

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **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 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd²⁺ 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd ²⁺ 的生物吸附特性	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例	张勃,刘秀丽 (6251)
专论与综述	
孤立湿地研究进展	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



封面图说: 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

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

韩忠明, 赵淑杰, 刘翠晶, 王云贺, 韩梅, 杨利民. 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响. 生态学报, 2011, 31(20): 6005-6012.

Han Z M, Zhao S J, Liu C J, Wang Y H, Han M, Yang L M. Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6005-6012.

遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响

韩忠明¹, 赵淑杰¹, 刘翠晶¹, 王云贺², 韩梅¹, 杨利民^{1,*}

(1. 吉林农业大学, 长春 130118; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012)

摘要: 采用人工遮荫的方法, 研究了遮荫处理(全光照 CK、遮荫 30%、50%、70% 和 90%) 对东北铁线莲生长特性和品质的影响。结果表明: 东北铁线莲株高随着遮荫梯度的增加而增高; 30% 遮荫处理茎粗最粗, 根茎生物最高, 与其它处理差异显著; 而茎生物量、叶生物量则是 30% 遮荫处理与 CK、70% 和 90% 处理差异显著; 东北铁线莲各器官生物量对光照强度的响应不同, 表现为根茎生物量比、根冠比随着光照强度的减弱而降低, 茎生物量比和叶生物量比则随着光照的减弱而增加, 说明在遮荫的条件下, 东北铁线莲优先将生物量分配给茎和叶, 用来增加叶面积, 以便于接受更多的光能, 维持自身的生长发育。东北铁线莲光合色素含量随着遮荫梯度的增加而增加, 90% 遮荫下的东北铁线莲叶片光合色素含量最高, 与其他处理差异显著; 相反叶绿素 a/b 的值却最低; 尤其是 3 年生东北铁线莲叶片中叶绿素 b 含量随着光照强度的减弱而升高, 能够使东北铁线莲充分吸收散射光, 保持较强的光合能力。30% 遮荫处理东北铁线莲净光合速率为 $10.86 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 显著高于其它处理; 随着光照强度的减弱东北铁线莲 G_s 先增加后降低, G_i 则是先降低后增加, 30% 遮荫处理与其它处理间差异显著, 但随着遮荫梯度的增加, 东北铁线莲的净光合速率降低, 光合作用合成产物总量减少, 导致 70% 和 90% 遮荫条件下生物量较低; 遮荫不利于东北铁线莲有效成分齐墩果酸的积累, 不同处理, 东北铁线莲齐墩果酸含量差异较大, 以全光照和 30% 遮荫处理齐墩果酸含量较高, 与其它处理间差异显著。因此, 在生产实践上, 对其进行适度遮荫, 既保证东北铁线莲药材的质量, 又提高药材产量; 同时, 若不以采收种子为目的, 建议在 8 月份以后采收东北铁线莲药材。

关键词: 生物量; 叶绿素; 光合特性; 有效成分

Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr.

HAN Zhongming¹, ZHAO Shujie¹, LIU Cuijing¹, WANG Yunhe², HAN Mei¹, YANG Limin^{1,*}

1 Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China

2 Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China

Abstract: Illumination is an important factor for agricultural production. To investigate the effects of shading on plant growth and quality, five shading treatments were applied in triplication including a check (CK), shading of 30%, 50%, 70% and 90%, respectively, to a triennial herb species triennial *Clematis manshurica*. Plants were grown in fields shaded by black plastic screen. Biomass, chlorophyll, photosynthetic characteristics and active ingredients were measured before harvesting. Significant differences in plant growth and herb quality were observed among the treatments. Plant height increased with the increasing of shading fractions. Highest stem diameter and biomasses of the roots and rhizomes of *C. manshurica* were in shading of 30%, which differed significantly from other treatments. Stem and leaf biomasses in shading of 30% differed greatly from those in CK, shading of 70% and 90%. Organ biomasses of *C. manshurica* in response to shading varied. Rhizome biomass ratio and root/shoot ratio decreased with the reduction of illumination intensity, while the stem biomass ratio and leaf biomass ratio increased with the reduction of illumination intensity. Biomass of *C. manshurica* was assigned to stem and leaf growth in order to expand leaf area, absorb the more solar energy and maintain normal growth

基金项目: 吉林省科技发展计划重大项目(20075022); 吉林农业大学博士启动基金(201112, 201103)

收稿日期: 2011-06-19; **修订日期:** 2011-07-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ylmh777@126.com

development under shading conditions. Photosynthetic pigment contents increased with the increasing of shading level, and its contents were the highest in shading of 90%, which differed greatly from other treatments. However, the variation trend of chlorophyll a/b was contrary. The chlorophyll b content of triennial *C. manshurica* increased with reduced illumination intensity. As a result, the plant could fully absorb scattered light in order to keep higher photosynthetic capacity. This differential effect of shading on the herb plant growth may play an important role in its shade-tolerance. The net photosynthetic rate was $10.86 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ in shading of 30%, which was significantly higher than other treatments. The stomatal conductance of *C. manshurica* increased to the maximum and then decreased with the increasing of shading. However, the trend of intercellular CO_2 concentration was contrary. The intercellular CO_2 concentration in the shading of 30% was the minimum, which differed greatly from other treatments. The net photosynthetic rate and the total accumulation of photosynthetic products of triennial *C. manshurica* decreased with the increasing of shading levels, as a result, sharp decreases in biomass of *C. manshurica* were observed in the shading of 70% and 90%. The oleanolic acid content of *C. manshurica* varied with illumination. Severe shading produced unfavorable effects on the growth and accumulation of active ingredient in *C. manshurica*. And the oleanolic acid content of triennial *C. manshurica* varied greatly among the treatments and plant growth stages, and higher ones appeared in CK and shading of 30%, which differed significantly from other treatments. In conclusion, the results indicated that the appropriate shading could increase biomass of triennial *C. manshurica* without decreasing the active ingredient content. We recommended that the best harvest time of triennial *C. manshurica* should be after August if the production was not for seeds in practice, and this knowledge is essential for formulating generalization regarding the cultivation of the species in Jilin Province, China.

Key Words: biomass; chlorophyll; photosynthetic characteristics; active ingredient

植物的生存环境并不总是适宜的,其生长发育过程经常受到各种环境因子的影响,光照作为植物生长发育过程中一个重要的环境因子,不仅影响植物的光合作用,同时它还以环境信号的形式作用于植物,通过光敏色素等作用途径调节植物生长、发育和形态建成,使植物更好地适应外界环境^[1]。而光照强度的改变必然影响植物的次生代谢过程^[2],植物的次生代谢是植物在长期进化中与环境(生物的和非生物的)相互作用的结果,植物次生代谢产物不直接参与植物生长和发育过程,但影响植物与环境的相互关系,在植物提高自身保护和生存竞争能力、协调与环境关系上充当着重要的角色,其产生和变化比初生代谢产物与环境有着更强的相关性和对应性^[3-5]。许多研究表明,初生代谢影响药材产量,而次生代谢影响其质量^[6]。因此,在中药材的规范化生产中如何做到优质高产,明确影响其产量和质量的因素,通过调控技术平衡其产量与质量之间的矛盾,已成为提升中药材规范化生产技术水平的关键问题^[7]。

东北铁线莲(*Clematis manshurica* Rupr.)为毛茛科铁线莲属多年生草本植物,是我国重要的药用植物,其根及根茎可作为中药威灵仙入药^[8],具有祛风湿、通络止痛之功效。主要用于治疗风湿痹痛、肢体麻木、筋脉挛急、屈伸不利等症^[9]。目前,东北铁线莲的研究主要集中在化学成分、药理和药效等方面^[10-13],有关环境因子对东北铁线莲生长发育及有效成分的影响甚少。本文采用遮荫调控光强的方法,在以往研究工作的基础上^[14],继续研究了光强对3年生东北铁线莲生长特性、光合特性和主要药用成分积累的影响,探讨了光强在东北铁线莲生长发育过程中对其产量及次生代谢产物的影响,旨在为进一步开发东北铁线莲资源、规范化种植和提高药材产量和品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在吉林农业大学中药材学院药用植物园进行。地理位置位于 $\text{N}43^{\circ}47'$ 、 $\text{E}125^{\circ}24'$,海拔 251 m,年均气温 4.8°C ,最高 39.5°C ,最低 -39.8°C ,年均降水量 522—615 mm,降水主要集中在 6—8 月,这 3 个月的降水量占全年降水 70%,日照时数 2688 h,最热月(7 月)平均气温 23°C 。

1.2 试验设计

2008 年 5 月 9 日,从中国农科院左家特产研究所移栽 5 000 株生长一致的东北铁线莲秧苗,栽培间距 15 cm,移栽后浇水保湿。缓苗结束后于 6 月 2 日进行遮光处理,采用遮阳网进行遮荫度的设置,遮阳网设于离地面 1.5 m 处,采用 YF-172 数字式照度计测定各处理的透光率,分别为对照 CK(全光照,透光 100%)、30% (遮荫 30%,透光 70%)、50% (遮荫 50%,透光 50%)、70% (遮荫 70%,透光 30%) 和 90% (遮荫 90%,透光 10%)。随机区组设计,3 次重复。2009 年 5—9 月继续对 3 年生东北铁线莲进行遮荫处理。

1.3 测定方法

1.3.1 生物量及形态指标的测定

试验结束后,于 2009 年 9 月每个小区采用五点取样法选取 5 株,重复 3 次,测量株高、茎粗。低温烘干后测根茎、茎和叶干生物量,计算总生物量、根茎生物量比(根茎生物量/总生物量)、茎生物量比(茎生物量/总生物量)、叶生物量比(叶干生物量/总生物量)、根冠比(根茎生物量/地上生物量)。

1.3.2 光合作用参数的测定

使用 LCpro+(ADC BioScientific Ltd., England)便携式光合作用系统,于 2009 年 7 月中旬选择晴朗无云的天气,在 9:30—10:30 测定东北铁线莲叶片光合作用,连续测 3d。测定前选择生长部位相同、大小一致、且完全展开的叶片进行挂牌标记,每个处理测 5 株,每株测 3 片叶子,结果取平均值。测定指标包括:净光合速率(P_n , $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、气孔导度(G_s , $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、蒸腾速率(E , $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度(C_i , $\mu\text{mol}/\text{mol}$) 等。水分利用效率 $WUE = P_n/E$ ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)^[15]。

1.3.3 光合色素的测定

精确称取 0.300 g 东北铁线莲鲜叶片,加入 80% 丙酮和无水乙醇(1:1)提取液 10 mL,30 °C 黑暗浸提光合色素,直到叶片全部变白^[16]。UV-1700 型分光光度计分别在 440 nm、645 nm、663 nm 处测定其吸光度值 A_{440} 、 A_{645} 和 A_{663} ,重复 3 次。

1.3.4 齐墩果酸含量的测定

精密称取过 30 目筛东北铁线莲根粉末 1.0 g 样品,加入 18 mL 无水乙醇和 2 mL 盐酸溶液,经 CEM-MARS 5 微波消解萃取系统(美国 CEM 公司)90 °C 提取 3min,过滤,水浴挥干后,残渣用无水乙醇溶解,定容于 25 mL 容量瓶。采用 Agilent 1100 高效液相色谱法测定齐墩果酸含量。色谱柱:Agilent HC-C₁₈(4.6 mm×250 mm, 5 μm);柱温 25 °C;流动相:甲醇-水-乙酸氨(85:15:0.4%);检测波长 210nm;流速:1 mL/min,根据回归方程计算其含量。

2 结果与分析

2.1 遮荫对东北铁线莲生长发育的影响

2.1.1 遮荫对东北铁线莲生长特性的影响

由表 1 可知,遮荫对 3 年生东北铁线莲形态特征和生物量均产生了显著的影响。90% 遮荫下植株最高,与 50%、30% 和 CK 差异显著;茎粗 30% 遮荫处理最粗,与其它处理差异显著;30% 遮荫处理根茎生物量最高,与其它处理差异显著;茎生物量、叶生物量 30% 与 50% 遮荫处理差异不显著,30% 遮荫处理与 70%、90% 和 CK 处理差异显著;全株生物量 30% 遮荫处理最高,与其他处理间差异显著。说明适度遮荫有利于东北铁线莲的生长发育。

2.1.2 遮荫对东北铁线莲干物质分配的影响

遮荫处理对 3 年生东北铁线莲干物质分配产生了显著影响(表 2)。3 年生东北铁线莲根茎生物量比由大到小依次为:CK> 30%> 50%> 70%> 90%,CK 与 30% 遮荫处理差异不显著,CK、30% 遮荫处理与其它处理差异显著;茎生物量比、叶生物量比随着光照的减弱而增加,茎生物量比 CK 与 90% 遮荫处理间差异显著;根冠比反映植物地上与地下生长关系及植物自身对环境的适应特性,是衡量生物量分配比例受环境影响程度的重要指标。3 年生东北铁线莲根冠比的方差分析结果表明,CK 与 30% 遮荫处理间无显著差异,与其它处理

间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

表 1 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性的影响 ($n=15$)

Table 1 Effect of shading on growth characteristics of triennial *C. manshurica*

处理 Treatments	株高 /cm Height	茎粗 /cm Stem diameter	根茎生物量 /g Rhizome biomass	茎生物量 /g Stem biomass	叶生物量 /g Leaf biomass	全株生物量 /g Total biomass
CK	100.93±5.01 c	0.4081±0.03 b	9.525±1.343 bc	6.799±0.843 d	6.778±0.764 d	23.102±1.834 cd
30%	108.67±6.91 b	0.4389±0.02 a	12.194±2.042 a	9.135±1.589 a	9.272±1.175 a	30.599±3.945 a
50%	109.07±7.53 b	0.3837±0.04 c	10.055±1.710 b	8.55±1.095 ab	9.008±1.255 ab	27.613±3.189 b
70%	111.93±9.90 ab	0.3631±0.04 c	8.596±1.637 c	7.827±1.161 bc	8.45±0.904 bc	24.873±3.012 c
90%	116.8±6.03 a	0.3241±0.02 d	7.35±1.292 d	7.151±0.994 cd	8.047±0.813 c	22.549±2.067 d

同一列数据标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

表 2 遮荫对 3 年生东北铁线莲干物质分配的影响 ($n=15$)

Table 2 Effect of shading on dry matter partitioning of triennial *C. manshurica*

处理 Treatments	根茎生物量比 Rhizome biomass ratio	茎生物量比 Stem biomass ratio	叶生物量比 Leaf biomass ratio	根冠比 Root/shoot ratio
CK	0.411±0.039 a	0.294±0.026 b	0.295±0.036 c	0.706±0.118 a
30%	0.397±0.033 a	0.298±0.027 ab	0.305±0.034 c	0.664±0.089 a
50%	0.363±0.032 b	0.310±0.022 ab	0.327±0.038 bc	0.573±0.08 b
70%	0.344±0.033 bc	0.314±0.026 a	0.342±0.033 ab	0.527±0.082 bc
90%	0.325±0.037 c	0.316±0.021 a	0.359±0.042 a	0.486±0.087 c

同一列数据标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.2 遮荫对东北铁线莲光合能力的影响

2.2.1 遮荫对东北铁线莲叶绿素含量的影响

遮荫对 3 年生东北铁线莲叶绿素含量的影响见表 3。方差分析结果表明,90% 遮荫处理叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素与其他处理差异显著;70% 与 50% 遮荫处理、30% 遮荫与 CK 处理间叶绿素 a 和类胡萝卜素含量差异不显著;叶绿素 b 含量 50% 与 70% 处理间差异不显著,与其他处理差异显著;90% 遮荫叶绿素 a /b 值最低,与 50%、30% 和 CK 处理存在显著差异。说明随着光照强度的减弱,3 年生东北铁线莲叶片中叶绿素含量增加,尤其是叶绿素 b 含量的升高使东北铁线莲能够充分吸收散射光,保持较强的光合能力。

表 3 遮荫对 3 年生东北铁线莲叶绿素含量的影响 ($n=3$)

Table 3 Effect of shading on chlorophyll contents of triennial *C. manshurica*

处理 Treatments	叶绿素 a Chl a / (mg/g)	叶绿素 b Chl b / (mg/g)	类胡萝卜素 Carotenoids / (mg/g)	叶绿素 a/b Chl a/Chl b
CK	0.9403±0.016 c	0.2482±0.0064 d	0.2270±0.004 c	3.7891±0.0341 a
30%	1.0683±0.0125 c	0.3004±0.0036 c	0.2415±0.0007 c	3.5564±0.0062 b
50%	1.2944±0.1061 b	0.3775±0.0361 b	0.2827±0.0191 b	3.4324±0.0564 c
70%	1.3008±0.0665 b	0.3748±0.0186 b	0.2835±0.0239 b	3.4706±0.0174 d
90%	1.5711±0.1216 a	0.4722±0.0461 a	0.3327±0.0201 a	3.3319±0.0689 d

同一列数据标有不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.2.2 遮荫对东北铁线莲光合特性的影响

不同遮荫对东北铁线莲光合参数具有显著的差异(表 4),30% 遮荫处理 3 年生东北铁线莲净光合速率为 $10.86 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,是 90% 遮荫处理的 1.8 倍,与其它遮荫处理间差异显著,CK 与 30%、70% 遮荫处理间差异不显著;随着光强的减弱,气孔导度先升高后降低,70%、90% 遮荫与其它处理间差异显著;而 30% 遮荫处理胞间 CO_2 浓度与其它处理间差异显著;分析认为,随着光照的减弱,东北铁线莲净光合速率低,胞间 CO_2 主要通过气孔进行扩散,导致了细胞间隙 CO_2 浓度较高;蒸腾速率 CK 与 30% 遮荫处理间差异不显著,两者与其

它处理差异显著;水分利用效率由蒸腾速率和光合速率决定,30%与CK、70%和90%遮荫处理差异显著。由此可见,适度遮荫有利于东北铁线莲净光合速率和水分利用效率的提高,这对于提高东北铁线莲生物量具有重要的作用。

表4 遮荫处理对东北铁线莲光合特性的影响

Table 4 Effect of shading on photosynthetic characteristics of triennial *C. manshurica*

处理 Treatments	净光合速率 P_N /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	气孔导度 G_s /($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 C_i /($\mu\text{mol}/\text{mol}$)	蒸腾速率 E /($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	水分利用效率 WUE /($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)
CK	8.441±1.473 bc	0.284±0.047 a	259.133±19.555 a	5.706±0.769 a	1.500±0.307 cd
30%	10.860±1.653 a	0.302±0.097 a	243.533±16.548 b	5.715±0.732 a	1.912±0.250 a
50%	8.857±0.606 b	0.284±0.034 a	259.533±15.556 a	5.080±0.768 b	1.779±0.284 ab
70%	7.740±0.981 c	0.240±0.029 b	257.600±13.415 a	4.768±0.567 b	1.625±0.111 bc
90%	6.073±1.248 d	0.225±0.023 b	263.600±16.673 a	4.489±0.610 c	1.364±0.276 d

同一列数据标有不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

2.3 遮荫对东北铁线莲齐墩果酸含量的影响

遮荫对东北铁线莲齐墩果酸含量的影响见图1,结果表明,全光照条件下,6月30日和7月30日齐墩果酸含量出现两个高峰,进入8月份含量逐渐下降;30%、50%和70%遮荫条件下,7月中旬齐墩果酸含量最高,与其他时间存在显著性差异($P < 0.05$),之后下降,其中30%遮荫处理8月中旬再次出现高峰后下降,而50%和70%遮荫处理变化不明显;90%遮荫处理整个生育期齐墩果酸含量变化不明显。分析认为,齐墩果酸含量变化与东北铁线莲开花、结果密切相关,全光照条件下,东北铁线莲盛花期出现在7月中旬,导致这个时期齐墩果酸含量最低,而遮荫条件下,盛花期延后,导致齐墩果酸含量在7月末最低,而90%遮荫处理东北铁线莲不能开花结果,只能进行营养生长,导致齐墩果酸含量无明显变化。整个生长季节,东北铁线莲中齐墩果酸含量全光照>30%遮荫>50%遮荫>70%遮荫>90%遮荫,说明光照能够促进东北铁线莲中齐墩果酸的积累,但全光照与30%遮荫、50%遮荫处理间无显著差异。因此,结合东北铁线莲的生物量动态变化,适度遮荫既有利于东北铁线莲的生长发育,又不显著降低齐墩果酸的含量;而重度遮荫条件下,既不利于东北铁线莲生长发育,也不利于其有效成分的积累。

3 讨论

光照在植物的生长发育中起着十分重要的作用,植物对光照的需求及对不同光照强度的响应,与植物本身地上、地下部分的外部形态特征、生长状况及生态条件密切相关^[17]。植物不仅能被动地接受环境条件的变化,而且能够通过改变生长策略和生理过程来适应这种变化^[18],其中生物量和养分分配格局的调整是非常重要的策略,在低光照下,植物可通过加大地上部分的生物量分配比例和比叶面积(SLA)来增加对光能的捕获和利用^[19]。实验研究表明,东北铁线莲各器官的生物量对光照强度的响应不同,表现为根茎生物量比和根冠比随着光照强度的减弱而减少,茎生物量比和叶生物量比则随着光照的减弱而增加,该研究与其他植物^[20]研究结果一致,是植物对弱光适应的反应^[20-21]。即东北铁线莲在不同的光照条件下,有不同适应环境的应对措施,在遮荫的条件下,东北铁线莲优先将生物量分配给茎和叶,用来增加叶面积,目的主要是为了使同化器官更为发达,以便于接受更多的光能。但随着遮荫梯度的增加,光合作用合成产物总量减少,导致70%和90%遮荫处理生物量较低。

叶绿素是植物的光合色素,具有吸收和传递光量子的功能,与光合作用密切相关,其含量和比例是植物适

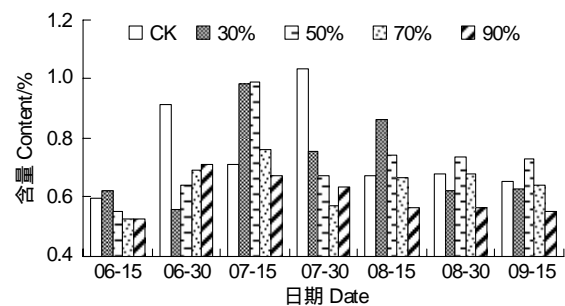


图1 不同时期东北铁线莲中齐墩果酸含量

Fig. 1 The oleanolic acid content of *C. manshurica* in different period

应和利用环境因子的重要指标^[22]。弱光下,叶绿素增加有利于植物捕获较多的光能,而弥补外界光照不足^[1],这是植物对弱光的适应反应。本研究结果表明,随着光照强度的减弱东北铁线莲叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量均增加,90% 遮荫下的东北铁线莲叶片叶绿素含量最高,这有利于东北铁线莲植株在低光照下光合作用的进行,在较弱的光照下东北铁线莲叶绿素 a /b 的降低可使植株更好利用环境中的漫射光,有利于适应弱光环境,这与 Dai Yajuan^[23]等人的研究结果一致。

植物光合作用是植物在长期进化过程中对环境的一种适应,同时植物的光合作用还受到许多因素的影响,光作为影响植物生长发育最重要的环境因子之一,提供同化作用所需要的能量,活化参与光合作用的关键酶,以及促使气孔开放等^[24]。因此,光照强度的改变会影响光合作用及与其相关的气体交换过程,同时影响叶片中光合色素含量和核酮糖 1, 5-二磷酸羧化酶(Rubisco)的含量和活性^[18]。在不同光照条件下,植物光合作用能力有很大的差别^[25]。与强光下生长的对照相比较,长期生长在弱光条件下的植物叶片光合电子传递和光合作用关键酶含量明显降低,从而降低其光合速率^[26]。谭卫锋等^[27]对不同光照强度下水鬼蕉(*Hymenocallis littoralis*)光合作用的研究表明,水鬼蕉叶片光合速率随着光强降低而降低,表现随光强降低的顺向响应。本实验研究表明,30% 遮荫处理东北铁线莲净光合速率显著高于其它处理,从而导致 30% 遮荫处理东北铁线莲各部分生物量均较高,与其他处理差异显著;随着光照强度的减弱东北铁线莲 G_s 先增加后降低, C_i 则是先降低后增加,不同处理间差异不显著,说明遮荫虽然增加了叶片气孔对环境的敏感程度,但对叶片气体交换没有明显限制作用。由此可见,适度遮荫有利于东北铁线莲净光合速率的提高,这对于提高东北铁线莲生物量具有重要的作用。

构成东北铁线莲药材产量和品质的因素主要是根茎生物量和有效成分含量。根茎是植物最重要的营养器官,在光能供应充足时,可促进根部生长和有效成分积累。30% 遮荫处理东北铁线莲植株各构件生物量均最高,齐墩果酸含量也高于其它遮荫处理,但略低于全光照处理,说明光照可能是影响齐墩果酸合成的生态环境因素之一。次生代谢产物在植物体内的合成和积累是在植物具有相关基因的基础上,一定环境条件诱导作用的结果,其合成途径分布在植物不同的器官、组织和细胞内,受发育进程的调控^[28]。齐墩果酸是一种三萜皂苷,而皂苷是一类具有药效活性的三萜及甾体的糖缀合物,是一种广泛存在与高等植物中特殊的糖类化合物,遮光后,由于光合作用减弱,严重地影响了还原糖的生成,进而影响齐墩果酸的含量。

综上所述,遮荫在一定程度上降温增湿,改善植物的冠幕微环境,大大降低叶温,有效消除叶片光合作用的“午休”现象,但是重度遮荫不仅降低植物的光合速率^[29],导致光合作用合成产物总量减少,而且影响其花芽分化和产量。实验研究表明,70% 和 90% 遮荫处理东北铁线莲各部分生物量均较低,而且几乎不能进行有性繁殖。因此,重度遮荫条件下,既不利于东北铁线莲生长发育,也不利于其有效成分的积累。全光照和 30% 遮荫条件下的东北铁线莲在 7 月末和 7 月中旬齐墩果酸的产量最高,但这个时期是东北铁线莲刚刚坐果结束,种子还没有成熟,因此不建议在这段时间进行采收,进入 8 月份各处理齐墩果酸含量逐渐降低,结合生物量动态变化,若不以采收种子为目的,建议在 8 月份以后采收东北铁线莲药材,若同时采收种子,应该在 9 月中旬以后进行采收。

References:

- [1] Qiao X R, Guo Q Y, Liu G S, Wang F. Effects of light intensity on growth and photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2007, 22(3): 76-79.
- [2] Huang L Q, Guo L P. Secondary metabolites accumulating and geoherb formation under environmental stress. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2007, 32(4): 277-280.
- [3] Xu M J. Progress in signal transduction mechanism of secondary metabolite biosynthesis in medical plant cells. *Chinese Journal of Cell Biology*, 2009, 31(5): 651-657.
- [4] Yan X F. Ecology of plant secondary metabolism. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(5): 639-640.
- [5] Shelton A L. Variable chemical defences in plants and their effects on herbivore behaviour. *Evolutionary Ecology Research*, 2000, 2(2): 231-249.

- [6] Su W H, Zhang G F, Li X H, Ou X K. Relationship between accumulation of secondary metabolism in medicinal plant and environmental condition. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2005, 36(9): 1415-1418.
- [7] Yang L M. Ecology of Chinese medicinal material resources and its scientific problems. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2008, 30(4): 506-510.
- [8] China Pharmacopoeia Committee. *Pharmacopoeia of the People's Republic of China*. Beijing: Chemical Industry Press. 2010: 234-234.
- [9] Zhao Y Q, Yang L X, Zhang X M, Qiu M H. Research advances on composition, pharmacology activity and clinical application of Weilingxian. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2008, 31(3): 465-470.
- [10] Shi S P, Tu P F, Dong C X, Jiang D. Alkaloids from *Clematis manshurica* Rupr. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2006, 8(1/2): 73-78.
- [11] Shi S P, Jiang D, Dong C X, Tu P F. New phenolic glycosides from *Clematis mandshurica*. *Helvetica Chimica Acta*, 2006, 89(5): 1023-1029.
- [12] Park E K, Ryu M H, Kim Y H, Lee Y A, Lee S H, Woo D H, Hong S J, Han J S, Yoo M C, Yang H I, Kim K S. Anti-inflammatory effects of an ethanolic extract from *Clematis mandshurica* Rupr. *Journal of Ethnopharmacology*, 2006, 108(1): 142-147.
- [13] Shi D P, Jiang D, Dong C X, Tu P F. Chemical constituents of *Clematis manshurica*. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2007, 38(3): 335-337.
- [14] Wang Y H, Han Z M, Han M, Yang L M. Effects of shading on the growth and photosynthetic characteristics of *Clematis manshurica* Rupr. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(24): 6762-6770.
- [15] Galmés J, Medrano H, Flexas J. Photosynthesis and photoinhibition in response to drought in a pubescent (var. *minor*) and a glabrous (var. *palaui*) variety of *Digitalis minor*. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 60(1): 105-111.
- [16] Zhang Z A, Zhang M S, Wei R H. *The Experimental Guide for Phytophysiology*. Beijing: China Agricultural Sciencetech Press, 2004: 43-45.
- [17] Moacyr B D F. Photosynthetic light response of the C₄ grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. *Scientia Agricola*, 2002, 59(1): 65-68.
- [18] An H, Shangguan Z P. Effects of light intensity and nitrogen application on the growth and photosynthetic characteristics of *Trifolium repens* L. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11): 6017-6024.
- [19] Grechi I, Vivin P, Hilberta G, Milina S, Roberta T, Gaudillère J P. Effect of light and nitrogen supply on internal C: N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. *Environmental and Experimental Botany*, 2005, 59(2): 139-149.
- [20] Xu K, Zou Q, Zhao Y. Effects of soil water stress and shading on growth characteristics of ginger. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(10): 1645-1648.
- [21] Shi Q H, Zhu Z J, Ying Q S, Qian Q Q. Effects of excess Mn on photosynthesis characteristics in cucumber under different light intensity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(6): 1047-1050.
- [22] Liu Y Q, Sun X Y, Wang Y, Liu Y. Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of *Urtica dioica*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8): 3457-3464.
- [23] Dai Y J, Shen Z G, Liu Y, Wang L L, Hannaway D, Lu H F. Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg. *Environmental and Experimental Botany*, 2009, 65(2/3): 177-182.
- [24] Walters R G. Towards an understanding of photosynthetic acclimation. *Journal of Experimental Botany*, 2005, 56(411): 435-447.
- [25] Cao J G. Study on the Characteristics and Mechanisms About Plant Life Cycle Forms of *Acanthopanax senticosus* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2004.
- [26] Huang J, Guo S R, Wu Z, Li S J. Photosynthetic characteristics of six *Brassica campestris* ssp. *chinensis* varieties. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(6): 1183-1189.
- [27] Tan W F, Chen W Y, Chen Z H. Influence of light intensity on the growth and ecophysiological characteristics of *Hymenocallis littoralis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1320-1329.
- [28] Du L N, Zhang C L, Zhu W, Zhang G H. The synthetic way and biological significance of plant secondary metabolism. *Journal of Northwest Forestry University*, 2005, 20(3): 150-155.
- [29] Gregoriou K, Pontikis K, Vemmos S. Effects of reduced irradiance on leaf morphology, photosynthetic capacity, and fruit yield in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica*, 2007, 45(2): 172-181.

参考文献:

- [1] 乔新荣, 郭桥燕, 刘国顺, 王芳. 光强对烤烟生长发育及光合特性的影响. *华北农学报*, 2007, 22(3): 76-79.
- [2] 黄璐琦, 郭兰萍. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成. *中国中药杂志*, 2007, 32(4): 277-280.

- [3] 徐茂军. 药用植物细胞次生代谢产物合成信号转导机制研究进展. 细胞生物学杂志, 2009, 31(5): 651-657.
- [4] 阎秀峰. 植物次生代谢生态学. 植物生态学报, 2001, 25(5): 639-640.
- [6] 苏文华, 张光飞, 李秀华, 欧晓昆. 植物药材次生代谢产物的积累与环境的关系. 中草药, 2005, 36(9): 1415-1418.
- [7] 杨利民. 中药资源生态学及其科学问题. 吉林农业大学学报, 2008, 30(4): 506-510.
- [8] 卫生部药典委员会. 中国药典. 北京: 化学工业出版社, 2010: 234-234.
- [9] 赵燕强, 杨立新, 张宪民, 邱明华. 威灵仙的成分、药理活性和临床应用的研究进展. 中药材, 2008, 31(3): 465-470.
- [13] 史社坡, 蒋丹, 董彩霞, 屠鹏飞. 东北铁线莲化学成分研究. 中草药, 2007, 38(3): 335-337.
- [14] 王云贺, 韩忠明, 韩梅, 杨利民. 遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响. 生态学报, 2010, 30(24): 6762-6770.
- [16] 张治安, 张美善, 蔚荣海. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科技出版社, 2004: 43-45.
- [18] 安慧, 上官周平. 光照强度和氮水平对白三叶幼苗生长与光合生理特性的影响. 生态学报, 2009, 29(11): 6017-6024.
- [20] 徐坤, 邹琦, 赵燕. 土壤水分胁迫与遮荫对生姜生长特性的影响. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1645-1648.
- [21] 史庆华, 朱祝军, 应泉盛, 钱琼秋. 不同光强下高锰对黄瓜光合作用特性的影响. 应用生态学报, 2005, 16(6): 1047-1050.
- [22] 刘悦秋, 孙向阳, 王勇, 刘音. 遮荫对异株荨麻光合特性和荧光参数的影响. 生态学报, 2007, 27(8): 3457-3464.
- [25] 曹建国. 刺五加生活史型特征及其形成机制的研究. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.
- [26] 黄俊, 郭世荣, 吴震, 李式军. 6 个不结球白菜品种光合作用特性的研究. 西北植物学报, 2006, 26(6): 1183-1189.
- [27] 谭卫锋, 陈文音, 陈章和. 光照强度对水鬼蕉 (*Hymenocallis littoralis*) 生长及生理生态特性的影响. 生态学报, 2009, 29(3): 1320-1329.
- [28] 杜丽娜, 张存莉, 朱玮, 张高宏. 植物次生代谢合成途径及生物学意义. 西北林学院学报, 2005, 20(3): 150-155.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 20 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

- Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)
- Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)
- Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)
- Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)
- Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)
- Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)
- Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security: a case study of Jiansanjiang land reclamation area LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)
- Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)
- Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)
- Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)
- Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)
- Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts LAN Wenlu (5970)
- Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)
- Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)
- Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute WANG Yating, FAN Lianlian (5992)
- Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)
- Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)
- Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)
- Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)
- Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)
- Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)
- Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd ²⁺	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd ²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i>	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae)	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City	CHANG Hsiaoifei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
Review and Monograph	
A prospect for study on isolated wetland	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

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 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 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

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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@espg.net

订 购 全国各地邮局
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

广告经营
许 可 证 京海工商广字第 8013 号

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

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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