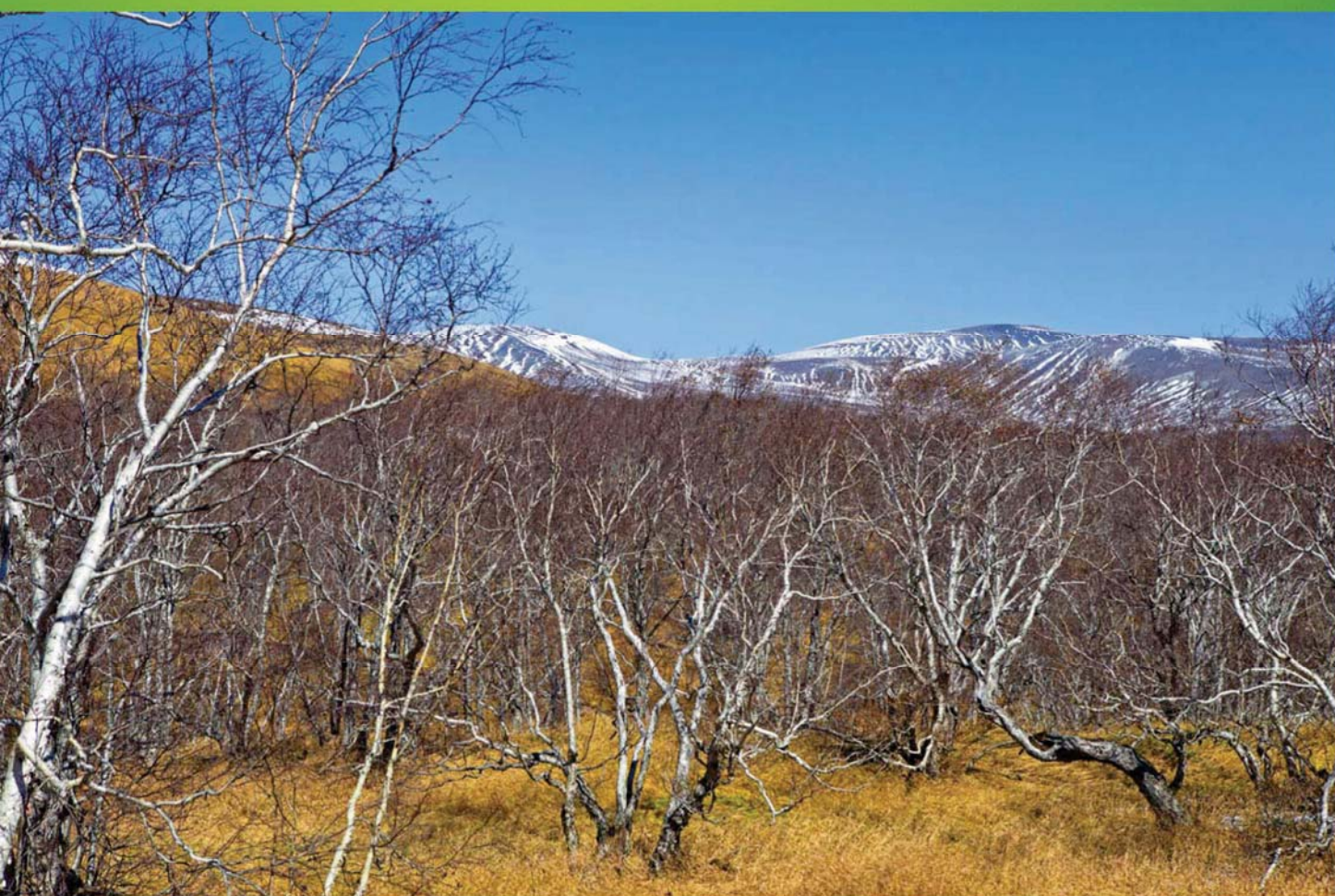


ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

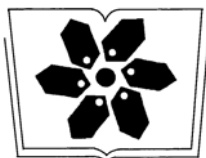
## Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 12 期 Vol.33 No.12 **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 12 期 2013 年 6 月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 森林低温霜冻灾害干扰研究综述 ..... 李秀芬, 朱教君, 王庆礼, 等 (3563)
- 碱蓬属植物耐盐机理研究进展 ..... 张爱琴, 庞秋颖, 阎秀峰 (3575)

### 个体与基础生态

- 中国东部暖温带刺槐花期空间格局的模拟与预测 ..... 徐琳, 陈效速, 杜星 (3584)
- 长白山林线树种岳桦幼树叶功能型性状随海拔梯度的变化 ..... 胡启鹏, 郭志华, 孙玲玲, 等 (3594)
- 油松天然次生林居群遗传多样性及与产地地理气候因子的关联分析 ..... 李明, 王树香, 高宝嘉 (3602)
- 施氮对木荷 3 个种源幼苗根系发育和氮磷效率的影响 ..... 张蕊, 王艺, 金国庆, 等 (3611)
- 围封对内蒙古大针茅草地土壤碳矿化及其激发效应的影响 ..... 王若梦, 董宽虎, 何念鹏, 等 (3622)
- 干热河谷主要造林树种气体交换特性的坡位效应 ..... 段爱国, 张建国, 何彩云, 等 (3630)
- 生物降解对黑碳及土壤上苯酚脱附行为的影响 ..... 黄杰勋, 莫建民, 李非里, 等 (3639)
- 3 个树种对不同程度土壤干旱的生理生化响应 ..... 吴芹, 张光灿, 裴斌, 等 (3648)
- 冬小麦节水栽培群体“穗叶比”及其与产量和水分利用的关系 ..... 张永平, 张英华, 黄琴, 等 (3657)
- 不同秧苗素质和移栽密度条件下臭氧胁迫对水稻光合作用、物质生产和产量的影响 ..... 彭斌, 李潘林, 周楠, 等 (3668)
- 根域限制下水氮供应对膜下滴灌棉花叶片光合生理特性的影响 ..... 陶先萍, 罗宏海, 张亚黎, 等 (3676)
- 光照和生长阶段对菖蒲根系泌氧的影响 ..... 王文林, 王国祥, 万寅婧, 等 (3688)
- 植物病原菌拮抗性野生艾蒿内生菌的分离、筛选和鉴定 ..... 徐亚军, 赵龙飞, 陈普, 等 (3697)
- 不同生物型棉蚜对夏寄主葫芦科作物的选择 ..... 肖云丽, 印象初, 刘同先 (3706)
- 性别和温度对中华秋沙鸭越冬行为的影响 ..... 曾宾宾, 邵明勤, 赖宏清, 等 (3712)

### 种群、群落和生态系统

- 基于干扰的汪清林区森林生态系统健康评价 ..... 袁菲, 张星耀, 梁军 (3722)
- 洞庭湖森林生态系统空间结构均质性评价 ..... 李建军, 刘帅, 张会儒, 等 (3732)

### 景观、区域和全球生态

- 川西米亚罗林区不同海拔岷江冷杉生长对气候变化的响应 ..... 徐宁, 王晓春, 张远东, 等 (3742)
- 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系 ..... 穆少杰, 李建龙, 周伟, 等 (3752)
- 地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变的影响 ..... 侯明行, 刘红玉, 张华兵, 等 (3765)
- 毛乌素沙地南缘植被景观格局演变与空间分布特征 ..... 周淑琴, 荆耀栋, 张青峰, 等 (3774)
- 贵州白鹇湖沉积物中孢粉记录的 5.5 kaB. P. 以来的气候变化 ..... 杜荣荣, 陈敬安, 曾艳, 等 (3783)

典型河谷型城市春季温湿场特征及其生态环境效应..... 李国栋,张俊华,王乃昂,等 (3792)

秦岭南北近地面水汽时空变化特征..... 蒋 冲,王 飞,喻小勇,等 (3805)

露天矿区景观生态风险空间分异..... 吴健生,乔 娜,彭 建,等 (3816)

基于 Holdridge 和 CCA 分析的中国生态地理分区的比较 ..... 孔 艳,江 洪,张秀英,等 (3825)

**资源与产业生态**

中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的 SBM 模型分析 ..... 潘 丹,应瑞瑶 (3837)

舟山市东极大黄鱼养殖系统能值评估..... 宋 科,赵 晟,蔡慧文,等 (3846)

不同基因型玉米间混作优势带型配置..... 赵亚丽,康 杰,刘天学,等 (3855)

气候与土壤对烤后烟叶类胡萝卜素和表面提取物含量的影响..... 陈 伟,熊 晶,陈 懿,等 (3865)

**城乡与社会生态**

成都市沙河主要绿化树种固碳释氧和降温增湿效益 ..... 张艳丽,费世民,李智勇,等 (3878)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 326 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 33 \* 2013-06



**封面图说:** 长白山南坡的岳桦林——长白山岳桦林位于海拔约 1700—2000m 之间的山坡。这种阔叶林分布在针叶林带的上面,成为山地森林的上缘种类,在世界山地森林中实属罕见。岳桦能够顽强地抗御长白山潮湿、寒冷、强风等恶劣气候因素,在严酷的环境条件下形成纯林,是与其独特的生长发育机理密切相关的。岳桦的枝干颇具韧性,在迎风处,由于风吹雪压,树干成片地向背风侧倾斜,这种特性使它能不畏风雪,顽强生存。随着海拔的升高,岳桦林也逐渐矮化,这是岳桦林保护自身生存,适应大自然的结果。

**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/stxb201205160724

胡启鹏, 郭志华, 孙玲玲, 王彬. 长白山林线树种岳桦幼树叶功能型性状随海拔梯度的变化. 生态学报, 2013, 33(12): 3594-3601.

Hu Q P, Guo Z H, Sun L L, Wang B. Response of leaf functional traits of *Betula ermanii* saplings to the altitudinal Variation. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(12): 3594-3601.

## 长白山林线树种岳桦幼树叶功能型性状 随海拔梯度的变化

胡启鹏<sup>1</sup>, 郭志华<sup>2,\*</sup>, 孙玲玲<sup>3</sup>, 王彬<sup>4</sup>

(1. 嘉汉林业(中国)投资有限公司, 广州 510613; 2. 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091;

3. 广东省生态环境与土壤研究所, 广州 510650; 4. 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 临安 311300)

**摘要:**通过研究沿不同海拔岳桦幼树叶功能型性状, 揭示其对环境的响应机制。结果表明: ①随海拔升高, 岳桦叶面积(LA)逐渐降低, 比叶重(LMA)增加, 但 LMA 较高的可塑性指数表明其适应更依赖叶片的薄厚变化; ②岳桦叶绿素含量随海拔升高而显著下降, 但类胡萝卜素 Car 和 Car/Chl 显著升高, Chlb 和 Car/Chl 表现出较高的可塑性指数, 更倾向于吸收蓝紫光和保护光合器官; ③岳桦叶氮含量( $N_{\text{area}}$  和  $N_{\text{mass}}$ ) 在海拔 1800—1900m 间最低, 在低海拔和高海拔均表现较高, 但  $\text{Chl}/N_{\text{mass}}$  却随海拔升高而显著增加,  $N_{\text{mass}}$  比  $N_{\text{area}}$  具有较高的可塑性指数, 对光能的吸收更依赖  $N_{\text{mass}}$  对 Chl 的贡献, 高海拔主要将更多的氮投资于光合器官的保护(1900m 以上), 低海拔则更倾向于光合生产(1800m 以下); ④随海拔升高, MDA 增加, 但随之抗氧化物质 DS、Pro 和 APX 活性增加, 负责对活性氧的抵御和清除, 但 APX 活性最大的可塑性指数表明活性氧的清除更依赖于酶促系统, 但在海拔 1900m 以上, APX 活性差异不显著, 生理抗性逐渐下降, 限制岳桦继续向高海拔生长; ⑤抗氧化物质可塑性指数最高, 叶绿素和叶形态次之, 叶氮最低, 表明随海拔升高, 岳桦林以保护自身的生存为最主要的适应策略机制, 然后以增加吸收光能的 Chlb 及 LMA 指标为主要生长策略。

**关键词:**岳桦; 海拔; 林线; 叶功能型性状; 可塑性

## Response of leaf functional traits of *Betula ermanii* saplings to the altitudinal Variation

HU Qipeng<sup>1</sup>, GUO Zhihua<sup>2,\*</sup>, SUN Lingling<sup>3</sup>, WANG Bin<sup>4</sup>

1 Sino-forest (China) Investment Corp. Ltd. Guangzhou 510613, China

2 Institute of Wetland Research, Chinese Agriculture and Forestry, Beijing 100091, China

3 Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Science, Guangzhou 510650, China

4 State Key Laboratory of subtropical forest Cultivation, Zhejiang A&F University, Linan 311300, China

**Abstract:** This study focuses on the leaf functional traits of *Betula ermanii* saplings along the altitude gradient of Changbai Mountain, a Natural Nature Reserve of China, and tries to reveal its environmental response mechanism. The main results are as follows: (1) As altitude increased, the leaf area (LA) of *B. ermanii* dropped significantly, while leaf dry mass per area (LMA) increased. But it also indicated that it more resorted to leaf thickness changing in the procedure of adaption due to a higher LMA plasticity index. (2) The content of Chlorophyll (Chla, Chlb and Chla+b) of *B. ermanii* reduced as altitude climbing up, while carotenoids (Car) and the ratio of Car to Chla+b (Car/Chl) was just the opposite. A higher Chlb and Car/Chl plasticity index of *B. ermanii* suggested that it tended to assimilate ultraviolet-blue light and protect

**基金项目:**国家林业公益性行业专项重大项目(200804001); 林业公益性行业专项资助项目(201104006)

**收稿日期:**2012-05-16; **修订日期:**2012-10-26

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: guozh@faf.ac.cn

photosynthetic organs. (3) The content of Leaf nitrogen ( $N_{area}$  and  $N_{mass}$ ) of *B. ermanii* was the least at altitude 1800—1900m, but was higher at the low and high altitude. However  $Chl/N_{mass}$  increased with height ascending. And absorption of light energy more relied on the contribution of nitrogen to Chl for a higher  $N_{mass}$  plasticity value in order to allocate more nitrogen into chemical defense in higher latitude (1900m above), and photosynthesis in lower latitude (1800m below). (4) With altitude increased, when the growth of *B. ermanii* was limited by the peroxide (such as MDA), antioxidant DS, Pro and APX activity adaptively increased, which was responsible for resisting and clearing reactive oxygen. The highest APX plasticity index of *B. ermanii* showed it more relied on enzymatic system to accomplish this process, But APX activity had no significant difference above 1900m, which meant that the physiological resistance decreased gradually, and a higher elevation may limit its distribution. (5) With elevation climbed up, *B. ermanii* took its own survival as the main policy mechanism due to the highest average plasticity index, and then took Chlb and LMA to absorb light energy as the main growth strategy with a higher plasticity index.

**Key Words:** *Betula ermanii*; altitude; forest line; leaf functional traits; plasticity

海拔是影响植物生理、结构和功能、代谢等重要的生态因子之一<sup>[1]</sup>,随海拔高度变化,水热、光照、 $CO_2$  分压等亦表现出梯度性变化,植物叶面积、叶氮( $N_{mass}$  和  $N_{area}$ )、叶绿素含量、光合等叶特征表现出不同的适应性响应<sup>[2-6]</sup>。高海拔限制森林的分布,从而形成各种森林分布的界限,即高山林线<sup>[7]</sup>,由于地理位置的特殊,其生态生理机制一直是探索的热点,如光合和呼吸作用、适应性、多样性、生长、解剖学等<sup>[8-11]</sup>,而从叶功能型性状方面研究较少<sup>[12-15]</sup>,特别在全球大气变化的影响下,林线树种在形态或生理上的响应则更为敏感<sup>[16]</sup>,研究林线植物叶功能型性状对不同海拔梯度的响应,对揭示林线树种适应机制和分布原因具有重要生态学意义。

长白山森林生态系统是植被垂直梯度分布最典型之一,而亚高山岳桦林带是从森林过渡到苔原的一个过渡带,岳桦即为林线树种,以前的学者已经从种群<sup>[17-18]</sup>、群落<sup>[19]</sup>、分布<sup>[20]</sup>、林线变化<sup>[16,21]</sup>、生物量<sup>[22]</sup>等角度进行了研究,而叶特征方面主要从碳素供应<sup>[13]</sup>、非结构性碳水化合物<sup>[14]</sup>及生理<sup>[7]</sup>方面进行了报道。本文从不同海拔梯度上岳桦幼树叶功能型性状及可塑性方面研究出发,以探讨岳桦对海拔的响应和适应机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于长白山北坡亚高山岳桦林带,地处火山锥体中部,基岩有粗面岩、粗面角砾岩、流纹岩等,随着分布海拔的升高,常形成纯林,最后于苔原带接壤。沿海拔梯度,与岳桦伴生的灌木以牛皮杜鹃 (*Rhododendron aureum*) 和槭桔 (*V. vitis-idaea*) 为主等。草本植物比较发达,覆盖度 70%—100%,多为耐寒植物。

岳桦林的土壤也属于一个过渡带,在与针叶树混交的林分带属于山地棕色针叶林土,随海拔升高,在 1800m 以上,土壤逐渐变为山地生草森林土,最后过渡到无林的山地苔原土。

### 1.2 试验地设置

根据长白山岳桦的分布特征,并参考邹春静等<sup>[20]</sup>和于大炮等<sup>[23]</sup>有关岳桦过渡带位置的研究,选取沿长白山北坡岳桦分布连续的 7 个采样点采样(表 1),采样点布设在不同海拔处距林缘 10—30m 内,采样范围 10—30m<sup>2</sup>。

### 1.3 试验材料

实验材料为岳桦 (*Betula ermanii*) 4—5 年生幼树。幼树年龄通过查数轮生枝法获得。

岳桦,桦木科 (*Betulaceae*) 桦木属 (*Betula* L.), 落叶乔木。

### 1.4 试验方法

叶面积 LA 测定采用图纸法,具体方法:在待测植株上,每株采取中上部当年生叶片,在 A4 纸上画出叶片

轮廓,然后沿轮廓裁剪并称重  $C_m$ ,然后利用整张纸的面积  $ZL$  与质量  $Z_m$  换算叶片面积。比叶重  $LMA$  = 叶片干重/叶面积。用凯氏定氮法测叶片总氮含量。叶绿素含量、叶片脯氨酸、丙二醛 (MDA)、抗坏血酸氧化物酶 (ASA-POD) 活性 (APX) 测定参照邹琦<sup>[24]</sup>。可溶性糖测定采用蒽酮比色法<sup>[25]</sup>。

表 1 样地海拔及位置记录

Table 1 Altitude and specific position of sample sites

样地号 Plot No.	海拔 Altitude/m	纬度 Latitude	经度 Longitude	林分组成 Forest constitute
A1	1703±7	N42°04.476′	E128°03.989′	9 杉 1 桦
A2	1710±6	N42°04.202′	E128°03.852′	8 杉 2 桦
A3	1756±8	N42°04.034′	E128°03.896′	6 杉 4 桦
44	1816±6	N42°03.840′	E128°03.908′	8 桦 2 落
A5	1894±5	N42°03.794′	E128°04.037′	9 桦 1 落
A6	1940±5	N42°03.659′	E128°04.062′	10 桦
A7	1996±5	N42°03.470′	E128°04.068′	无乔木

可塑性指数 (PI) 等于岳桦叶功能型指标在海拔梯度上的最大值减去最小值再除以最大值<sup>[26]</sup>。

以上性状测定的样品均采自原生环境的 4—5a 幼树上,每个地点测定 5 株,取样时按不同方向上每株取 10 片当年生成熟、无病虫害叶,混匀,除 LA 和 LMA 外,其他均由液氮固定后带回实验室进行测定。取样时间在 2007 年 8 月 3—5 日。

各变量均以加减一个标准误表示,差异性水平 ( $P<0.05$ ) 分析均采用 SPSS 13.0。

## 2 结果

### 2.1 随海拔梯度升高叶面积与比叶重的变化

叶片作为植物接收光能进行碳同化的最主要器官,其面积的大小和薄厚是衡量植物功能性状的主要参数<sup>[2]</sup>。图 1 显示,随海拔升高,LA 呈逐渐降低趋势,A5 处下降较快,而 LMA 呈逐渐升高变化,其值在 A7 处达最高水平,与 A1 处最小值相比增加了 53%。经检验 LA 和 LMA 差异均达到显著水平 ( $P<0.05$ )。

### 2.2 叶绿素与叶氮

叶绿素是植物进行光合作用的载体,其含量大小影响植物的光合能力和光合器官的保护等<sup>[5]</sup>。表 2 显示,随海拔升高,叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b (Chlb) 及总叶绿素含量 (Chl) 均呈逐渐降低趋势,A7 处达到最低,与 A1 处相比分别降低了 45%、52% 和 47%,而类胡萝卜素 Car 和 Car/Chl 比值则呈上升趋势,说明 Chl 分配给 Car 的量增加,经检验叶绿素含量在不同海拔间差异均达到显著水平 ( $P<0.05$ )。叶氮含量 ( $N_{mass}$  和  $N_{area}$ ) 随海拔变化差异显著 ( $P<0.05$ ),均在 A7 处达最高水平,中部海拔相对偏低。分配到叶绿素中的 N ( $Chl/N_{mass}$ ) 随海拔升高而降低,A7 处较 A1 处下降 47%,且差异达到显著水平 ( $P<0.05$ )。

### 2.3 丙二醛、脯氨酸、抗坏血酸酶活性及可溶性糖

图 2 显示,随海拔高度升高,丙二醛 (MDA) 逐步升高,且差异显著 ( $P<0.05$ ),说明岳桦遭受到了高海拔逆境的限制,包括低温和紫外线辐射,从而导致活性氧增加。同时抗氧化物质脯氨酸 Pro、可溶性糖 DS、及抗坏血酸活性 APX 均随海拔升高明显增加,且显著 ( $P<0.05$ ),表明随海拔升高,岳桦受到胁迫越强的同时抗逆性也增强。

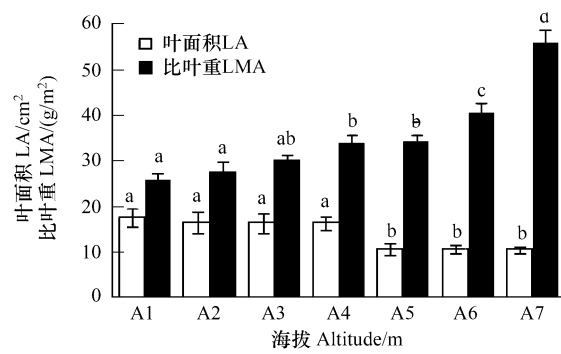


图 1 与岳桦叶面积及比叶重随海拔高度变化

Fig. 1 Responses of leaf area (LA) and leaf dry mass per area (LMA) of *B. ermanii* to different altitudes

小写字母为不同海拔间比较; A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7; 海拔高度分别为 1703、1710、1756、1816、1894、1940 和 1996m

表 2 岳桦叶绿素、类胡萝卜素及叶氮含量随海拔梯度的变化

Table 2 Responses of chlorophyll, carotenoid and leaf nitrogen of <i>B. ermanii</i> to different altitudes								
样地号 Plot No.	叶绿素 a Chla content /(g/g)	叶绿素 b Chlb content /(g/g)	叶绿素 Chl content /(g/g)	类胡萝卜素 Car content /(g/g)	Car/Chl	N <sub>mass</sub> /(g/g)	N <sub>area</sub> /(g/m <sup>2</sup> )	Chl/N <sub>mass</sub>
A1	3.77 a(0.21)	1.62a(0.02)	5.39 a(0.20)	0.42 a(0.02)	0.08 a(0.00)	32.22 a(2.81)	0.97 b(0.06)	0.17 a(0.00)
A2	3.68 a(0.18)	1.58a(0.05)	5.26 a(0.17)	0.53 ab(0.02)	0.10 ab(0.00)	35.27 a(3.01)	1.21 b(0.07)	0.15 ab(0.00)
A3	3.33 a(0.15)	1.12ab(0.03)	4.43 b(0.18)	0.62 b(0.00)	0.14 b(0.01)	28.98 b(2.29)	0.96 b(0.03)	0.15 ab(0.01)
A4	2.68 b(0.11)	0.89 b(0.04)	3.57 c(0.13)	0.65 b(0.00)	0.18 b(0.00)	27.88 b(2.18)	0.94 b(0.03)	0.13 ab(0.00)
A5	2.26 c(0.10)	0.80 b(0.01)	3.06 cd(0.09)	0.68 b(0.01)	0.22 bc(0.00)	29.44 b(1.50)	1.01b(0.05)	0.10 b(0.00)
A6	2.25 c(0.07)	0.79b(0.00)	3.05cd (0.11)	0.69 b(0.00)	0.23 bc(0.00)	31.79 ab(1.49)	1.13 b(0.07)	0.10 b(0.00)
A7	2.06 c(0.04)	0.77 b(0.01)	2.83 d(0.04)	0.71 b(0.00)	0.25 c(0.01)	33.10 a(2.5)	2.17 a(0.05)	0.09 b(0.00)

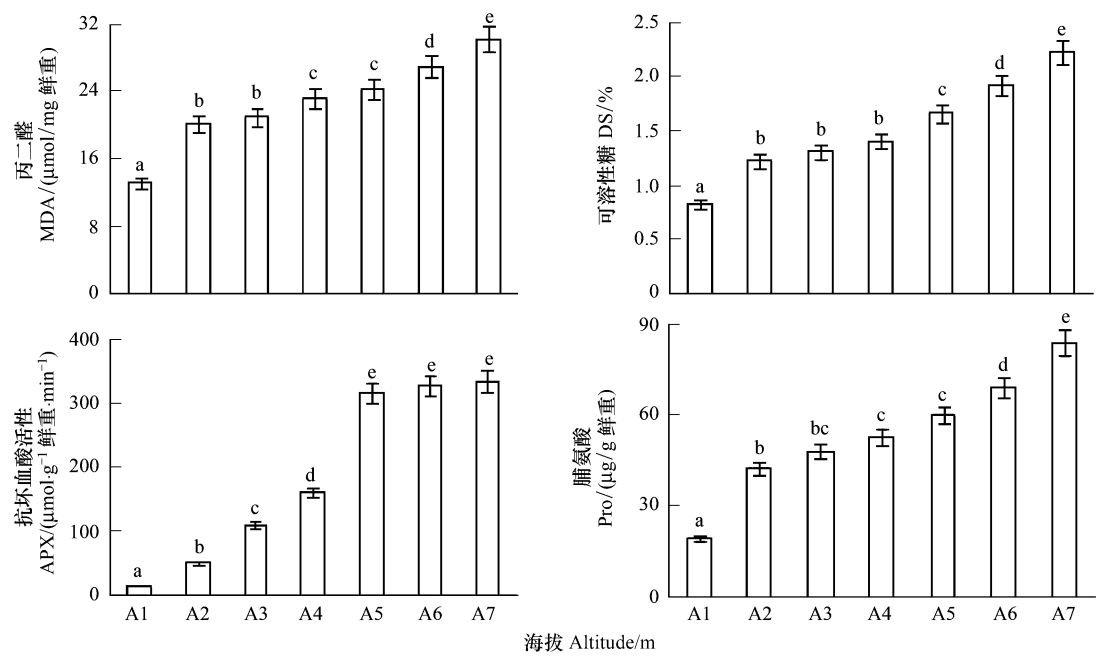


图 2 岳桦叶片 MDA、DS、APX、Pro 随海拔高度变化

Fig. 2 Response of MDA、DS、APX、Pro of *B. ermanii* to different altitudes

不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 相同为不显著

2.4 可塑性比较

可塑性是指植物在适应过程中通过改变形态、生理等性状满足其表型与其生存环境相一致<sup>[27]</sup>, 一般高的可塑性与植物对环境具有高的潜在适应能力紧密相关<sup>[28]</sup>。表 3 显示, 综合可塑性指数从大到小依次为: 基于抗氧化物质(0.79)>基于叶绿素含量(0.49)>基于叶形态特征(0.47)>基于叶氮含量(0.39)。单项指标中, APX、Pro、DS 和 Car/Chl 可塑性指数均高于 0.6 以上, Chlb、N<sub>mass</sub> 和 LMA 可塑性指数在 0.6—0.5 之间, 其余均低于 0.5, 说明随海拔升高, 岳桦向上的发展更倾向于自身的保护, 生长次之。

3 讨论

叶片是植物捕获光能, 进行光合作用的主要场所, LA 和 LMA 作为植物碳收获策略的关键叶特征之一, 其大小直接与光合碳同化和适应相关。研究表明<sup>[26,29]</sup>, 较小的叶面积和叶片较厚的植物, 光合能力一般较低, 因为较小的 LA 降低了光能的吸收和消耗, 但可以抵御或避免恶劣环境的胁迫。沿长白山海拔升高, 岳桦 LA 逐渐变小, LMA 逐渐增大, 意味着叶片越来越厚, 这样可以减少高海拔低温、紫外线等不利环境因子的影响, 降低能的消耗, 以保证自身的正常生存, 是一种适应的表现, 这与多数植物随海拔高度变化一致<sup>[2,5,27,30]</sup>, 但叶

形态中 LMA 较大可塑性指数表明,岳桦适应不同海拔环境更借助于叶片薄厚程度来捕获或抵消光能。

表 3 岳桦叶片形态指标可塑性指数比较

Table 3 Comparison of leaf functional characteristics plasticity index of *B. ermanii*

	可塑性指标 Index of plasticity	可塑性指数 Plasticity value
基于叶绿素含量 Based on leaf chlorophyll content	Chla	0.45
	Chlb	0.52
	Car	0.41
	Chl	0.47
	Car/Chl	0.67
	Chl/N <sub>mass</sub>	0.47
平均 Average		0.49
基于叶氮含量 Based on leaf nitrogen content	N <sub>area</sub>	0.21
	N <sub>mass</sub>	0.56
平均 Average		0.39
基于叶形态特征 Based on leaf morphology	LA	0.40
	LMA	0.53
平均 Average		0.47
基于抗氧化物质 Based on leaf stress matters	APX	0.96
	DS	0.63
	Pro	0.77
平均 Average		0.79

叶绿素含量的高低直接影响植物光合作用的表现。已有研究发现,植物叶绿素含量(a、b、a+b)沿海拔梯度升高呈下降趋势<sup>[31]</sup>,这与本研究结果一致,亦印证了吴栋栋等<sup>[7]</sup>对岳桦叶绿素随海拔变化的研究结果。因为随海拔升高,辐射增强,叶绿素降低可以减少对光能的吸收,减弱对光合系统的压力,从而避免潜在的光抑制和过氧化<sup>[32]</sup>。Car 具有吸收光能和保护叶绿素分子免遭光氧化损伤的功能<sup>[33]</sup>,随海拔升高岳桦 Car 增加,但其较低的可塑性指数意味着其吸收光能用于光合作用的功能较低,主要是吸收多余的光能,保护光合器官,这从 Car/Chl 较高的可塑性指数可以得到印证,说明光合作用正常进行的前提是保护光合器官免受损。而 Chlb 较高的可塑性指数,表明岳桦在光合适应中更依赖吸收蓝紫光的 Chlb 吸收和传递光能,其次是 Chla。叶氮与植物的光合作用密切相关,在不同光合器官组分分配中具有非常重要的作用<sup>[34]</sup>。研究表明 N<sub>mass</sub> 的多寡直接决定着叶片光合能力的高低<sup>[35-36]</sup>,主要原因是氮素在光合器官中占有较大比重。而 N<sub>area</sub> 与冠层位置以及光子通量密度密切相关,具体表现在适应不同环境下的荫生叶或阳生叶<sup>[37]</sup>。但与 N<sub>area</sub> 相比,岳桦较高的 N<sub>mass</sub> 可塑性指数意味着其在随海拔适应过程中更依赖于 N<sub>mass</sub> 对光合器官中的贡献。岳桦在高海拔表现出较高的 N<sub>area</sub> 和 N<sub>mass</sub>,但分配到叶绿素的量(Chl/N<sub>mass</sub>)却降低,,说明高海拔充足的光照使得岳桦不必在光合器官中投资太多的氮,而把部分氮投资于保护构造上以防止高温或强光损伤和失水过多<sup>[38]</sup>,而 Chl/N<sub>mass</sub> 和 Chl 相对较低的可塑性指数亦说明岳桦在向上适应的过程中,并不是为了积累光能而生长,而是为了减小光合器官的损伤而生存。在低海拔,胁迫相对降低,植物将更多地氮投资到了光合器官中,以便尽可能地吸收光照,维持光合生产<sup>[39]</sup>,这与低海拔较低的 LMA 和 Car 一致。而海拔 1800—1900m 间 N<sub>area</sub> 和 N<sub>mass</sub> 含量最低,可能与岳桦的起源有关,野外调查亦发现,此海拔区间也是岳桦分布最多,最密集的区域。

MDA 是膜质过氧化产物主要产物之一,表征植物对逆境的反映强弱。在植物遭受逆境的过程中,其量会增加,破坏蛋白质和酶的结构以及能引起叶绿体和过氧化物体中一些酶的活性下降,从而抑制光合作用<sup>[40-41]</sup>。随海拔梯度上升,岳桦叶片 MDA 逐渐增大,表明岳桦向上发展的过程中遭受到了高海拔逆境的限制,包括低温和紫外线的胁迫,这些导致活性氧增加,光合能力可能降低,这与吴栋栋等<sup>[7]</sup>对高海拔岳桦研究



结果类似,但与其在低海拔结果并不一致,他认为岳桦在低海拔较高的活性氧是高温高湿刺激所致。但野外观测发现,在海拔 1500m 以下,特别在路边及开阔的环境中,岳桦的发展较快,说明岳桦是喜光树种,而温度被认为是海拔梯度上限制植物分布和生长的主要因子<sup>[42]</sup>,因此可以认为低海拔高温对岳桦胁迫较小或没有,反而是其向下发展的有利因子。虽然逆境能引起植物活性氧增加,代谢紊乱,但相应地植物体内会形成抗氧化系统,保护植物免受活性氧危害<sup>[43]</sup>。且活性氧的清除由非酶促系统和酶促清除系统协同完成<sup>[41]</sup>。随海拔升高,低温等环境越来越恶劣,可溶性糖(DS)和脯氨酸(Pro)主动积累,这样可以降低渗透势和冰点<sup>[44]</sup>,提高岳桦对低温逆境的抗性,抗坏血酸酶(APX)活性随海拔升高而增强则可以消除活性氧对岳桦生长的最大危害,最大限度保护植物正常生长,这与 Car 变化一致,但在高海拔 1900m 以上,APX 活性变化幅度较小,差异并不显著,说明在高海拔地区,随着环境不断恶化,生理胁迫程度可能会逐渐超过了其内部保护系统(主要为酶促系统)的承受和抵御能力,不利于岳桦的生长发育,阻碍其继续向更高海拔分布,这也可能导致林线的形成。而 APX 活性最大的可塑性指数表明,岳桦对低温等环境的适应更依赖于酶促清除系统,而非酶促系统(DS 和 Pro)的变化则更能体现出岳桦对恶劣环境的一种反应。同时岳桦叶片各项平均可塑性指数指标中,抗氧化物质的可塑性指数最大,叶绿素和叶形态次之,表明随海拔升高,岳桦林以保护自身的生存为最主要的策略机制,然后以吸收光能的 Chlb 及 LMA 指标为主要生长策略。

总之,随长白山海拔升高,岳桦受到的环境胁迫逐渐加重,在叶功能型状方面形成了一定的适应和响应机制,表现为随海拔升高,叶片 LMA 增加、叶面积逐渐变小、Chl(a、b、a+b)降低和 Car、Car/Chl 和 Chl/N<sub>mass</sub> 升高,N<sub>area</sub> 和 N<sub>mass</sub> 在海拔 1800—1900m 间最低,在高海拔将更多的氮投资于保护光合器官,而低海拔则更倾向于光合生产。抗氧化物质 DS、Pro 和 APX 活性随海拔升高而增加,负责对活性氧的抵御和清除,但高海拔地区(1900m 以上),APX 活性变化较小,而 MDA 显著增加,意味着随海拔升高,恶劣环境对岳桦的胁迫可能逐渐超过体内的保护系统,缓冲岳桦继续向上生长和分布,这也可能是岳桦林线形成的原因之一。同时可塑性指数表明岳桦的向上分布的过程中,其适应环境更依赖抗氧化物质,即生存为主,生长次之。

## References:

- [ 1 ] Pigott C D. Experimental studies on the influence of climate on the geographical distribution of plants. *Weather*, 1975, 30(3): 82-90.
- [ 2 ] Hölscher D, Schmitt S, Kupfer K. Growth and leaf traits of four broad-leaved tree species along a hillside gradient. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 2002, 121(5): 229-239.
- [ 3 ] Hikesaka K, Nagamatsu D, Ishii H S, Hirose T. Photosynthesis-nitrogen relationships in species at different altitudes on Mount Kinabalu, Malaysia. *Ecological Research*, 2002, 17(3): 305-313.
- [ 4 ] Crain J M, Lee W G. Covariation in leaf and root traits for native and non-native grasses along an altitudinal gradient in New Zealand. *Oecologia*, 2003, 134(4): 471-478.
- [ 5 ] Qi J, Ma K M, Zhang Y X. The altitudinal variation of leaf traits of *Quercus liaotungensis* and associated environmental explanations. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 930-937.
- [ 6 ] Llorens L, Peñuelas J, Beier C, Emmett B, Estiarte M, Tietema A. Effects of an experimental increase of temperature and drought on the photosynthetic performance of two ericaceous shrub species along a North-South European gradient: climate change impacts on terrestrial ecosystems (CLIMOOR). *Ecosystems*, 2004, 7(6): 613-624.
- [ 7 ] Wu D D, Zhou Y B, Yu D P, Dai G H. Physiological response of *Betula ermanii* at different altitudes in Changbai Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2279-2285.
- [ 8 ] Billings W D. Arctic and alpine vegetation: Plant adaptation to cold summer climates // Ives J D, Barry R G, eds. *Arctic and Alpine Environments*. London: Methuen, 1974: 403-443.
- [ 9 ] Myers N, Mittenneier R A, Mittenneier C G, da Fonseca G A B, Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 2000, 403(6772): 853-858.
- [ 10 ] Billings W D, Mooney H A. The ecology of arctic and alpine plants. *Biological Reviews*, 1968, 43(4): 481-529.
- [ 11 ] Woodward F I. Ecophysiological studies on the shrub *Vaccinium myrtillus* L. taken from a wide altitudinal range. *Oecologia*, 1986, 70(4): 580-586.
- [ 12 ] Li F I, Bao W K, Liu J H, Wu N. Eco-anatomical characteristics of *Sophora davidii* leaves along an elevation gradient in upper Minjiang River dry

- valley. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(1): 5-10.
- [13] Zhou Y B, Wu D D, Yu D P. Carbon Supply Status in the *Betula ermanii* in Changbai Mountain. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(3): 161-165.
- [14] Zhou Y B, Wu D D, Yu D P, Sui C Y. Variations of nonstructural carbohydrate content in *betula ermanji* at different elevations of Changbai Mountain, China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(1): 118-124.
- [15] Luo T X, Luo J, Pan Y D. Leaf traits and associated ecosystem characteristics across subtropical and timberline forests in the Gongga Mountains, Eastern Tibetan Plateau. Oecologia, 2005, 142(2): 261-273.
- [16] Zhou X F, Wang X C, Han S J, Zou C J. The effect of global climate change on the dynamics of *Betula ermanii*-Tundra ecotone in the Changbai Mountains. Earth Science Frontiers, 2002, 9(1): 227-231.
- [17] Zou C J, Han S J, Zhou Y M, Wang X C, Chen Y L. Study on ecological characteristics of *Betula ermanii* population in ecotone. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2001, 7(1): 1-6.
- [18] Wang X C, Han S J, Zou C J, Zhou X F. Geostatistical analysis of the pattern of *Betula ermanii* population in Changbai Mountain. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(7): 781-784.
- [19] Wang Z, Xu Z B, Li X. The main forest types and one of its community structure characteristics in the north slope of Changbai Mountain. For Ecosyst Res, 1980: 25-39.
- [20] Zou C J, Wang X C, Han S J. Position of *Betula ermanii* population ecotone in Changbai Mountains. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(12): 2217-2220.
- [21] Wang X C, Zhou X F, Sun Z H. Research advances in the relationship between alpine timberline and climate change. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(3): 301-305.
- [22] Deng K M, Shi P L, Yang Z L. Biomass allocation and net primary productivities at Treeline Ecotone on the Changbai Mountains, Northeast China. Journal of Natural Resources, 2006, 21(6): 942-948.
- [23] Yu D P, Zhou L, Dong B L, Dai L M, Wang Q L. Structure and dynamics of *Betula ermanii* population on the Northern slope of Changbai Mountain. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(5): 30-34.
- [24] Zou Q. Experimental Guidance of Plant Physiology and Biochemistry. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 30-35.
- [25] Li H S. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment. Beijing: Higher Education Press, 2000: 1-30.
- [26] Hu Q P, Guo Z H, Li C Y, Ma L Y. Review on phenotypic plasticity in Plants response to abiotic factors. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(5): 135-142.
- [27] Schmitt J, Stinchcombe J R, Heschel M S, Hube H. The adaptive evolution of plasticity: phytochrome-mediated shade avoidance responses. Integrative and Comparative Biology, 2003, 43(3): 459-469.
- [28] Valladares F, Wright S J, Lasso E, Kitajima K, Pearcy R W. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. Ecology, 2000, 81(7): 1925-1936.
- [29] Poorter L, Bongers F. Leaf traits are good predictors of plant performance across 53 rain forest species. Ecology, 2006, 87(7): 1733-1743.
- [30] Bradshaw A D. Unravelling phenotypic plasticity -why should we bother? New Phytologist, 2006, 170(4): 644-648.
- [31] Zhou D W, Zhu W Y, Teng Z H, Shi S B, Liu J Q, Han F. Antioxidative compounds of *Polygonum viviparum* L. from different altitudes. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2003, 9(5): 489-492.
- [32] Osone Y, Tateno M. Nitrogen absorption by roots as a cause of interspecific variations in leaf nitrogen concentration and photosynthetic capacity. Functional Ecology, 2005, 19(3): 460-470.
- [33] Liu Q, Wang Q C, Xu J, Sun J. Effects of exogenous spermidine and spermine on *Celastrus orbiculatus* antioxidant system under soil NaHCO<sub>3</sub> stress. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(3): 549-554.
- [34] Kitao M, Lei T T, Koike T, Tobita H, Maruyama Y. Susceptibility to photoinhibition of three deciduous broadleaf tree species with different successional traits raised under various light regimes. Plant, Cell and Environment, 2000, 23(1): 81-89.
- [35] Körner C. The nutritional status of plants from high altitudes. Oecologia, 1989, 81(3): 379-391.
- [36] Reich P B, Walters M B, Ellsworth D S. Leaf life-span in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. Ecological Monographs, 1992, 62(3): 365-392.
- [37] Anten N P R, Hirose T. Limitations on photosynthesis of competing individuals in stands and the consequences for canopy structure. Oecologia, 2001, 129(2): 186-196.
- [38] Zhang L, Luo T X. Advances in ecological studies on leaf lifespan and associated leaf traits. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(6): 844-852.
- [39] Ackerly D D, Knight C A, Weiss S B, Barton K, Starmer K P. Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. Oecologia, 2002, 130(3): 449-457.

- [40] Dhindsa R S, Plumb-Dhindsa P L, Reid D M. Leaf senescence and lipid peroxidation: effects of some phytohormones, and scavengers of free radicals and singlet oxygen. *Physiologia Plantarum*, 1982, 56(4): 456-457.
- [41] Wang Y P, Huang H Y, An L Z, An L Z, Wang D, Zhang F. Antioxidative responses to different altitudes in leaves of alpine plant *Polygonum viviparum* in summer. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2009, 31(4): 839-848.
- [42] Angert A L. Growth and leaf physiology of *monkeyflowers* with different altitude ranges. *Oecologia*, 2006, 148(2): 183-194.
- [43] Salin M L. Toxic oxygen species and protective systems of the chloroplast. *Physiologia Plantarum*, 1988, 72(3): 681-689.
- [44] Song G S, Sun Z F, Sun L, Du K M, Wang X. Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(13): 3788-3795.

#### 参考文献:

- [5] 祁建, 马克明, 张育新. 辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 叶特性沿海拔梯度的变化及其环境解释. *生态学报*, 2007, 27(3): 930-937.
- [7] 吴栋栋, 周永斌, 于大炮, 戴冠华. 不同海拔长白山岳桦的生理变化. *生态学报*, 2009, 29(5): 2279-2285.
- [12] 李芳兰, 包维楷, 刘俊华, 吴宁. 岷江上游干旱河谷海拔梯度上白刺花叶片生态解剖特征研究. *应用生态学报*, 2006, 17(1): 5-10.
- [13] 周永斌, 吴栋栋, 于大炮. 长白山岳桦体内碳素供应状况. *林业科学*, 2010, 46(3): 161-165.
- [14] 周永斌, 吴栋栋, 于大炮, 隋琛莹. 长白山不同海拔岳桦非结构碳水化合物含量的变化. *植物生态学报*, 2009, 33(1): 118-124.
- [16] 周晓峰, 王晓春, 韩士杰, 邹春静. 长白山岳桦苔原过渡带动态与气候变化. *地学前缘*, 2002, 9(1): 227-231.
- [17] 邹春静, 韩士杰, 周玉梅, 王晓春, 陈永亮. 过渡带中岳桦种群生态特征的研究. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(1): 1-6.
- [18] 王晓春, 韩士杰, 邹春静, 周晓峰. 长白山岳桦种群格局的地统计学分析. *应用生态学报*, 2002, 13(7): 781-784.
- [19] 王战, 徐振邦, 李昕. 长白山北坡主要森林类型及其群落结构特点之一. *森林生态系统研究*, 1980, 25-39.
- [20] 邹春静, 王晓春, 韩士杰. 长白山岳桦种群过渡带位置的研究. *应用生态学报*, 2004, 15(12): 2217-2220.
- [21] 王晓春, 周晓峰, 孙志虎. 高山林线与气候变化关系研究进展. *生态学杂志*, 2005, 24(3): 301-305.
- [22] 邓坤枚, 石培礼, 杨振林. 长白山树线交错带的生物量分配和净生产力. *自然资源学报*, 2006, 21(6): 942-948.
- [23] 于大炮, 周莉, 董百丽, 代力民, 王庆礼. 长白山北坡岳桦种群结构及动态分析. *生态学杂志*, 2004, 23(5): 30-34.
- [24] 邹琦. *植物生理学与生物化学实验指导*. 北京: 中国农业出版社, 1995: 30-35.
- [25] 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: 1-30.
- [26] 胡启鹏, 郭志华, 李春燕, 马履一. 植物表型可塑性对非生物环境因子的响应研究进展. *林业科学*, 2008, 44(5): 135-142.
- [31] 周党卫, 朱文琰, 滕中华, 师生波, 刘健全, 韩发. 不同海拔珠芽蓼抗氧化系统的研究. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(5): 489-492.
- [33] 刘强, 王庆成, 徐静, 孙晶. 外源亚精胺和精胺对  $\text{NaHCO}_3$  胁迫下南蛇藤抗氧化系统的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(3): 549-554.
- [38] 张林, 罗天祥. 植物叶寿命及其相关叶性状的生态学研究进展. *植物生态学报*, 2004, 28(6): 844-852.
- [44] 宋广树, 孙忠富, 孙蕾, 杜克明, 王夏. 东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较. *生态学报*, 2011, 31(13): 3788-379.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 12 Jun. ,2013( Semimonthly)

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- Research on the disturbance of frost damage to forests ..... LI Xiufen, ZHU Jiaojun, WANG Qingli, et al (3563)
- Advances in salt-tolerance mechanisms of *Suaeda* plants ..... ZHANG Aiqin, PANG Qiuying, YAN Xiufeng (3575)

### Autecology & Fundamentals

- Simulation and prediction of spatial patterns of *Robinia pseudoacacia* flowering dates in eastern China's warm temperate zone .....  
..... XU Lin, CHEN Xiaoqiu, DU Xing (3584)
- Response of leaf functional traits of *Betula ermanii* saplings to the altitudinal Variation .....  
..... HU Qipeng, GUO Zhihua, SUN Lingling, et al (3594)
- Analysis of genetic diversity of chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) natural secondary forest populations and correlation with theirs  
habitat ecological factors ..... LI Ming, WANG Shuxiang, GAO Baojia (3602)
- Nitrogen addition affects root growth, phosphorus and nitrogen efficiency of three provenances of *Schima superba* in barren soil .....  
..... ZHANG Rui, WANG Yi, JIN Guoqing, et al (3611)
- Effect of enclosure on soil C mineralization and priming effect in *Stipa grandis* grassland of Inner Mongolia .....  
..... WANG Ruomeng, DONG Kuanhu, HE Nianpeng, et al (3622)
- Effects of slope position on gas exchange characteristics of main tree species for vegetation restoration in dry-hot valley of Jingsha  
River ..... DUAN Aiguo, ZHANG Jianguo, HE Caiyun, et al (3630)
- Impacts of biodegradation on desorption of phenol adsorbed on black carbon and soil .....  
..... HUANG Jiexun, MO Jianmin, LI Feili, et al (3639)
- Physiological and biochemical responses to different soil drought stress in three tree species .....  
..... WU Qin, ZHANG Guangcan, PEI Bin, et al (3648)
- The ear-leaf ratio of population is related to yield and water use efficiency in the water-saving cultivation system of winter wheat .....  
..... ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, HUANG Qin, et al (3657)
- Effects of ozone stress on photosynthesis, dry matter production and yield of rice under different seedling quality and plant density ...  
..... PENG Bin, LI Panlin, ZHOU Nan, et al (3668)
- Effects of water and nitrogen under root restriction on photosynthetic characters of cotton plants grown with under-mulch drip  
irrigation ..... TAO Xianping, LUO Honghai, ZHANG Yali, et al (3676)
- The influence of light and growth stage on oxygen diffusion capacity of *Acorus calamus* roots .....  
..... WANG Wenlin, WANG Guoxiang, WAN Yinjing, et al (3688)
- Isolation, screening and characterization of phytopathogen antagonistic endophytes from wild *Artemisia argyi* .....  
..... XU Yajun, ZHAO Longfei, CHEN Pu, et al (3697)
- Performance of the two host-biotypes of *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) on different cucurbitaceous host plants .....  
..... XIAO Yunli, YIN Xiangchu, LIU Tongxian (3706)
- The effects of gender and temperature on the wintering behavior of Chinese merganser .....  
..... ZENG Binbin, SHAO Mingqin, LAI Hongqing, et al (3712)

### Population, Community and Ecosystem

- Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the disturbance in Wangqing forestry .....  
..... YUAN Fei, ZHANG Xingyao, LIANG Jun (3722)
- Heterogeneity evaluation of forest ecological system spatial structure in Dongting Lake .....  
..... LI Jianjun, LIU Shuai, ZHANG Huiru, et al (3732)

### Landscape, Regional and Global Ecology

- Climate-growth relationships of *Abies faxoniana* from different elevations at Miyaluo, western Sichuan, China .....  
..... XU Ning, WANG Xiaochun, ZHANG Yuandong, et al (3742)



- Spatial-temporal distribution of net primary productivity and its relationship with climate factors in Inner Mongolia from 2001 to 2010 ..... MU Shaojie, LI Jianlong, ZHOU Wei, et al (3752)
- Influences of topographic features on the distribution and evolution of landscape in the coastal wetland of Yancheng .....  
..... HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing, et al (3765)
- Vegetation landscape pattern change and characteristics of spatial distribution in south edge of Mu Us Sandy Land .....  
..... ZHOU Shuqin, JING Yaodong, ZHANG Qingfeng, et al (3774)
- Climate change recorded mainly by pollen from baixian lake during the last 5.5kaB. P. ....  
..... DU Rongrong, CHEN Jing'an, ZENG Yan, et al (3783)
- Characteristics of temperature field, humidity field and their eco-environmental effects in spring in the typical valley-city .....  
..... LI Guodong, ZHANG Junhua, WANG Naiang, et al (3792)
- Spatial and temporal variation of surface water vapor over northern and southern regions of Qinling Mountains .....  
..... JIANG Chong, WANG Fei, YU Xiaoyong, et al (3805)
- Spatial variation of landscape eco-risk in open mine area ..... WU Jiansheng, QIAO Na, PENG Jian, et al (3816)
- The comparison of ecological geographica regionlization in China based on Holdridge and CCA analysis .....  
..... KONG Yan, JIANG Hong, ZHANG Xiuying, et al (3825)
- Resource and Industrial Ecology**
- Agricultural eco-efficiency evaluation in China based on SBM model ..... PAN Dan, YING Ruiyao (3837)
- The emergy analysis of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) aquaculture system around Dongji island in Zhoushan .....  
..... SONG Ke, ZHAO Sheng, CAI Huiwen, et al (3846)
- Optimum stripe arrangement for inter-cropping and mixed-cropping of different maize (*Zea mays* L.) genotypes .....  
..... ZHAO Yali, KANG Jie, LIU Tianxue, et al (3855)
- Effects of climate and soil on the carotenoid and cuticular extract content of cured tobacco leaves .....  
..... CHEN Wei, XIONG Jing, CHEN Yi, et al (3865)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Carbon sequestration and oxygen release as well as cooling and humidification efficiency of the main greening tree species of  
Sha River, Chengdu ..... ZHANG Yanli, FEI Shimin, LI Zhiyong, et al (3878)

# 《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 吴文良

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 12 期 (2013 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 12 (June, 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