜脂过氧化对植物细胞的伤害. *植物生理学通讯*, 1991, 27(2): 84-90.
- [20] 刘慧英, 朱祝军, 吕国华. 低温胁迫对嫁接西瓜耐冷性和活性氧清除系统的影响应用. *应用生态学报*, 2004, 15(4): 659-662.
- [21] 周建, 杨立峰, 郝峰鸽, 尤扬. 低温胁迫对广玉兰幼苗光合及叶绿素荧光特性的影响. *西北植物学报*, 2009, 29(1): 0136-0142.
- [23] 安宗胜, 詹婧, 孙庆业. 自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化. *生态学报*, 2010, 30(21): 5958-5966.
- [24] 李影, 陈明林. 节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响. *生态学报*, 2010, 30(21): 5949-5957.
- [25] 薛莲, 刘国彬, 戴全厚, 卫伟, 侯喜禄. 侵蚀环境生态恢复过程中人工刺槐林(*Robinia pseudoacacia*)土壤微生物量演变特征. *生态学报*, 2007, 27(6): 909-917.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 14 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

A review of the researches on *Alectoris* partridge SONG Sen, LIU Naifa (4215)

Autecology & Fundamentals

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China YAN Hui, WU Qian, DING Jia, et al (4226)

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species SHAO Yiruo, XU Jianxin, XUE Li, et al (4237)

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, et al (4248)

The responses of leaf osmoregulation substance and protective enzyme activity of different peanut cultivars to non-sufficient irrigation ZHANG Zhimeng, SONG Wenwu, DING Hong, et al (4257)

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains LI Huadong, PAN Cunde, WANG Bing, et al (4266)

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole LI Lingli, GUO Hongxia, HUANG Genghua, et al (4278)

Effects of magnesium, manganese, activated carbon and lime and their interactions on cadmium uptake by wheat ZHOU Xiangyu, FENG Wenqiang, QIN Yusheng, et al (4289)

Effects of increased concentrations of gas CO₂ on mineral ion uptake, transportation and distribution in *Phyllostachys edulis* ZHUANG Minghao, CHEN Shuanglin, LI Yingchun, et al (4297)

Effects of pH, Fe and Cd concentrations on the Fe and Cd adsorption in the rhizosphere and on the root surfaces of rice LIU Danqing, CHEN Xue, YANG Yazhou, et al (4306)

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance ZHOU Weixia, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (4315)

Effects of maize || peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize JIAO Nianyuan, NING Tangyuan, YANG Mengke, et al (4324)

Cloning root system distribution and architecture of different forest age *Populus euphratica* in Ejina Oasis HUANG Jingjing, JING Jialin, CAO Dechang, et al (4331)

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration CHEN Hao, ZENG Xiaodong (4343)

Mating behavior of *Pachycrepoides vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, et al (4354)

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) WANG Haijian, LI Yili, LI Qing, et al (4361)

Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) LI Xia, XU Xiuxiu, HAN Lanzhi, et al (4370)

Population, Community and Ecosystem

Genetic structure of the overwintering Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) collections in Shandong of China based on *mtCOII* gene sequences LI Lili, YU Yi, GUO Dong, TAO Yunli, et al (4377)

The structure and diversity of insect community in Taihu Wetland HAN Zhengwei, MA Ling, CAO Chuanwang, et al (4387)

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River WANG Chao, LAI Zini, LI Xinhui, et al (4398)

Effect of species dispersal and environmental factors on species assemblages in grassland communities WANG Dan, WANG Xiao'an, GUO Hua, et al (4409)

- Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result
 YANG Lina, ZHAO Yunge, MING Jiao, et al (4416)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern WANG Siyi, OU Minghao (4425)
- Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis
 ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, ZHAO Haili, et al (4436)
- Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake Basin during 2000—2010
 LUO Chengfeng, XU Changjun, YOU Haoyan, et al (4450)
- Research on soil erosion based on Location-weighted landscape index (LWLI) in Guanchuanhe River basin, Dingxi, Gansu
 Province LI Haifang, WEI Wei, CHEN Jin, et al (4460)
- Effects of host density on parasitoids and hyper-parasitoids of cereal aphids in different agricultural landscapes
 GUAN Xiaoqing, LIU Junhe, ZHAO Zihua (4468)
- Effects of interactive CO₂ concentration and precipitation on growth characteristics of *Stipa breviflora*
 SHI Yaohui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (4478)

Resource and Industrial Ecology

- Eco-service efficiency assessment method of urban land use: a case study of Changzhou City, China
 YANG Wenrui, LI Feng, WANG Rusong, et al (4486)
- Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City
 WANG Huina, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (4495)

Research Notes

- Intercropping enhances the farmland ecosystem services SU Benying, CHEN Shengbin, LI Yonggeng, et al (4505)
- Assessment indicator system of eco-industry in mining area WANG Guangcheng, WANG Huanhuan, TAN Lingling (4515)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 骆世明

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 33 卷 第 14 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 14 (July, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.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 90.00 元