

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

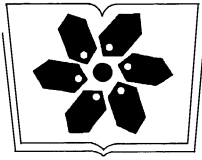
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第4期 Vol.34 No.4 **2014**

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 34 卷 第 4 期

2014 年 2 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 富营养化湖泊溶解性有机碳生物可利用性研究进展 叶琳琳,孔繁翔,史小丽,等 (779)
- 黄河下游平原农业景观中非农生境植物多样性 卢训令,梁国付,汤 茜,等 (789)

个体与基础生态

- 锰胁迫对杠板归细胞超微结构的影响 王 钧,邬 卉,薛生国,等 (798)
- 不同渗氧能力水稻品种对砷的耐性和积累 吴 川,莫竞瑜,薛生国,等 (807)
- 弱光下水分胁迫对不同产地披针叶茴香幼苗生理特性的影响 曹永慧,周本智,陈双林 (814)
- 不同分枝数对桑树幼苗生长发育的影响 邹慧慧,胥 晓,刘 刚,等 (823)
- 斑膜合垫盲蝽若虫在国槐上的空间分布型及抽样技术 朱惠英,沈 平,吴建华,等 (832)
- 连作苹果园土壤真菌的 T-RFLP 分析 尹承苗,王功帅,李园园,等 (837)
- 棉隆对苹果连作土壤微生物及平邑甜茶幼苗生长的影响 刘恩太,李园园,胡艳丽,等 (847)
- 两株具有芪降解功能的植物内生细菌的分离筛选及其特性 孙 凯,刘 娟,李 欣,等 (853)

种群、群落和生态系统

- 温度对柑橘始叶螨实验种群生长发育繁殖的影响 李迎洁,王梓英,张国豪,等 (862)
- 高原鼠兔有效洞穴密度对青藏高原高寒草甸群落植物生态位的影响 贾婷婷,毛 亮,郭正刚 (869)
- 三工河流域琵琶柴群落特征与土壤因子的相关分析 赵学春,来利明,朱林海,等 (878)
- 岷江干旱河谷造林对土壤微生物群落结构的影响 王卫霞,罗 达,史作民,等 (890)
- 滩涂围垦和土地利用对土壤微生物群落的影响 林 黎,崔 军,陈学萍,等 (899)
- 福寿螺对稻田水生植物群落结构的影响 赵本良,章家恩,戴晓燕,等 (907)
- 4 种木本植物在潜流人工湿地环境下的适应性与去污效果 陈永华,吴晓芙,郝 君,等 (916)
- 基于静态箱式法和生物量评估海北金露梅灌丛草甸碳收支 李红琴,李英年,张法伟,等 (925)
- 初始 pH 值对碱性和酸性水稻土微生物铁还原过程的影响 吴 超,曲 东,刘 浩 (933)

景观、区域和全球生态

- 库姆塔格柽柳沙包年层稳定碳同位素与气候环境变化 张锦春,姚 拓,刘长仲,等 (943)

资源与产业生态

- 大棚甜瓜蒸腾规律及其影响因子 张大龙,常毅博,李建明,等 (953)
- 盐胁迫下荒漠共生植物红砂与珍珠的根茎叶中离子吸收与分配特征 赵 昕,杨小菊,石 勇,等 (963)
- 普通鹿蹄草品质与根际和非根际土壤的关系 耿增超,孟令军,刘建军 (973)

作物种植前后土壤有机质及养分因子的空间变异分析 方 斌,吴金凤 (983)

城乡与社会生态

城市河流健康评价指标体系构建及其应用 邓晓军,许有鹏,翟禄新,等 (993)

西藏生态足迹与承载力动态分析..... 安宝晟,程国栋 (1002)

研究简报

三峡库区岸坡消落带草地、弃耕地和耕地土壤微生物及酶活性特征 马 朋,李昌晓,雷 明,等 (1010)

盐胁迫对 2 种栎树苗期生长和根系生长发育的影响..... 王树凤,胡韵雪,孙海菁,等 (1021)

恒温 and 变温驯化对大蟾蜍蝌蚪热耐受性的影响 王立志 (1030)

学术信息与动态

国际生物土壤结皮研究发展态势文献计量分析..... 贺郝钰,侯春梅,迟秀丽,等 (1035)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 264 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 30 * 2014-02



封面图说：大蟾蜍蝌蚪群——大蟾蜍别名癞蛤蟆,体长达 10cm 以上,身体肥胖,四肢短,步态及齐足跳的姿势具特征性。其背部皮肤厚而干燥,通常有疣,呈黑绿色,常有褐色花斑,趾间具蹼。毒腺在背部的疣内,受惊后毒腺分泌或射出毒液。大蟾蜍早春在水中繁殖,可迁移至 1.5km 外或更远的适合繁殖的池塘,产卵量很大,产卵数天后蝌蚪即可孵出,1—3 个月后发育为蟾。大蟾蜍常作为实验动物或药用动物,其耳后腺和皮肤腺的白色分泌物可制成“蟾酥”,可治疗多种疾病。研究表明,大蟾蜍蝌蚪最高逃避温度和最高致死温度比最适温度产生的影响要大。

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/stxb201209241351

曹永慧, 周本智, 陈双林. 弱光下水分胁迫对不同产地披针叶茴香幼苗生理特性的影响. 生态学报, 2014, 34(4): 814-822.

Cao Y H, Zhou B Z, Chen S L. Effects of water stress on physiological characteristics of different *Illicium lanceolatum* ecotypes under low light intensity. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(4): 814-822.

弱光下水分胁迫对不同产地披针叶茴香 幼苗生理特性的影响

曹永慧*, 周本智, 陈双林

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 富阳 311400)

摘要: 选用 4 个不同产地披针叶茴香 (*Illicium lanceolatum*) (浙江临安 (LA)、浙江开化 (KH)、江西武宁 (WN) 和福建南平 (NP)) 1 年生盆栽幼苗为试验材料, 设置 3 个光照处理 (I: $25 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; II: $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; III: $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 和 2 个水分处理 (正常供水 (CK) 和自然干旱 2d), 探讨弱光环境下短期干旱对披针叶茴香幼苗生理特性及适应性的影响。结果表明: 两种水分处理下, 披针叶茴香幼苗抗氧化酶活性和渗透调节物质含量对弱光的敏感性存在明显差异。在光处理 II 和 III 条件下, WN 产地幼苗经 2d 水分胁迫后, 过氧化氢酶 (CAT) 活性比正常水分条件明显增加, 过氧化物酶 (POD) 活性在光处理 III 下比正常水分条件的显著增加, 各光处理下超氧化物歧化酶 (SOD) 活性比正常水分的显著下降, 丙二醛 (MDA) 含量相反。水分胁迫后, 各光处理下 LA 产地幼苗的 SOD 和 POD 酶活性低于正常水分条件的, 可溶性蛋白和 MDA 含量均较正常水分处理的增加。与正常水分条件相比, 水分胁迫后的 KH 产地幼苗 SOD、POD 和 CAT 酶活性在光处理 I 下均显著增加, 可溶性蛋白和 MDA 含量有所下降。NP 产地幼苗各光处理的酶活性均表现出水分胁迫后的比正常水分下的有所提高。可知, 短期水分胁迫对提高 KH、WN 和 NP 产地幼苗对弱光环境的适应性具有显著促进作用。研究揭示短期水分胁迫可通过增加抗氧化酶活性和渗透调节物质含量来提高幼苗对弱光的适应性。

关键词: 披针叶茴香; 不同产地; 弱光; 水分胁迫; 抗氧化酶; 渗透物质

Effects of water stress on physiological characteristics of different *Illicium lanceolatum* ecotypes under low light intensity

CAO Yonghui*, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin

Chinese Academy of Forestry, Research Institute of Subtropical Forestry, Fuyang 311400, China

Abstract: Low availability of soil moisture is considered a major limiting factor for plant growth and crop yield worldwide, and it turns to be a more serious problem under the context of global change. A weak light stress, resulting from significantly lower light intensity than light saturation point of plant in long time, will affect the morphogenesis and physiological and biochemical processes of plant. The Chinese anise (*Illicium lanceolatum*), a traditional medicinal plant in China, has high content of shikimic acids which have effects of antiphlogosis and analgesis, and can reduce platelet aggregation and suppress vascular and cerebral thrombosis. Shikimic acid can also be an intermediate for antiviral and anticancer drugs. Scattering in its natural habitats, *I. lanceolatum* resources have experienced a rapid decline due to overexploitation. Therefore, it is necessary to study the protection and development strategies of *I. lanceolatum* resources. Soil moisture and light intensity are important restrictive impact factors for growth and biomass accumulation of *I. lanceolatum* seedlings. Until now, there is no reports about the mechanism of this species' response to water and light conditions. In order to explore the effect of short-

基金项目: 浙江省科技计划资助项目 (2009C32097)

收稿日期: 2012-09-24; 修订日期: 2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fjcylh77@sina.com

term drought on the plant physiological characteristics and its adaptive capacity under low light intensity, a pot experiment was conducted with one year old *I. lanceolatum* seedlings for four ecotypes, respectively ecotypes from Linan Zhejiang (LA), Kaihua Zhejiang (KH), Wuning Jiangxi (WN) and Nanping Fujian (NP), treated under three low light intensity (I: $25 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; II: $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; III: $75 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and two water supply levels (normal water supply and watering after 2 days drought). The results showed that the sensitivity of antioxidant enzymes activity and osmotic substances contents of *I. lanceolatum* seedlings to low light intensity was significantly different between two water supply conditions. After 2 days' drought, catalase (CAT) activity of WN ecotype seedlings in the light treatments of II and III significantly increased compared with that under normal water condition, the peroxidase (POD) activity in the light treatments of III also significantly increased, and the malondialdehyde (MDA) contents in all three light treatments increased while the superoxide dismutase (SOD) activity decreased. Under the water stress, the SOD and POD activity of LA ecotype seedlings in all light conditions were lower than those under normal water supply, and the soluble protein and MDA contents were higher. Compared with normal water supply, the SOD, POD and CAT activity of KH ecotype seedlings in the light treatment of I increased significantly under water stress, while soluble protein and MDA content decreased. The enzymes activity of NP ecotype seedlings in all light treatments increased after short-term water stress. We concluded that the water stress can significantly promote the adaptability to weak light for KH, WN and NP ecotypes seedlings by increasing antioxidant enzymes activity and osmotic substances contents. This result will provide the theoretical foundation for ex-situ conservation, efficient cultivation, soil moisture and light condition management of *I. lanceolatum*.

Key Words: *Illicium lanceolatum*; ecotypes; low light stress; water stress; antioxidant enzyme activities; osmotic regulation substances

光是植物最必需的资源,对植物的生长、发育和演化具有极其重要的作用,同时又是影响植物形态和生理功能的重要环境因子^[1]。光照强度长时间显著低于植物光饱和点将产生弱光胁迫,影响植物的形态建成和生理生化过程^[2-3],同时这些变化也对植物适应光照条件变化发挥着重要的功能。在生理上,弱光影响植物最直接的表现是光合作用降低^[2-4],同时植物激素、抗氧化剂及次生代谢等生理代谢进程也受到明显影响。土壤水分和光照强度是影响植物光合生理过程和植被生长及分布的重要生态因子,两者对植物的光合作用、水分代谢及物质运转等生理活性有重要影响^[5-7]。目前,国内外相关研究大多局限于弱光或水分等单一因子对植株生长发育和生理生态等方面的影响^[8-10],而关于水分含量和光照强度交互作用对植株幼苗生长发育和生理生态特性影响的研究还少见报道^[11]。

披针叶茴香(*Illicium lanceolatum*)为中国所特有的传统药用植物^[12]。其所含的莽草酸(Shikimic Acid)具有较强的抗炎、镇痛和抑制血小板聚集、抑制动静脉血栓及脑血栓形成,还可作为抗病毒和抗癌药物的中间体^[12]。披针叶茴香虽有较广的生态

幅,但多处于零星分布,加之当前资源掠夺式利用方式,野生资源日渐稀少,其规模引种保护和栽培日益迫切^[13-15]。目前,国内部分省份和企业针对披针叶茴香开展引种栽培,但在幼苗阶段,常因夏季高温需要采取遮荫覆盖或林下套种栽植,使其处于弱光逆境,因此土壤水分条件将直接影响幼苗生长情况。研究认为,弱光 and 水分胁迫均是影响植株生长发育和光合作用的逆境因素^[16]。同种植物长期生长在不同光照、水分等异质环境下,其表型及生理生态特性会产生不同的响应,出现趋异适应^[17]。研究表明,披针叶茴香位于野生群落林冠层第二层,性喜阴湿,具有极强的耐荫性,土壤水分和光照强度对披针叶茴香生长发育和产量有着直接的影响,有关其水分和光生态适应特点及机制尚未开展深入研究^[13-15]。因此,本文选取不同产地披针叶茴香1年生盆栽幼苗进行不同弱光环境培养试验,通过短期水分胁迫处理探讨不同产地披针叶茴香幼苗抗氧化系统对一定范围弱光环境和水分胁迫双重影响的生理响应,揭示其对弱光胁迫的适应和调节机制,以及水分胁迫在植物忍耐弱光适应性调节过程中发挥的作用,旨在了解弱光胁迫和水分亏缺对披针叶茴香

生理特性的影响,以期为披针叶茴香迁地保护、高效栽培的水分和光照管理以及栽培模式选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究供试材料为 4 个不同地理产地的披针叶茴香 1 年生实生苗,根据种子来源地,依次为浙江临安产地(LA)、浙江开化产地(KH)、江西武宁产地(WN)和福建南平产地(NP)(产地地理、气象指标

见表 1)。2006 年 9—10 月从各产地分布区野生健壮母株上采集果实,自然晾干后,将其种子分别进行低温砂藏处理(冰箱 4 ℃),并保持湿度;于 2007 年 4 月中旬播种,播种苗床 10 m×1.0 m,土壤为园土:有机肥=2:1,平均播种密度 189 株/m²;播种苗圃地采用常规管理,在 4 月播种后立即覆盖稻草,夏季高温期间有遮荫措施(50%郁闭);4 个产地幼苗出苗期间浇水、间苗等条件一致。1 年生幼苗生长情况见表 2。

表 1 披针叶茴香引种地主要气象因子

Table 1 The comparison of meteorological factors for different origin areas of *I. lanceolatum*

产地 Provenance	地理坐标 Geographical coordinates	海拔 Altitude /m	年均降雨 Mean annual precipitation /mm	年均温度 Mean annual temperature/℃	极端高温 Maximum temperature/℃	极端低温 Extremely low temperature/℃
浙江临安	119°24'—119°28'E 30°18'—30°24'N	420	1390—1870	8.9—15.8	41.9	-13.3
浙江开化	118°01'—118°37'E 28°54'—329°30'N	435	1600—1814	12.9—16.4	41.3	-10.3
江西武宁	114°29'—114°36'E 28°53'—29°14'N	380	1230—1488	4.4—16.6	41.9	-5.0
福建南平	117°10'—117°24'E 26°15'—27°19'N	410	1430—2032	17.9—21.2	38.6	-5.8

表 2 不同产地披针叶茴香 1 年生幼苗生长性状

Table 2 The growth traits of one year old seedlings for *I. lanceolatum* different ecotypes

产地 Provenance	平均地径 Mean collar diameter/cm	平均苗高 Mean height/cm	平均枝下高 Mean height under branch/cm	平均冠幅 Mean crown diameter/cm	最长侧枝 Longest lateral branch/cm
武宁	1.05±0.14	85.7±1.02	34.1±0.13	33.3±0.80	22.7±0.96
开化	0.99±0.15	84.2±1.24	18.7±0.09	30.5±0.66	26.7±1.05
临安	1.00±0.17	81.2±0.98	17.2±0.15	29.3±0.64	21.1±0.94
南平	1.04±0.14	83.9±0.80	15.0±0.21	28.9±0.70	17.8±0.83

①表中数据为平均值±标准误差 $r(n=50)$; ②冠幅为 4 个方向的平均值

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

于 2008 年 4 月中旬从临安试验苗床选取 4 个不同产地实生苗(2007 年 4 月中旬播种),每个产地选取平均植株 50 株,共计 200 株,进行常规测定(包括地径、苗高、冠幅、叶片数、叶片性状等)后,将其全部带回移栽于温室盆钵(盆钵尺寸 15 cm×10 cm,盆栽土壤为黄心土:基质=2:1,不施肥),每盆 1 株,共计 200 盆试验备用。管理措施为 50%透光率单层遮荫,并进行常规苗期管理(考虑到光照培养试验的单一因素设计,盆栽苗未进行施肥处理,只进行定期的浇

水),每隔 2d 傍晚时间保持 1 次正常供水,浇透为止。并于 2008 年 5 月 10 日开始采用程控光照培养箱 SPX-300I-G(上海博讯仪器公司)进行光照培养试验。根据披针叶茴香幼苗光合作用的特点,设置 3 个光照培养梯度(I、II 和 III 3 个光照梯度分别代表 25 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、50 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 75 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的光照强度)进行弱光胁迫试验,光照显著低于其光饱和点(373.5—1574.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),培养条件为温度 28 ℃,相对湿度 75%,光照时间为白(12 h)/黑(12 h)。每个光照梯度下为 4 个产地,每个产地 6 盆,共计 72 盆。水分胁迫处理之前,光培养期间保

证天天正常浇水。在光培养 30 d 后,即试验前(6 月 10 日)充分浇水,然后在 3 个不同光照梯度下,分别不同产地选取 3 株待测苗继续保持正常供水,而另外 3 株待测苗停止继续浇水,使其自然干旱 2 d;然后于 6 月 13 日分别针对正常供水和水分胁迫处理的试验苗取样,每次取样均按照产地和光照梯度进行,每个处理下选取代表性叶片 2 片,测定叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶活性以及可溶性蛋白、丙二醛(MDA)等渗透调节物质的含量,重复测定 3 次,取平均值。

1.2.2 测定方法

酶液的提取^[18]:称取叶片 0.5 g,加入液氮研磨成粉末状,加入 5 mL 含有 50 mmol/L 磷酸缓冲液(pH 值 = 7.0),1 mmol/L 乙二胺四乙酸(Ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)和 2 g/mL 聚乙烯吡咯烷酮(polyvinylpyrrolidone, PVP),匀浆液在低温离心机(4 ℃)中经 10 000×g 离心 40 min,上清液用于测定。POD 活性测定采用愈创木酚法,用 $\Delta A_{470} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ 蛋白质表示;SOD 活性采用氮蓝四唑(Nitroblue tetrazolium, NBT)光化还原法测定,以抑制 NBT 光化还原 50% 作为一个酶单位(U),用 U/mg 蛋白质。CAT 活性测定采用硫代硫酸钠滴定法,以 1 min 酶解 1 mgH₂O₂ 为一个活力单位表示,用 $\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}$ 蛋白质^[18]。可溶性蛋白测定采用考马斯亮蓝染色法;MDA 含量测定采用硫代巴比妥酸法^[18],用 $\mu\text{mol/g}$ 鲜重表示。

1.2.3 数据分析

用 Spss10.0 统计软件对不同弱光和水分胁迫处理下幼苗抗氧化系统生理指标进行方差分析($P < 0.05$),用 LSD 法对各参数平均数进行显著性检验和多重比较。

2 结果与分析

2.1 弱光下短期干旱对不同产地披针叶茴香幼苗叶片抗氧化酶活性的影响

2.1.1 水分胁迫下 SOD 酶活性变化

作为植物体内的一种保护酶,SOD 可以清除体内自由基的过多积累,缓解逆境的伤害^[19]。如图 1 所示,弱光环境对 4 个不同产地幼苗叶片 SOD 酶活性的影响变化趋势因水分处理不同而不同。正常供

水条件下,除 NP 产地外,LA、WN 和 KH 产地幼苗 SOD 酶活性随着处理光照增加而呈“先升后降”变化趋势,光处理 II 下的 SOD 酶活性最高,其中 WN 产地 SOD 酶活性在光处理之间差异不显著;NP 产地为“先降后升”变化趋势,光处理 I 下酶活性最高。

经过短期水分胁迫后,幼苗 SOD 酶活性对弱光处理的胁迫适应性存在明显的产地间差异,与正常供水条件下酶活性变化明显不同。经过水分胁迫后,LA 产地幼苗 SOD 酶活性随着处理光照增强呈缓慢下降后保持稳定,光处理间差异不显著;WN 产地 SOD 酶活性则随着光照增加呈先缓慢后迅速上升的变化趋势,光处理 III 下酶活性最高,显著高于光处理 I 和 II 的($P > 0.05$)。正常供水下,KH 产地 SOD 酶活性在光处理 I 与光处理 II 和 III 之间差异显著($P < 0.05$),光处理 II 和 III 之间不显著;水分胁迫后,SOD 酶活性随着光照增加呈“先降后升”趋势,升幅和降幅分别为 212.39% 和 12.69%,其中,光处理 II 下 SOD 酶活性最低,与光处理 I 和 III 之间差异均显著($P < 0.05$)。与其余产地明显不同,两种水分处理下,NP 产地幼苗 SOD 酶活性呈“先降后升”变化趋势,水分胁迫后酶活性在光处理 III 下最高。

2.1.2 水分胁迫下幼苗 POD 酶活性变化

如图 1 所示,正常供水条件下,LA、WN 和 NP 产地幼苗 POD 酶活性随着处理光照增加呈“先升后降”的趋势,KH 产地幼苗呈不断上升趋势。

短期水分胁迫后,不同产地 POD 酶活性随光照变化差异明显。其中,LA 产地幼苗 POD 酶活性随光照增加的变化趋势虽然同正常水分供给,各光处理 POD 值明显低于正常供水下的。WN 产地幼苗经干旱后 POD 酶活性随光照增加不断上升,光处理 III 酶活性极显著高于($P < 0.01$)正常水分条件的(是正常处理的 17.17 倍)。KH 产地 POD 酶活性在水分胁迫后,随光照增加“先降后升”,各光处理依次为处理 III > 处理 I > 处理 II;水分胁迫提高 KH 产地幼苗对光处理 I 的适应性。NP 产地幼苗经过水分胁迫后,POD 酶活性随光照变化趋势同正常水分供应的,区别在于水分胁迫提高各弱光下 NP 产地幼苗 POD 酶活性。

2.1.3 水分胁迫下幼苗 CAT 酶活性变化

如图 2 所示,两种水分处理条件下,4 个产地幼苗 CAT 酶活性随光照增加具有类似的变化趋势,但

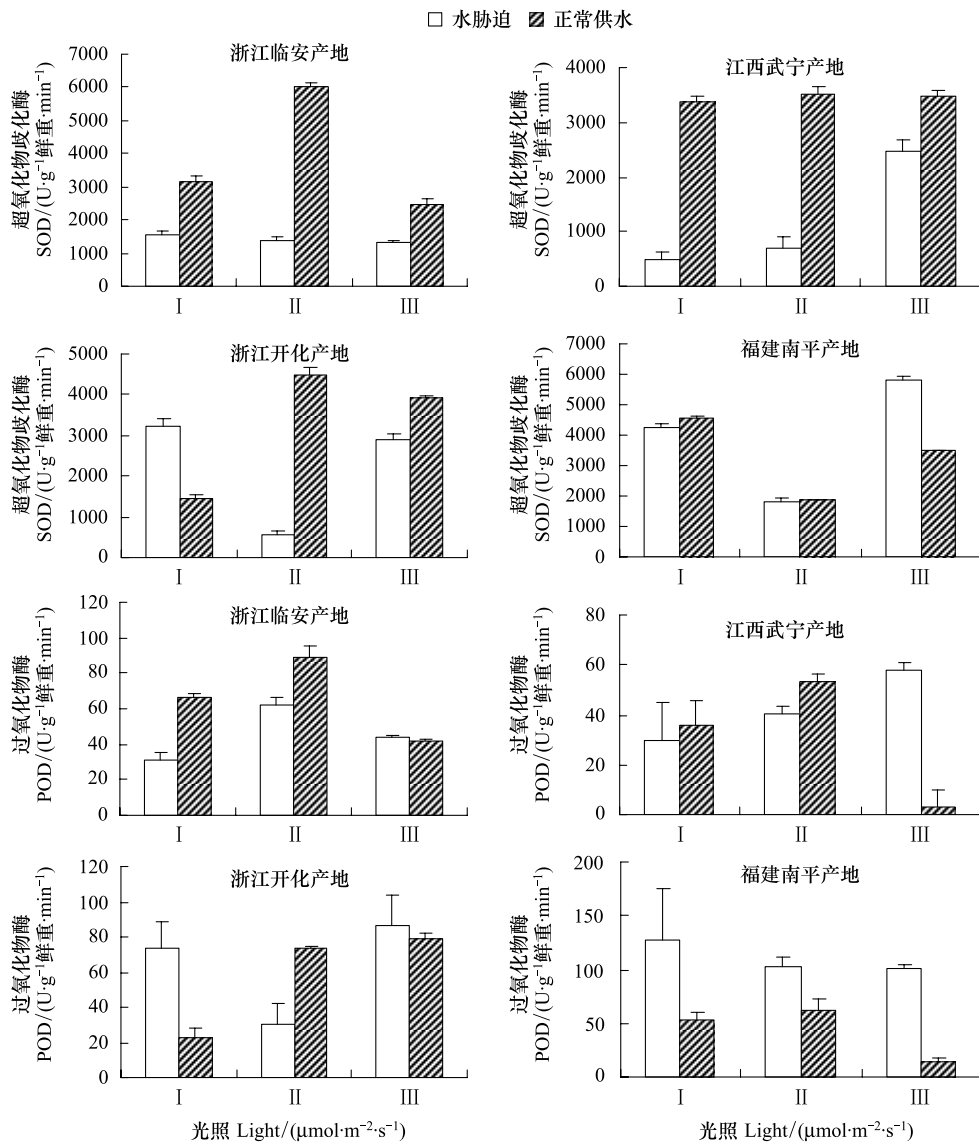


图1 两种水分处理下不同产地幼苗SOD、POD抗氧化酶活性变化

Fig.1 The changes of SOD and POD activities of four *I. lanceolatum* ecotypes seedlings under different drought stress

酶活性在光照处理之间变异程度受两种水分处理条件的影响。水分胁迫对不同弱光下处理幼苗的协同影响在不同产地之间有差异,表现在经过水分胁迫后,NP产地幼苗CAT酶活性对弱光的适应性增加,即不同光照处理下的酶活性高于正常供水条件下的;水分胁迫提高WN产地幼苗在光处理II和III的CAT酶活性,水分胁迫下其酶活性对光照更加敏感;提高了KH产地各光处理的酶活性,且在水分胁迫后,增加了对光处理I和III的敏感性;水分胁迫较小程度提高LA产地幼苗光处理I和III的酶活性,降低光处理II下的酶活性,但水分胁迫后各光处理对酶活性的影响无明显差异,而在充分水分下,LA产地CAT酶活性对光照表现出较高的敏感性。

2.2 弱光下短期干旱对不同产地披针叶茴香幼苗叶片渗透调节物质含量的影响

2.2.1 水分胁迫下幼苗可溶性蛋白含量的变化

如图3所示,水分胁迫和正常供水条件下不同产地幼苗可溶性蛋白含量随光照增加的变化趋势相同。两种水分处理下,LA产地幼苗可溶性蛋白含量随光照增加不断上升;水分胁迫后,其含量有所下降,各处理下的含量均比正常水分处理的低。正常水分下,WN产地可溶性蛋白含量随光照增加“先升后降”,水分胁迫后,其含量在各弱光处理之间无明显差异,光处理II下含量显著低于正常水分条件的($P<0.05$)。不同水分处理下,随着光照增强,KH产地可溶性蛋白含量均表现出“先降后升”趋势;NP产

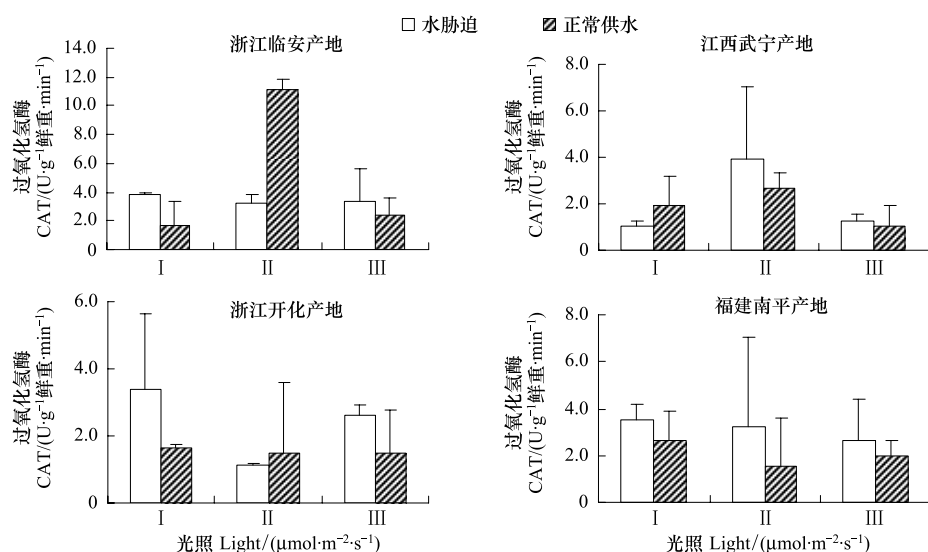


图2 两种水分处理下不同产地幼苗CAT抗氧化酶活性变化

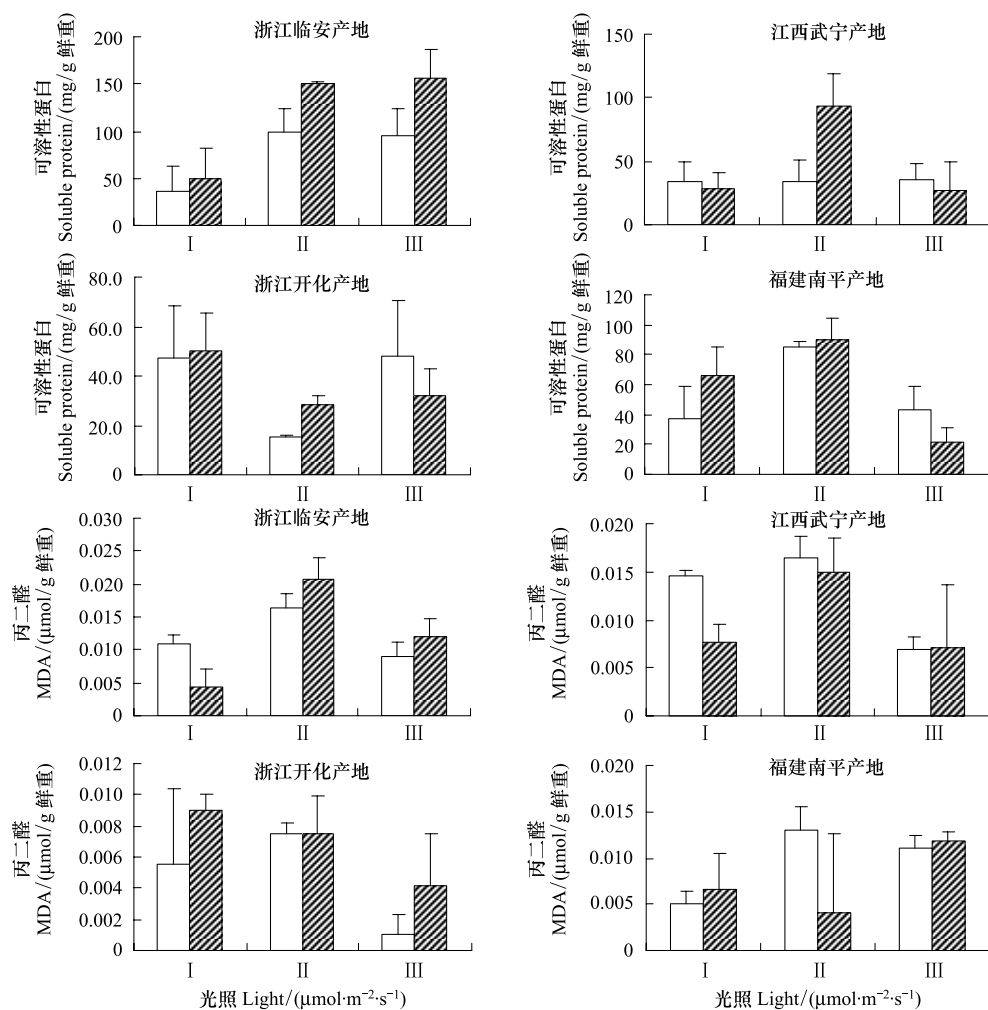
Fig.2 The changes of CAT activity of four *I. lanceolatum* ecotypes seedlings under different drought stress

图3 两种水分处理下不同产地幼苗可溶性蛋白、MDA含量的变化

Fig.3 The changes of soluble protein and MDA contents of four *I. lanceolatum* ecotypes seedlings under different drought stress

地可溶性蛋白含量均表现出“先升后降”趋势。

2.2.2 水分胁迫下幼苗丙二醛含量的变化

如图 3 所示,不同产地幼苗丙二醛(MDA)含量因水分处理和光照条件不同而不同。其中,LA 和 WN 产地幼苗 MDA 含量随光照增加的变化趋势不受水分处理影响,均呈现“先升后降”变化趋势。在正常水分下,KH 产地 MDA 含量随着光照增加不断下降;在水分胁迫下,则为“先升后降”。在正常供水下,随着光照增强,NP 产地幼苗 MDA 含量“先降后升”;水分胁迫下,则为“先升后降”;光处理 II 下的 NP 产地幼苗 MDA 含量显著大于正常水分条件下的含量($P<0.05$)。

3 讨论

近年来的研究表明^[20-21],逆境下植物产生更多的氧自由基,从而加剧了膜脂过氧化而导致膜系统受损,最终组织受到破坏。SOD、POD 和 CAT 酶则对这些自由基和过氧化物起着清除作用,因此这些酶成为植物在逆境中的保护体系。可溶性蛋白是植物细胞重要的渗透调节物质,其积累量与渗透胁迫强度密切相关^[22]。丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的产物,是膜脂过氧化程度的度量,它能强烈地与细胞内各种成分发生反应,因而引起酶和膜的严重损伤,膜电阻及膜的流动性降低,最终导致膜的结构及生理完整性的破坏,其含量的高低一定程度上可表示细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境条件的反应强弱,大量的证据表明,逆境胁迫常导致植物 MDA 含量增加^[23]。

本研究通过弱光和水分胁迫双重试验处理,发现不同产地披针叶茴香幼苗抗氧化酶活性和渗透调节物质含量的变化趋势同样受水分胁迫和弱光条件的双重影响。图 3 表明,水分胁迫一定程度可提高 WN 产地幼苗 MDA 含量,使得各光处理下含量高于正常水分条件的;水分胁迫同样提高了 NP 产地幼苗在光处理 II 下的 MDA 含量;水分胁迫降低了 LA 产地幼苗 MDA 含量在光处理之间的差异,使得 LA 产地幼苗对弱光适应范围增加。但因产地而异,图 3 亦表明,水分胁迫反而降低了 KH 产地幼苗 MDA 含量,使得其对弱光适应性有所下降,尤其对光处理 III 的适应性。

有学者指出植物抗氧化系统常往往因处理方式

等不同存在很大差异,甚至出现相反的趋势^[24]。本研究发现,不同类型抗氧化酶对不同产地披针叶茴香幼苗叶片弱光和水分双重胁迫的响应趋势不同,且存在产地间差异。图 1 和 2 显示,在水分胁迫后,WN 产地幼苗 CAT 酶活性在光处理 II 和 III 下比正常水分条件的明显增加,POD 酶活性在光处理 III 下比正常水分条件的显著增加;SOD 酶活性在不同光处理下均比正常水分的显著下降;图 3 显示 MDA 含量则各光处理下均显著高于正常水分条件的。这些结果表明水分胁迫激发 WN 产地幼苗叶片活性氧的产生,导致细胞较明显的过氧化反应,水分胁迫可提高 WN 产地幼苗对弱光的敏感程度。水分胁迫后,LA 产地幼苗 SOD 和 POD 酶活性在不同弱光处理下均低于正常水分条件的,CAT 酶活性在光处理间差异反而变小;不同光处理下的可溶性蛋白和 MDA 含量均较正常水分处理的增加;这些结果表明在弱光环境下,给予短期干旱处理可能会降低 LA 产地幼苗的弱光适应能力。与正常水分条件相比,KH 产地幼苗经过水分胁迫后,其 SOD、POD 和 CAT 酶活性在光处理 I 下均有显著增加;但其可溶性蛋白和 MDA 含量较低,水分胁迫可能某种程度上降低其弱光适应性。与其余产地明显不同的是,NP 产地幼苗 3 种酶活性在各光处理下均表现出水分胁迫后的比正常水分下的有所提高,可能短期水分胁迫对提高 NP 产地幼苗对弱光的利用有重要贡献。

弱光和水分胁迫均是影响植株生长发育和光合作用的逆境因素^[16]。学者研究表明弱光下水分胁迫影响了植株幼苗的光合适应性^[16];弱光下生长的植株叶片其水分状况发生明显变化,叶片相对含水量增加,蒸腾速率和水分利用效率都下降^[25],这可能使得植株对水分的需求较正常光照下有所减少。在厚皮甜瓜上的研究亦表明,幼苗基质的适宜含水量与光照强度有关,在较弱的光照条件下则需适当控水,以利于植株的生长^[11]。本研究同样发现,在给予短期水分胁迫后,不同产地披针叶茴香幼苗的抗氧化酶活性在不同弱光光照条件下表现出明显差异,体现了各产地幼苗对弱光环境的胁迫适应性某种程度上受水分胁迫的协同影响,短期水分胁迫一定程度上可通过增加抗氧化酶活性和增加渗透调节物质含量的方式来提高幼苗对不同弱光环境的适应性和自身调节能力,这些研究结果与毛炜光等的研

究结果较为一致^[11]。

研究也发现,披针叶茴香幼苗对弱光的适应性虽可通过控制水分条件实现,但调节能力受产地不同影响。水分胁迫后,在光照 I ($25 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 下,WN 产地幼苗 3 种酶活性和可溶性蛋白含量均为所有产地的最低,但其 MDA 含量是 4 个产地中的最高,表明,WN 产地幼苗对弱光适应性受水分胁迫的限制性影响。与其不同,LA、KH 和 NP 产地幼苗 3 种酶活性大小和可溶性蛋白、MDA 含量居中等水平,其渗透物质含量大小差异则体现了水分胁迫在提高其幼苗忍耐弱光环境方面的促进作用。

研究表明经过水分胁迫后,不同产地披针叶茴香幼苗弱光适应性差异明显。在相同水分胁迫条件下,4 个产地需光性和适应性不同,短期干旱后 WN 产地更适应 $25\text{—}50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围的弱光环境;LA 产地在光照 I 就开始遭受危害;KH 和 NP 产地比较更容易适应光照 II ($50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 的弱光环境。这表明,在水分胁迫条件下,LA 产地幼苗对弱光和水双重胁迫的影响最敏感,耐干旱能力较低;KH 和 NP 产地在 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的弱光照条件下更适应水分胁迫;WN 产地幼苗对弱光适应范围最宽。

本试验亦表明,在水分胁迫下,披针叶茴香幼苗受光照增强的影响远高于正常水分处理下的;在水分充足下,其适应生长的光照范围变宽,受光照影响较小;在水分胁迫下,弱光环境对其幼苗生长影响的程度因产地而异。可知,披针叶茴香幼苗整体较不耐旱,但在弱光生长环境下,适当水分胁迫可提高植株适应能力,缓解栽培过程弱光胁迫带来的生长限制影响。本研究还发现,在水分充足或者胁迫下,披针叶茴香幼苗渗透调节物质如可溶性蛋白、丙二醛含量对光照有较高的敏感性,在适应逆境调节过程中发挥重要作用。

本研究针对 4 个产地披针叶茴香 1 年生幼苗进行弱光培养和水胁迫同步试验,结果从另一个角度证实不同产地披针叶茴香幼苗对弱光光照的不同需求性以及水分胁迫在提高或保持其弱光适应性方面的积极作用,试验结果揭示和阐释了弱光干旱环境下披针叶茴香植株的光生态适应性产地间差异和生理响应机制,研究结论对其迁地保护和人工栽培具有重要的实践应用价值。

4 结论

(1) 研究表明,弱光和水胁迫协调作用是影响披针叶茴香生长发育的逆境因素,弱光下水分胁迫影响了披针叶茴香幼苗的抗氧化系统和渗透物质含量,适度水分胁迫一定程度提高了植株幼苗弱光适应性。

(2) 研究表明,弱光培养条件下经过水分胁迫后,不同产地幼苗间生理特性及其适应性差异明显。在水分胁迫条件下,LA 产地幼苗对弱光和水双重胁迫的影响最敏感,耐干旱能力明显下降;KH 和 NP 产地在 $50 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的弱光照条件下较适应水分胁迫;WN 产地幼苗对弱光适应范围最宽。

(3) 研究揭示了弱光干旱环境下披针叶茴香植株的光生态适应性产地间差异和生理响应机制。在水分充足或者胁迫下,植株幼苗渗透调节物质对光照有较高的敏感性,在适应逆境调节过程中发挥重要作用。

References:

- [1] Bazzaz F A. Plants in Changing Environments: Linking Physiological, Population, and Community Ecology. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [2] Callahan H S, Pigliucci M. Shade-induced plasticity and its ecological significance in wild populations of *Arabidopsis thaliana*. Ecology, 2002, 83(7): 1965-1980.
- [3] Chen X, Wu D X, Wang G X, Ren H X. Effect of elevated CO_2 concentration on photosynthesis and antioxidative enzyme activities of wheat plant grown under drought condition. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(6): 881-884.
- [4] He W M, Zhong Z C. Morphological and growth responses of the climbing plant, *Gynostemma pentaphyllum* seedlings to varying light intensity. Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24(3): 375-378.
- [5] Islam M R, Hamid A, Karim M A, Haque M M, Khaliq Q A, Abdul K Q, Ahmed J U. Gas exchanges and yield responses of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) genotypes differing in flooding tolerance. Acta Physiologiae Plantarum, 2008, 30(5): 697-707.
- [6] Sofo A, Dichio B, Montanaro G, Xiloyannis C. Photosynthetic performance and light response of two olive cultivars under different water and light regimes. Photosynthetica, 2009, 47(4): 602-608.
- [7] Montanaro G, Dichio B, Xiloyannis C. Shade mitigates photoinhibition and enhances water use efficiency in kiwifruit under drought. Photosynthetica, 2009, 47(3): 363-371.
- [8] Huang J, Guo S R, Wu Z, Li S J. Effects of weak light on photosynthetic characteristics and chloroplast ultrastructure of non-heading Chinese cabbage. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(2): 352-358.
- [9] Cui X M, Wang X F, Xu H. Physio-biochemical characters of

- sweet pepper potting seedlings under different degree water stress and rewetting. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2006, 12(1): 5-8.
- [10] Sui X L, Zhang Z X, Zhang B X, Mao S L, Wang L H, Li W. Photosynthetic and growth characteristics of different ecotype capsicum under weak light. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(10): 1877-1882.
- [11] Mao W G, Wu Z, Huang J, Guo S R. Effects of moisture and light intensity on ecophysiological characteristics of muskmelon seedlings. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(11): 2475-2479.
- [12] Lin Q. Medicinal plant resources of *Illicium* L.. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2002, 33(7): 54-57.
- [13] Cao Y H, Chen S L, Xiao J H, Wu M, Li Y C. Studies on the interspecific association of *Illicium lanceolatum* community in Tiantong region, Zhejiang province. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2008, 16(6): 100-108.
- [14] Cao Y H, Zhou B Z, Zhang R M, Chen S L. Response of chlorophyll fluorescence parameters of *Illicium lanceolatum* on different light conditions. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2012, 32(3): 525-531.
- [15] Cao Y H, Zhou B Z, Chen S L, Xiao J H, Wang X M. The photosynthetic physiological properties of *Illicium lanceolatum* plants growing under different light intensity conditions. African Journal of Agricultural Research, 2011, 6(26): 5736-5741.
- [16] Xiao W J, Sun J L, Wang S H, Sun H H, Wang H Y, Sui X L, Zhang Z X. Moderate water stress increased the photosynthesis adaptability of Cucumber seedlings under low light. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(9): 1439-1448.
- [17] Zhu C Q, Wang S J, Wang F G, Zhang Q, Niu L M, Yuan G W. Comparison of growth, biomass and photosynthesis among six poplar clones in cold semi-arid area of northeast China. Forest Research, 1995, 8(4): 388-394.
- [18] Li H S, Sun Q. Experimental Principle and Technology of Plant Physiology. Beijing: People's Education Press, 2000.
- [19] Zhou Y H, Yu J Q, Qian Q Q, Huang L F. Effects of chilling and low light on cucumber seedlings growth and their antioxidative enzyme activities. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(6): 921-924.
- [20] Zhang Y F, Yin B. Influences of salt and alkali mixed stresses on antioxidative activity and MDA content of *Medicago sativa* at seedling stage. Acta Prataculturae Sinica, 2009, 18(1): 46-50.
- [21] Li D W, Li M L, Yu J H, Zu Y G. Effect of exogenous nitric oxide on antioxidant system of *Taxus chinensis* var. *mairei* under UV-B stress. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(9): 2203-2208.
- [22] Cao X Q. The effect of membrane-lipid peroxidation on cell and body. Progress in Biochemistry and Biophysics, 1986, 13(2): 17-23.
- [23] Yan Y Q, Liu X L, Wang K, Fan J P, Shi X C. Effect of complex saline-alkali stress on physiological parameters of *Nitratia tangutorum*. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(10): 1213-1219.
- [24] Liu J X, Wang J C, Wang R J, Jia H Y. Responses of active oxygen metabolism and osmotica accumulation of *Avena nude* L. seedlings to NaCl stress. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(9): 2255-2260.
- [25] Li W, Huang J L, Sui X L, Wang S H, Guan Q Z, Zhou M, Hu L P, Zhang Z X. Effects of low light on photosynthetic and fluorescent characteristics of seedlings of *Cucumis sativus*. Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(1): 119-122.
- 参考文献:
- [3] 陈雄, 吴冬秀, 王根轩, 任红旭. CO₂浓度升高对干旱胁迫下小麦光合作用和抗氧化酶活性的影响. 应用生态学报, 2000, 11(6): 881-884.
- [4] 何维明, 钟章成. 攀援植物绞股蓝幼苗对光照强度的形态和生长反应. 植物生态学报, 2000, 24(3): 375-378.
- [8] 黄俊, 郭世荣, 吴震, 李式军. 弱光对不结球白菜光合特性与叶绿体超微结构的影响. 应用生态学报, 2007, 18(2): 352-358.
- [9] 崔秀敏, 王秀峰, 许衡. 甜椒穴盘苗对不同程度水分胁迫-复水的生理生化响应. 应用与环境生物学报, 2006, 12(1): 5-8.
- [10] 睦晓蕾, 张振贤, 张宝玺, 毛胜利, 王立浩, 李伟. 不同基因型辣椒光合及生长特性对弱光的响应. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1877-1882.
- [11] 毛炜光, 吴震, 黄俊, 郭世荣. 水分和光照对厚皮甜瓜苗期植株生理生态特性的影响. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2475-2479.
- [12] 林祁. 八角属药用植物资源. 中草药, 2002, 33(7): 54-57.
- [13] 曹永慧, 陈双林, 萧江华, 吴明, 李迎春. 浙江天童披针叶茴香群落间联结性研究. 热带亚热带植物学报, 2008, 16(6): 100-108.
- [14] 曹永慧, 周本智, 张汝民, 陈双林. 披针叶茴香叶绿素荧光参数对不同光环境的响应. 西北植物学报, 2012, 32(3): 525-531.
- [16] 肖文静, 孙建磊, 王绍辉, 孙惠慧, 王虹云, 睦晓蕾, 张振贤. 适度水分胁迫提高黄瓜幼苗光合作用弱光适应性. 园艺学报, 2010, 37(9): 1439-1448.
- [17] 朱春全, 王世绩, 王富国, 张启, 钮利民, 袁国文. 六个杨树无性系苗木生长、生物量和光合作用的研究. 林业科学研究, 1995, 8(4): 388-394.
- [18] 李合生, 孙群. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [19] 周艳虹, 喻景权, 钱琼秋, 黄黎锋. 低温弱光对黄瓜幼苗生长及抗氧化酶活性的影响. 应用生态学报, 2003, 14(6): 921-924.
- [20] 张永峰, 殷波. 混合盐碱胁迫对苗期紫花苜蓿抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响. 草业学报, 2009, 18(1): 46-50.
- [21] 李德文, 李美兰, 于景华, 祖元刚. 外源 NO 对 UV-B 胁迫下红豆杉抗氧化系统的影响. 生态学杂志, 2012, 31(9): 2203-2208.
- [22] 曹锡清. 膜质过氧化对细胞与机体的作用. 生物化学与生物物理学进展, 1986, 13(2): 17-23.
- [23] 闫永庆, 刘兴亮, 王崑, 樊金萍, 石溪婵. 白刺对不同浓度混合盐碱胁迫的生理响应. 植物生态学报, 2010, 34(10): 1213-1219.
- [24] 刘建新, 王金成, 王瑞娟, 贾海燕. 燕麦幼苗活性氧代谢和渗透调节物质积累对 NaCl 胁迫的响应. 生态学杂志, 2012, 31(9): 2255-2260.
- [25] 李伟, 黄金丽, 睦晓蕾, 王绍辉, 关秋竹, 周明, 胡丽萍, 张振贤. 黄瓜幼苗光合及荧光特性对弱光的响应. 园艺学报, 2008, 35(1): 119-122.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.4 Feb., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The bioavailability of dissolved organic carbon in the eutrophic lakes YE Linlin, KONG Fanxiang, SHI Xiaoli, et al (779)
- Plant species of the non-agricultural habitats in the lower reaches of the Yellow River plain agro-landscape
..... LU Xunling, LIANG Guofu, TANG Qian, et al (789)

Autecology & Fundamentals

- Manganese stress on the ultrastructures of a manganese tolerant plant, *Polygonum perfoliatum* L.
..... WANG Jun, WU Hui, XUE Shengguo, et al (798)
- Characteristics of arsenic (As) tolerance and accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes with different radial oxygen loss
..... WU Chuan, MO Jingyu, XUE Shengguo, et al (807)
- Effects of water stress on physiological characteristics of different *Illicium lanceolatum* ecotypes under low light intensity
..... CAO Yonghui, ZHOU Benzhi, CHEN Shuanglin (814)
- Effect of branch number on the growth and development of *Morus alba* saplings ... HUAN Huihui, XU Xiao, LIU Gang, et al (823)
- Spatial distribution pattern and sampling technique for *Orthotylus* (*O.*) *sophorae* nymphs on *Sophora japonica*
..... ZHU Huiying, SHEN Ping, WU Jianhua, et al (832)
- Assessment of fungal diversity in apple replanted orchard soils by T-RFLP analysis
..... YIN Chengmiao, WANG Gongshuai, LI Yuanyuan, et al (837)
- Effects of dazomet on edaphon and growth of *Malus hupehensis* rehd. under continuous apple cropping
..... LIU Entai, LI Yuanyuan, HU Yanli, et al (847)
- Isolation, identification, and performance of two pyrene-degrading endophytic bacteria SUN Kai, LIU Juan, LI Xin, et al (853)

Population, Community and Ecosystem

- Effects of different temperatures on the growth and development of *Eotetranychus Kankitus* (Ehara)
..... LI Yingjie, WANG Ziyang, ZHANG Guohao, et al (862)
- Effect of available burrow densities of plateau pika (*Ochotona curzoniae*) on plant niche of alpine meadow communities in the
Qinghai-Tibet Plateau JIA Tingting, MAO Liang, GUO Zhenggang (869)
- Correlation between characteristics of *Reaumuria soongarica* communities and soil factors in the Sangong River basin
..... ZHAO Xuechun, LAI Liming, ZHU Linhai, et al (878)
- Effects of afforestation on soil microbial community structure in the arid valley of Minjiang River
..... WANG Weixia, LUO Da, SHI Zuomin, et al (890)
- Effects of reclamation on tidal flat and land use on soil microbial community
..... LIN Li, CUI Jun, CHEN Xueping, FANG Changming (899)
- Effects of *Pomacea canaliculata* on aquatic macrophyte community structure in paddy fields
..... ZHAO Benliang, ZHANG Jiaen, DAI Xiaoyan, et al (907)
- The adaptability and decontamination effect of four kinds of woody plants in constructed wetland environment
..... CHEN Yonghua, WU Xiaofu, HAO Jun, et al (916)
- Carbon budget of alpine *Potentilla fruticosa* shrubland based on comprehensive techniques of static chamber and biomass harvesting ...
..... LI Hongqin, LI Yingnian, ZHANG Fawei, et al (925)
- Effect of initial pH value on microbial Fe (III) reduction in alkaline and acidic paddy soils ... WU Chao, QU Dong, LIU Hao (933)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Climate environmental change and stable carbon isotopes in age layers of *Tamarix* sand-hillocks in Kumtag desert
..... ZHANG Jinchun, YAO Tuo, LIU Changzhong, et al (943)

Resource and Industrial Ecology

- The critical factors of transpiration on muskmelon in plastic greenhouse ZHANG Dalong, CHANG Yibo, LI Jianming, et al (953)
- Ion absorption and distribution of symbiotic *Reaumuria soongorica* and *Salsola passerina* seedlings under NaCl stress
..... ZHAO Xin, YANG Xiaojun, SHI Yong, et al (963)
- The relationship between selected rhizosphere and non-rhizosphere soil properties and the quality of *Pyrola decorata*
..... GENG Zengchao, MENG Lingjun, LIU Jianjun (973)
- Spatial variation analysis of soil organic matter and nutrient factor for before and after planting crops
..... FANG Bin, WU Jinfeng (983)

Urban, Rural and Social Ecology

- Establishment and application of the index system for urban river health assessment
..... DENG Xiaojun, XU Youpeng, ZHAI Luxin, et al (993)
- Dynamic analysis of the ecological footprint and carrying capacity of tibet AN Baosheng, CHENG Guodong (1002)

Research Notes

- Responses of soil microorganisms and soil enzyme activities to different land use patterns in the water-level-fluctuating zone of
the Three Gorges Reservoir region MA Peng, LI Changxiao, LEI Ming, et al (1010)
- Effects of salt stress on growth and root development of two oak seedlings
..... WANG Shufeng, HU Yunxue, SUN Haijing, et al (1021)
- The effects of constant and variable thermal acclimation on thermal tolerance of the common giant toad tadpoles (*Bufo gargarizans*) ...
..... WANG Lizhi (1030)

《生态学报》2014 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,280 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 董 鸣 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 34 卷 第 4 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34 No. 4 (February, 2014)

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

国内外公开发行人

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元