

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第9期 Vol.33 No.9 2013

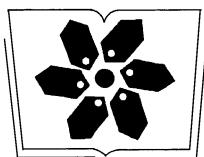
中国生态学学会

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 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第9期 2013年5月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 可持续发展研究的学科动向 ..... 茶 娜, 邬建国, 于润冰 (2637)  
代谢异速生长理论及其在微生物生态学领域的应用 ..... 贺纪正, 曹 鹏, 郑袁明 (2645)  
植物内生菌促进宿主氮吸收与代谢研究进展 ..... 杨 波, 陈 晏, 李 霞, 等 (2656)  
中国园林生态学发展综述 ..... 于艺婧, 马锦义, 袁韵珏 (2665)

### 个体与基础生态

- 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响 ..... 陈学文, 王 农, 时秀焕, 等 (2676)  
草原土壤有机碳含量的控制因素 ..... 陶 贞, 次旦朗杰, 张胜华, 等 (2684)  
外源钙离子与南方菟丝子寄生对喜旱莲子草茎形态结构的影响 ..... 车秀霞, 陈惠萍, 严巧娣, 等 (2695)  
毛竹出笋后快速生长期茎秆色素含量与反射光谱的相关性 ..... 刘 琳, 王玉魁, 王星星, 等 (2703)  
巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系对海拔的响应 ..... 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (2712)  
外源磷或有机质对板蓝根吸收转运砷的影响 ..... 高宁大, 耿丽平, 赵全利, 等 (2719)  
不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响 ..... 张昌容, 郅军锐, 莫利锋 (2728)  
捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用 ..... 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 等 (2734)  
基于线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I 基因序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究 .....  
..... 程汉良, 彭永兴, 董志国, 等 (2744)

### 不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响

常亚青, 李云霞, 罗世滨, 等 (2754)

### 种群、群落和生态系统

- 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化 ..... 陈美球, 赵宝萍, 罗志军, 等 (2761)  
长江口及邻近海域富营养化指标响应变量参照状态的确定 ..... 郑丙辉, 朱延忠, 刘录三, 等 (2768)  
长江口及邻近海域富营养化指标原因变量参照状态的确定 ..... 郑丙辉, 周 娟, 刘录三, 等 (2780)  
鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应 ..... 宋 伦, 王年斌, 杨国军, 等 (2790)  
杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系 ..... 陆 强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等 (2803)  
生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响 ..... 刘艳梅, 李新荣, 赵 昕, 等 (2816)  
大棚模拟条件下角倍蚜春季迁飞数量动态及其与气象因子的关系 ..... 李 杨, 杨子祥, 陈晓鸣, 等 (2825)  
宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响 ..... 程 曼, 朱秋莲, 刘 雷, 等 (2835)  
1958—2008 年太白山太白红杉林碳循环模拟 ..... 李 亮, 何晓军, 胡理乐, 等 (2845)  
不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响 ..... 陈芙蓉, 程积民, 刘 伟, 等 (2856)  
乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析 ..... 胡尔查, 王晓江, 张文军, 等 (2867)  
西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及叶面积指数的影响 ..... 杞金华, 章永江, 张一平, 等 (2877)  
阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律 ..... 井学辉, 曹 磊, 藏润国 (2886)

## 景观、区域和全球生态

太湖流域生态风险评价 ..... 许 妍,高俊峰,郭建科 (2896)

基于 GIS 的关中-天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价 ..... 周自翔,李 璞,冯雪铭 (2907)

## 资源与产业生态

淹水条件下控释氮肥对污染红壤中重金属有效性的影响 ..... 梁佩筠,许 超,吴启堂,等 (2919)

## 研究简报

高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用 ..... 郑静静,赵会杰,胡巍巍,等 (2930)

不同 CO<sub>2</sub> 浓度变化下干旱对冬小麦叶面积指数的影响差异 ..... 李小涵,武建军,吕爱锋,等 (2936)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 308 \* zh \* P \* ¥ 90.00 \* 1510 \* 32 \* 2013-05



**封面图说:** 肥美的当雄草原——高寒草甸是在寒冷的环境条件下,发育在高原和高山的一种草地类型。其植被组成主要是多年生草本植物,冬季往往有冰雪覆盖,土壤主要为高山草甸土。当雄草原位于藏北高原,藏南与藏北的交界地带,海拔高度为 5200—4300m,受海洋性气候影响,呈现高原亚干旱气候,年平均降水量 293—430mm。主要有小嵩草草甸、藏北嵩草草甸和沼泽草甸等,覆盖度为 60%—90%,其中小嵩草草甸分布面积最大,连片分布于广阔的高原面上。高寒草甸草层低,草质良好,是畜牧业优良的夏季牧场。

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/stxb201202020136

冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 刘世荣, 王卫霞, 刘兴良, 何飞. 巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系对海拔的响应. 生态学报, 2013, 33(9): 2712-2718.

Feng Q H, Cheng R M, Shi Z M, Liu S R, Wang W X, Liu X L, He F. Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2712-2718.

## 巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系 对海拔的响应

冯秋红<sup>1,2</sup>, 程瑞梅<sup>1</sup>, 史作民<sup>1,\*</sup>, 刘世荣<sup>1</sup>, 王卫霞<sup>1</sup>, 刘兴良<sup>2</sup>, 何 飞<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

2. 四川省林业科学研究院, 成都 610081)

**摘要:**在卧龙自然保护区,按海拔梯度选择了4个异型柳分布地点(2350 m、2700 m、3150 m和3530 m),对各研究地点异型柳进行了叶片光合、CO<sub>2</sub>扩散导度(气孔导度( $g_s$ )和叶肉细胞导度( $g_m$ ))、δ<sup>13</sup>C、氮素以及比叶面积(SLA)等参数的测量,以期揭示该植物叶片功能性状及功能性状间关系的海拔响应情况。结果表明:随着海拔的升高,大气温度和压强的降低,异型柳的叶片单位面积氮含量(N<sub>area</sub>)、最大羧化速率( $V_{cmax}$ )和最大净光合速率( $A_{max}$ )均随之增加,这可能是该落叶灌木对于生长季节缩短的一种响应;同时,植物的光合氮利用效率(PNUE)和SLA却均随海拔降低,原因可能在于随着海拔的升高,植物将越来越多的氮素用于细胞壁等非光合组织的构建,这是高海拔植物对于外界恶劣环境的一种适应;最后,扩散导度和羧化能力是植物叶片δ<sup>13</sup>C的主要影响因子,而羧化能力较扩散导度对于异型柳叶片δ<sup>13</sup>C的作用更大些,进而导致该值呈现随海拔升高的趋势。氮素在光合与非光合系统间的分配是巴郎山异型柳适应不同海拔生境的关键。

**关键词:**叶片功能性状; 海拔响应; 性状间关系; 异型柳; 巴郎山

## Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain

FENG Qiuhong<sup>1,2</sup>, CHENG Ruimei<sup>1</sup>, SHI Zuomin<sup>1,\*</sup>, LIU Shirong<sup>1</sup>, WANG Weixia<sup>1</sup>, LIU Xingliang<sup>2</sup>, HE Fei<sup>2</sup>

1 Key Laboratory on Forest Ecology and Environmental Sciences of State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China

**Abstract:** The relationship between plant and environment is always one of key issues in the field of ecology. Attentions have been paid to plant functional traits and the responses of some traits to environment have been found since 19<sup>th</sup> century. Many researches at different scales have proved that plant functional trait, especially leaf functional trait, is a useful tool for linking plant and environment. However, the relationships among plant functional traits are more stable and more meaningful than the relationships among the traits and environment. Study on the responses of plant leaf functional traits and the relationships among them to altitude gradients is helpful to know how plants responding and adapting a changing environment. Foliar traits on photosynthesis, diffusional conductance to CO<sub>2</sub> (including stomatal conductance ( $g_s$ ) and mesophyll conductance ( $g_m$ )), carbon isotope ratio ( $\delta^{13}\text{C}$ ), nutrient content and morphology of *Salix dissa* shrub in four sites with different altitudes (2350m, 2700m, 3150m and 3530m) from Balang Mountain were measured and analyzed in

**基金项目:**国家自然科学基金面上项目(30771718);中国林科院中级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFRIF200717);林业公益性行业科研专项(200804001)资助

收稿日期:2012-02-02; 修订日期:2012-09-06

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shizm@forestry.ac.cn

order to understand how leaf functional traits and the relationships among them of the species responded to altitudinal gradients. The results showed that leaf nitrogen content per area ( $N_{area}$ ) , maximum rate of carboxylation ( $V_{cmax}$ ) and maximum photosynthetic rate ( $A_{max}$ ) increased with decrease of air temperature and air pressure along with altitude increasing. It was likely the response of the deciduous shrub to shorter growing season at higher altitude. However, photosynthetic nitrogen use efficiency (PNUE) and specific leaf area (SLA) decreased with altitude probably because *S. dissa* allocated more and more nitrogen to non-photosynthetic system, such as cell wall and so on as a kind of adaptation of plants to severe environment. Diffusion conductance ( $g_s$  and  $g_m$ ) and carboxylation capacity were main factors on foliar carbon isotope discrimination, but  $V_{cmax}$  had more important effect on leaf  $\delta^{13}\text{C}$  than diffusion conductance did. It resulted in leaf  $\delta^{13}\text{C}$  of *S. dissa* increasing with altitude. It was obvious that allocation of nitrogen between photosynthetic system and non-photosynthetic system was a key factor on the adaptation of *S. dissa* to a changing environment at different altitude Balang Mountain.

**Key Words:** leaf functional traits; altitudinal response; relationships among traits; *Salix dissa*; Balong Mountain

由于海拔梯度引起的水热分配差异所导致的环境梯度是研究植物如何适应和响应环境的天然实验室。早在19世纪,生态学家及植物学家们就开始关注植物性状,并发现部分植物性状对环境变化有很好的响应和适应表现,如随着海拔的升高,植物的个体缩小、叶片增厚或革质化<sup>[1]</sup>,叶片单位面积氮含量增加<sup>[2,3]</sup>等;近20年来,人们越来越多地通过研究植物功能性状与环境因子间相关关系来间接揭示植物与环境因子间的相关关系,如Wright等<sup>[4]</sup>对全球175个地区的2548个种植物数据的研究发现,叶片氮含量、光合及呼吸速率均较高的物种叶寿命较短、比叶重较低(比叶面积较高),用较快速的养分循环来适应环境;反之,叶片氮含量、光合及呼吸速率均较低的植物则通过慢速养分循环求得生存与发展,这就是著名的叶片经济型谱(leaf economics spectrum)。Wright在此后的研究中还发现<sup>[5]</sup>,光合氮利用率(PNUE)也可以作为叶片经济型谱中的一部分,养分循环较慢的物种通常会有较低的光合氮利用率,反之亦然。这主要是因为用植物功能性状代替具体的植物种,可以准确获得生态系统对环境变化响应的本质反应信息并节省大量的运算时间<sup>[6]</sup>。此外,前人研究还表明,功能性状间关系较功能性状与环境因子间关系更具稳定性,如Wright等<sup>[4]</sup>的全球尺度的研究表明,6种主要的植物叶片功能性状间存在普遍的正相关关系。叶片作为植物光合作用的主要器官,对外界环境变化具有最直接、最敏感的反应<sup>[7]</sup>。通过研究叶片功能性状及性状间关系对海拔梯度的响应可以更直观地揭示植物沿着海拔梯度对环境的响应及适应方式与策略。

异型柳,又名牛头柳,落叶灌木, $C_3$ 植物。产于四川西部、云南西北部。生于海拔900—3000 m的溪流旁的开矿地和山坡<sup>[8]</sup>。在本研究区,异型柳分布范围广阔,最低可到海拔2000 m,最高可达海拔3600 m。主要生于阳坡高山栎林下或山间河谷两侧。通过本研究,试图回答(1)卧龙自然保护区的异型柳叶片功能性状对海拔具有怎样的响应;(2)随着海拔的升高,异型柳叶片功能性状间又存在怎样的相关关系?进而揭示沿着海拔梯度,异型柳响应及适应环境的策略,并且明确哪种或哪些功能性状是这一过程的关键所在。

## 1 研究地点和研究方法

### 1.1 研究地点

卧龙自然保护区位于横断山脉东部,青藏高原东南缘的邛崃山东坡( $102^{\circ}52'—103^{\circ}24' \text{ E}$ , $30^{\circ}45'—31^{\circ}25' \text{ N}$ ),为四川盆地向川西高原过渡地带,以高山峡谷为主要地貌特征。该区属于亚热带内陆山地气候,冬寒夏凉、降水丰富、干湿季节明显,在海拔2700 m地带,年平均温度8.4 °C,1月平均气温-1.7 °C,7月平均气温17.0 °C,≥0 °C活动积温4000 °C·d;年平均降水量861.8 mm,5—9月降水量占全年降水量的68.1%,年平均相对湿度80%左右。土壤主要以山地棕壤为主。

### 1.2 研究方法

在研究地区按海拔梯度设置实验地点4个(均为阳坡),分别为:2350、2700、3150 m和3530 m。2010年

7—8月,选择生长成熟且良好的异型柳3—5个植株,每株2—3片成熟、向阳且生长良好的叶片进行光合参数及CO<sub>2</sub>扩散参数的活体测定;此外,采集包括进行光合及CO<sub>2</sub>扩散测定在内的共10株异型柳的叶片,每株10—15个叶片混合为1个样本进行δ<sup>13</sup>C和比叶面积(SLA)的测定。首先,对所有叶片功能性状进行One-way ANOVA的差异显著性检验(SPSS 10.0),以揭示各生活型目标物种各项研究指标在不同海拔间的差异;随后,对相对比较重要的性状对进行Pearson相关关系分析(SPSS 10.0)或标准化主轴分析(SMA, standardised major axis;此方法可以更好的诠释一对相关关系中,自变量对因变量的贡献率)<sup>[9]</sup>,在此之前,对除δ<sup>13</sup>C值以外的其他性状进行取对数处理<sup>[10]</sup>。

本文中所有生理生态性状的测定及计算方法详见冯秋红等<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶片功能性状对海拔的响应

随着海拔的升高,虽然叶肉细胞导度( $g_m$ )存在一定的波动,但其仍与最大羧化速率( $V_{cmax}$ )、最大光合速率( $A_{max}$ )和暗呼吸速率( $R_d$ )类似,均呈现升高趋势。同时,虽然气孔导度( $g_s$ )呈现随海拔升高而降低的趋势,但其与净光合速率( $A$ )同样,随海拔的变化趋势均不显著(表1)。

表1 不同海拔异型柳叶片的气体交换性状

Table 1 Leaf gas exchange traits of *Salix dissa* shrub from different altitudes

海拔 Altitude /m	最大羧化速率 $V_{cmax}$ /(\mu mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	最大净光合速率 $A_{max}$ /(mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	净光合速率 $A$ /(\mu mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	暗呼吸速率 $R_d$ /(\mu mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	气孔导度 $g_s$ /(mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	叶肉细胞导度 $g_m$ /(mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
2350	50.85±8.69Bb	29.85±3.47Cc	8.47±1.32Aa	1.78±0.13Bb	0.14±0.01Aa	0.08±0.02Bb
2700	61.63±5.93ABab	36.86±2.64Bb	8.96±3.19Aa	1.91±0.16Bb	0.13±0.03Aa	0.15±0.03Bab
3150	63.74±5.26ABab	39.04±3.56Bb	10.24±1.27Aa	2.04±0.32Bab	0.13±0.01Aa	0.20±0.03Aa
3530	71.74±15.74Aa	46.55±2.97Aa	7.66±1.91Aa	2.38±0.26Aa	0.11±0.04 Aa	0.16±0.03Bab

不同大、小写字母分别表示差异显著( $P<0.05$ )和极显著( $P<0.01$ );  $V_{cmax}$ : maximum rate of carboxylation;  $A_{max}$ : maximum photosynthetic rate;  $A$ : net photosynthetic rate;  $R_d$ : dark respiration rate;  $g_s$ : stomatal conductance;  $g_m$ : mesophyll conductance

随着海拔的升高,虽然碳稳定同位素比值(δ<sup>13</sup>C)存在一定的波动,但整体与单位面积氮含量( $N_{area}$ )类似,均呈现升高趋势,虽然光合氮利用效率的变化趋势存在一定的波动,但仍和比叶面积(SLA)类似,整体呈现降低的趋势,而单位质量氮含量( $N_{mass}$ )则无显著变化趋势(表2)。

表2 不同海拔异型柳叶片氮含量、光合氮利用效率及比叶面积

Table 2 Leaf nitrogen content, PNUE and SLA of *Salix dissa* from different altitudes

海拔 Altitude/m	单位质量氮含量 $N_{mass}$ /(g/100g)	单位面积氮含量 $N_{area}$ /(g/m <sup>2</sup> )	光合氮利用效率 PNUE /(\mu mol mol <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> )	比叶面积 SLA /(cm <sup>2</sup> /g)	碳稳定同位素比值 δ <sup>13</sup> C/‰
2350	2.67±0.28Aa	1.40±0.19Cbc	83.80±8.77Aa	191.21±20.32Aa	-29.25±0.18 Dc
2700	2.64±0.30Aa	1.64±0.12Bb	76.79±28.60ABA	154.46±17.07Bb	-27.69±0.06Bab
3150	2.46±0.29Aa	1.70±0.21Bb	81.64±4.76Aa	146.88±7.24Bb	-28.31±0.52Cb
3530	2.79±0.27Aa	2.05±0.23Aa	53.36±16.86Ba	136.08±7.91Cb	-26.95±0.47Aa

$N_{mass}$ : leaf nitrogen content per mass;  $N_{area}$ : leaf nitrogen content per area; PNUE: photosynthetic nitrogen use efficiency; SLA: special leaf area; δ<sup>13</sup>C: carbon isotope ratio

### 2.2 叶片功能性状间关系对海拔的响应

沿着海拔梯度,随着 $g_s$ 的增加,净光合速率也随之增加,但 $g_m$ 、 $V_{cmax}$ 与 $A$ 间均无显著相关关系呈现;而对于 $A_{max}$ 来说,则恰相反,其与 $g_m$ 和 $V_{cmax}$ 均呈现显著地正相关关系,但与 $g_s$ 间则无显著相关关系(表3)。

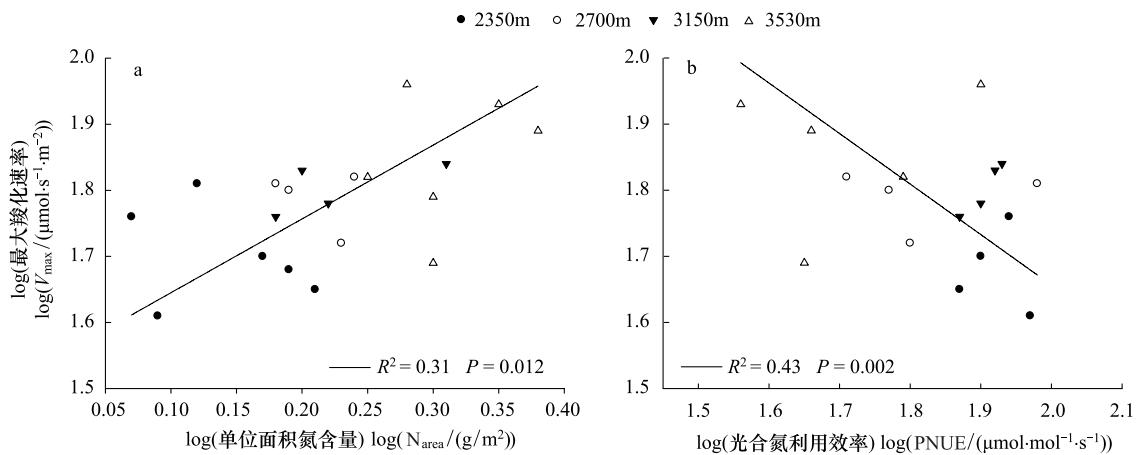
如图1所示,随着海拔的升高,异型柳的 $N_{area}$ 升高,PNUE降低,而 $V_{cmax}$ 均随之显著增加。

表3 光合速率与其他功能性状间关系

Table 3 Relationship between photosynthetic rate and other functional traits

	系数 Coefficient	log(气孔导度) $\log(g_s)$ /(mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	log(叶肉细胞导度) $\log(g_m)$ /(mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	log(最大羧化速率) $\log(V_{\text{cmax}})$ /(μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
log(净光合速率)	r	0.644 **	0.315	0.134
log(A/(μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ))	P	0.004	0.176	0.608
	n	18	20	17
log(最大净光合速率)	r	0.199	0.699 **	0.600 *
log(A <sub>max</sub> /(μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ))	P	0.461	0.001	0.011
	n	16	18	17

n 样本数; P 显著性; r 相关系数; \* P<0.05, \*\* P<0.01

图1 异型柳  $N_{\text{area}}$ 、PNUE 和  $V_{\text{cmax}}$  间关系Fig. 1 The relationships between  $N_{\text{area}}$ , PNUE and  $V_{\text{cmax}}$  in *S. dissa*

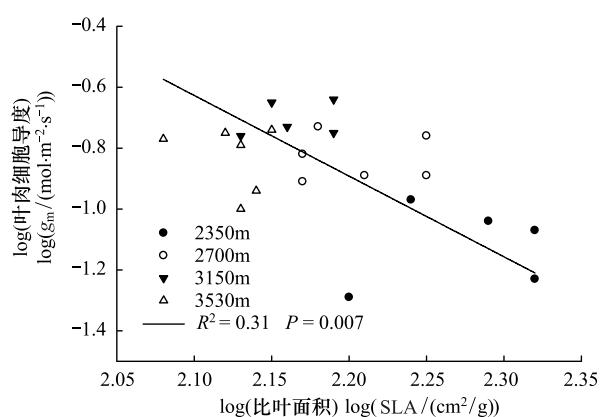
$N_{\text{area}}$ : leaf nitrogen content per area; PNUE: photosynthetic nitrogen use efficiency;  $V_{\text{cmax}}$ : maximum rate of carboxylation

如图2所示,随着海拔的升高,异型柳的SLA随之降低,而 $g_m$ 随之升高。

沿着海拔梯度,随着 $N_{\text{area}}$ 、 $V_{\text{cmax}}$ 和 $g_m$ 的增加,异型柳的 $\delta^{13}\text{C}$ 则随之升高,其中 $g_m$ 与 $\delta^{13}\text{C}$ 间的正相关关系略小些,而 $g_s$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 间无显著的相关关系(表4)。

### 3 结论与讨论

与前人研究结果类似,随着海拔的升高,虽然异型柳的 $N_{\text{mass}}$ 无显著变化趋势,但 $N_{\text{area}}$ 却随之显著升高<sup>[1,12]</sup>,进而导致 $V_{\text{cmax}}$ 的增加。随着海拔升高而增加的羧化能力虽然在一定程度上促进了 $A_{\text{max}}$ 的增加,但 $A$ 却无显著变化趋势(表1,表2)。考虑原因可能在于,当在饱和光强、环境 $\text{CO}_2$ 条件下时,异型柳的光合速率主要受 $\text{CO}_2$ 浓度(或气孔导度)的限制,而当环境 $\text{CO}_2$ 浓度增至饱和时,羧化能力取代 $\text{CO}_2$ 浓度(或气孔导度)成为植物光合速率的限制因子(表3)。此外,本研究结果表明,叶肉细胞导度也在一定程度上促进了 $A_{\text{max}}$ ,而对于 $A$ 无显著作用趋势。原因可能在于,相比之下, $g_s$ 较 $g_m$ 受环境 $\text{CO}_2$ 浓度影响(或对环境 $\text{CO}_2$ 浓度

图2 异型柳 SLA 与  $g_m$  间的关系Fig. 2 The relationship between SLA and  $g_m$  in *S. dissa*

SLA: special leaf area;  $g_m$ : mesophyll conductance

的响应)更强些,而 $g_m$ 受羧化位点羧化能力的影响则要更大些<sup>[13]</sup>,故当羧化能力随着海拔的升高而增加时,所需CO<sub>2</sub>量增加,进而导致了 $g_m$ 的增加(表3)。此外,随着海拔的升高,植物的 $R_d$ 也随之增加,这与Kumar等<sup>[14]</sup>对大麦和小麦的研究结果类似,可能是植物对于外界恶劣环境干扰植物新陈代谢的一种适应。

表4 碳稳定同位素比值与其他功能性状间关系

Table 4 Relationship between  $\delta^{13}\text{C}$  and other functional traits

系数 Coefficient	$\log(\text{单位面积氮含量})$ $\log(N_{\text{area}})$ $/(\text{g/m}^2)$	$\log(\text{最大羧化速率})$ $\log(V_{\text{cmax}})$ $/(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1})$	$\log(\text{气孔导度})$ $\log(g_s)$ $/(\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1})$	$\log(\text{叶肉细胞导度})$ $\log(g_m)$ $/(\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1})$
碳稳定同位素比值 $\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	r P n	0.769 ** 0.000 22	0.635 ** 0.003 20	-0.337 0.172 18
				0.499 * 0.025 20

\*  $P<0.05$ , \*\*  $P<0.01$

随着海拔的升高,异型柳的叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 也随之增加(表2),这与前人的研究结果类似<sup>[15-17]</sup>。因为植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 和羧化位点与外界CO<sub>2</sub>分压比( $P_c/P_a$ )呈现显著负相关<sup>[18-19]</sup>,所以影响植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 的主要因素就是 $P_c/P_a$ 的主要影响因子<sup>[20]</sup>。随着 $N_{\text{area}}$ 的增加,植物的 $V_{\text{cmax}}$ 也随之增加(图1a),进而导致羧化位点CO<sub>2</sub>浓度降低, $P_c/P_a$ 降低,叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 增加;而随着植物叶片 $g_s$ 和 $g_m$ 的增加,羧化位点CO<sub>2</sub>随之增加,进而 $P_c/P_a$ 增加,叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 降低。但在本研究中,相比之下,羧化能力对于 $P_c/P_a$ ,乃至叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 的影响更大些,进而导致植物的叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 随着海拔的升高而增加(如表4)。虽然, $g_m$ 也与叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 呈现显著地正相关关系,但这并不能说明 $g_m$ 对于叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 具有促进作用,也可能是两者均受 $V_{\text{cmax}}$ 影响较大所导致的结果。事实上,叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 在一定程度上代表了植物的水分利用效率<sup>[21-22]</sup>,随着海拔的升高,虽然土壤的水分含量可能升高,但其水分可利用性却降低<sup>[23]</sup>,随着海拔升高而增加的叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 是异型柳对于随着海拔升高而降低的土壤水分可利用性的一种适应结果。

本研究表明,异型柳叶片PNUE随着海拔的升高而降低(如表2),这与Hikosaka等<sup>[12]</sup>对马来西亚基纳巴卢山植被的研究结果相似,他并认为,随着海拔升高而降低的CO<sub>2</sub>扩散导度可能是导致这一结果的主要原因之一。但本研究中的CO<sub>2</sub>扩散导度并未随海拔的升高而降低(表1),还有研究认为,将更多的氮素用于非光合防御组织可能也是导致植物叶片PNUE降低的主要原因<sup>[24]</sup>。大量研究还表明<sup>[25-27]</sup>,随着海拔的升高,植物叶片厚度随之增加(SLA降低或LMA升高),本研究也得到了类似的结果(表2)。这也被一些人认为是植物单位面积氮含量随着海拔升高而增加的原因之一<sup>[1]</sup>。当植物叶片单位质量氮含量一定时,随着叶片厚度的增加,植物单位叶片所分配的叶片重量(或干物质)越多,进而氮含量增加,在一定程度上促进了植物的光合羧化能力。此外,还有研究认为,随着海拔的升高,植物,尤其是非禾本科草本植物叶片增厚也可能是对于温度降低的一种适应,所以增厚的部分应该为非光合组织,如叶肉细胞及叶肉细胞壁等<sup>[28]</sup>。本研究中,随着海拔升高,环境温度降低,作为落叶灌木的异型柳生长季缩短,故将更多的氮素用于羧化能力的建设,进而导致 $V_{\text{cmax}}$ 和 $A_{\text{max}}$ 随之增加(表1),与此同时,植物的SLA随海拔降低,而 $g_m$ 则随海拔升高(图2)。因为 $g_m$ 的增加主要受羧化能力的影响,所以导致 $g_m$ 增加的情况有二:一是植物将一部分氮素用于光合羧化酶的合成,进而羧化能力增加,另一部分用于细胞壁等防御组织的构建,导致叶片增厚,虽然CO<sub>2</sub>的扩散路程有所增加,但 $g_m$ 受羧化能力影响更大,进而 $g_m$ 仍随海拔升高;亦或是,植物将更多的氮素用于光合组织的构建,进而导致光合能力增加,叶片增厚,但CO<sub>2</sub>扩散路径却因此而缩短,导致 $g_m$ 随海拔增加。然而本研究表明, $N_{\text{area}}$ 随着海拔升高的程度大于 $g_m$ (表1,表2),说明,氮素并没有完全用于光合羧化能力(酶)的增加,进而促进 $g_m$ ,而是一部分用于非光合组织<sup>[29]</sup>,并在一定程度上阻碍了 $g_m$ 的增加,这也导致了PNUE随海拔的降低趋势。这是高海拔落叶植物对于恶劣环境的一种响应。

综上所述,随着海拔的升高,大气温度和压强降低,落叶植物的生长季缩短,异型柳的叶片 $N_{\text{area}}$ 随之增

加,进而 $V_{\text{emax}}$ 随之增加,因此保证了高海拔地区落叶灌木植物在较短生长季里的光合生产;同时,随着海拔的升高,异型柳还将一部分氮素用于非光合防御组织的构建,进而增加高海拔地区植物叶片对于外界低温、强风等恶劣天气的抵抗能力,这也是异型柳叶片增厚的主要原因,并导致PNUE降低。扩散导度和羧化能力是影响植物叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 的主要因素,但羧化能力对于本研究中异型柳叶片 $\delta^{13}\text{C}(P_c/P_a)$ 的影响更大些,进而导致该值随海拔升高而增加。随着海拔升高,在大气温度和压强的驱动下,异型柳的叶片通过增加光合羧化能力来适应生长季缩短的情况,通过增加水分利用效率(叶片 $\delta^{13}\text{C}$ )来适应较低的水分可利用性,通过较厚的叶片来抵御高海拔的恶劣环境,这些都是植物叶片功能性状对于环境适应和响应的表现。其中,氮素在光合与非光合组织间的分配或者说羧化能力与氮素含量、光合氮利用效率之间的关系是异型柳适应巴郎山不同海拔生境的关键。

#### References:

- [1] Cordell S, Goldstein G, Meinzer F C, Handley L L. Allocation of nitrogen and carbon in leaves of *Metrosideros polymorpha* regulates carboxylation capacity and  $^{13}\text{C}$  along an altitudinal gradient. *Functional Ecology*, 1999, 13(6): 811-818.
- [2] Friend A D, Woodward F I. Evolutionary and ecophysiological responses of mountain plants to the growing Season environment. *Advances in Ecological Research*, 1990, 20: 59-124.
- [3] Westbeck M H M, Pons T L, Cambridge M L, Atkin O K. Analysis of differences in photosynthetic nitrogen use efficiency of alpine and lowland *Poa* species. *Oecologia*, 1999, 120(1): 19-26.
- [4] Wright I J, Reich P B, Westoby M, Ackerly D D, Baruch Z, Bongers F, Cavender-Bares J, Chapin T, Cornelissen J N C C, Diemer M, Flexas J, Garnier E, Groom P K, Gullas J, Hikosaka K, Lamont B B, Lee W, Lusk C, Midgley J J, Navas M L, Niinemets U, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Poot P, Prior L, Pyankow V, Roument C, Thomas S C, Tjoelker M G, Veneklaas E J, Villar R. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 2004, 428(6985): 821-827.
- [5] Wright I J, Reich P B, Cornelissen J H C, Falster D S, Groom P K, Hikosaka K, Lee W, Lusk C H, Niinemets U, Oleksyn J, Qsada N, Pootter H, Warton D I, Westoby M. Modulation of leaf economic traits and trait relationships by climate. *Global Ecology and Biogeography*, 2005, 14(5): 411-421.
- [6] Aguiar M R, Paruelo J M, Sala O E, Lauenroth W K. Ecosystem responses to changes in plant functional type composition: An example from the Patagonian steppe. *Journal of Vegetation Science*, 1996, 7(3): 381-390.
- [7] Wei A L, Wang Z M, Zhang J P, Zhao M, Zhai Z X. Photosynthetic characteristics and chloroplast structure of different green organs in wild wheat *T. boeoticum* and cultivated wheat (cv. Pin7). *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 8(3): 351-354.
- [8] Wang Z, Fang Z F. Flora of China (Vol. 20th, 2nd fascicle). Beijing: Science Press, 1984: 171-172.
- [9] Falster D S, Warton D I, Wright I J. SMATR: Standardised Major Axis Tests and Routines. (2006-11-13) [2011-10-05]. <http://www.bio.mq.edu.au/ecology/SMATR/index.html>.
- [10] Wright I J, Groom P K, Lamont B B, Poot P, Prior L D, Reich P B, Schulze E D, Veneklaas E J, Westoby M. Leaf traits relationships in Australian plant species. *Functional Plant Biology*, 2004, 31(5): 551-558.
- [11] Feng Q H, Cheng R M, Shi Z M, Liu S R, Liu X L, He F, Cao H M. Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$  of *Quercus spinosa* to altitudinal gradients. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(13): 3629-3637.
- [12] Hikosaka 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.
- [13] Farquhar G D, O'Leary M H, Berry J A. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1982, 9(2): 121-137.
- [14] Kumar N, Vyas D, Kumar S. Plants at high altitude exhibit higher component of alternative respiration. *Journal of Plant Physiology*, 2007, 164(1): 31-38.
- [15] Körner C, Farquhar G D, Roksandic Z. A global survey of carbon isotope discrimination in plants from high altitude. *Oecologia*, 1988, 74(4): 623-632.
- [16] Morecroft M D, Woodward F I, Marrs R H. Altitudinal trends in leaf nutrient contents, leaf size and  $^{13}\text{C}$  of *Alchemilla alpina*. *Functional Ecology*, 1992, 6(6): 730-740.
- [17] Shi Z M, Liu S R, Liu X L, Centritto M. Altitudinal variation in photosynthetic capacity, diffusional conductance, and  $\delta^{13}\text{C}$  of butterfly bush (*Buddleja davidii* Franch.) plants growing at high elevations. *Physiologia Plantarum*, 2006, 128(4): 722-731.

- [18] Farquhar G D, von Caemmerer S, Berry J A. A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C<sub>3</sub> species. *Planta*, 1980, 149(1): 78-90.
- [19] Lauer M J, Boyer J S. Internal CO<sub>2</sub> measured directly in leaves: Abscisic acid and low leaf water potential cause opposing effects. *Plant Physiology*, 1992, 98(4): 1310-1316.
- [20] Feng Q H, Cheng R M, Shi Z M, Liu S R, Liu X L, He F, Cao H M. Effects of altitudinal gradient on *Salix atropantha* foliar <sup>13</sup>C. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(11): 2841-2848.
- [21] Francey R J, Farquhar G D. An explanation of <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C variations in tree rings. *Nature*, 1982, 297(5861): 28-31.
- [22] Farquhar G D, Richards R A. Isotopic composition of plant carbon correlates with water-use efficiency of wheat genotypes. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1984, 11(6): 539-555.
- [23] Gale J. Plants and altitude-revisited. *Annals of Botany*, 2004, 94(2): 199-199.
- [24] Takashima T, Hikosaka K, Hirose T. Photosynthesis or persistence: nitrogen allocation in leaves of evergreen and deciduous *Quercus* species. *Plant, Cell and Environment*, 2004, 27(8): 1047-1054.
- [25] Körner C, Diemer M. In situ photosynthetic responses to light, temperature and carbon dioxide in herbaceous plants from low and high altitude. *Functional Ecology*, 1987, 1(3): 179-194.
- [26] Hanba Y T, Miyazama S I, Terashima I. The influence of leaf thickness on the CO<sub>2</sub> transfer conductance and leaf stable carbon isotope ratio for some evergreen tree species in Japanese warm temperate forests. *Functional Ecology*, 1999, 13(5): 632-639.
- [27] Hovenden M J, Vender Schoor J K. The response of leaf morphology to irradiance depends on altitude of origin in *Nothofagus cunninghamii*. *New Phytologist*, 2006, 169(2): 291-297.
- [28] Kogami H, Hanba Y T, Kibe T, Terashima I, Masuzawa T. CO<sub>2</sub> transfer conductance, leaf structure and carbon isotope composition of *Polygonum cuspidatum* leaves from low and high altitudes. *Plant, Cell and Environment*, 2001, 24(5): 529-538.
- [29] Loomis R S. On the utility of nitrogen in leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1997, 94(25): 13378-13379.

#### 参考文献:

- [7] 魏爱丽, 王志敏, 张俊平, 赵明, 翟志席. 野生一粒麦与普通小麦不同绿色器官光合特性和叶绿体结构特征. *作物学报*, 2002, 8(3): 351-354.
- [8] 王战, 方振富. 中国植物志 (第20卷第2分册). 北京: 科学出版社, 1984: 171-172.
- [11] 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 刘世荣, 刘兴良, 何飞, 曹慧明. 巴郎山刺叶高山栎(*Quercus spinosa*)叶片δ<sup>13</sup>C海拔响应. *生态学报*, 2011, 31(13): 3629-3637.
- [20] 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 刘世荣, 刘兴良, 何飞, 曹慧明. 海拔梯度对巴郎山奇花柳叶片<sup>13</sup>C的影响. *应用生态学报*, 2011, 22(11): 2841-2848.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 9 May, 2013 (Semimonthly)

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- Analysis of subject trends in research on sustainable development ..... CHA Na, WU Jianguo, YU Runbing (2637)  
Metabolic scaling theory and its application in microbial ecology ..... HE Jizheng, CAO Peng, ZHENG Yuanming (2645)  
Research progress on endophyte-promoted plant nitrogen assimilation and metabolism ..... YANG Bo, CHEN Yan, LI Xia, et al (2656)

Review on the development of landscape architecture ecology in China ..... YU Yijing, MA Jinyi, YUAN Yunjue (2665)

### Autecology & Fundamentals

- Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range ..... CHEN Xuewen, WANG Nong, SHI Xiuhuan, et al (2676)  
Controls over soil organic carbon content in grasslands ..... TAO Zhen, CI Dan Langjie, ZHANG Shenghua, et al (2684)  
Antagonistic interactive effects of exogenous calcium ions and parasitic *Cuscuta australis* on the morphology and structure of *Alternanthera philoxeroides* stems ..... CHE Xiuxia, CHEN Huijing, YAN Qiaodi, et al (2695)  
Correlation between pigment content and reflectance spectrum of *Phyllostachys pubescens* stems during its rapid growth stage ..... LIU Lin, WANG Yukui, WANG Xingxing, et al (2703)  
Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain ..... FENG Qiuhong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (2712)  
Effects of phosphate and organic matter applications on arsenic uptake by and translocation in *Isatis indigotica* ..... GAO Ningda, GENG Liping, ZHAO Quanli, et al (2719)  
Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis* ..... ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (2728)  
Effects of predation risk on the patterns of functional responses in reed vole foraging ..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, YAO Xiaoyan, et al (2734)  
Phylogenetic analysis of Veneridae (Mollusca: Bivalvia) based on the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I gene fragment ..... CHENG Hanliang, PENG Yongxing, DONG Zhiguo, et al (2744)  
Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis* ..... CHANG Yaqing, LI Yunxia, LUO Shibin, et al (2754)

### Population, Community and Ecosystem

- The ecosystem services value change in the upper reaches of Ganjiang River Based on RS and GIS ..... CHEN Meiqiu, ZHAO Baoping, LUO Zhijun, et al (2761)  
The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables ..... ZHENG Binghui, ZHU Yanzhong, LIU Lusan, et al (2768)  
The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — Causal Variables ..... ZHENG Binghui, ZHOU Juan, LIU Lusan, et al (2780)  
The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters ..... SONG Lun, WANG Nianbin, YANG Guojun, et al (2790)  
Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland ..... LU Qiang, CHEN Huili, SHAO Xiaoyang, et al (2803)  
Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities ..... LIU Yanmei, LI Xinrong, ZHAO Xin, et al (2816)  
Associations between weather factors and the spring migration of the horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis* ..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (2825)  
Effects of vegetation on soil aggregate stability and organic carbon sequestration in the Ningxia Loess Hilly Region of northwest China ..... CHENG Man, ZHU Qulian, LIU Lei, et al (2835)

---

Simulation of the carbon cycle of <i>Larix chinensis</i> forest during 1958 and 2008 at Taibai Mountain, China .....	LI Liang, HE Xiaojun, HU Lile, et al (2845)
Effects of different disturbances on diversity and biomass of communities in the typical steppe of loess region .....	CHEN Furong, CHENG Jimin, LIU Wei, et al (2856)
Age structure and point pattern of <i>Butula platyphylla</i> in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia .....	HU Ercha, WANG Xiaojiang, ZHANG Wenjun, et al (2867)
The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain .....	QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (2877)
Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China .....	JING Xuehui, CAO Lei, ZANG Runguo (2886)
<b>Landscape, Regional and Global Ecology</b>	
The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed .....	XU Yan, GAO Junfeng, GUO Jianke (2896)
The value of fixing carbon and releasing oxygen in the Guanzhong-Tianshui economic region using GIS .....	ZHOU Zixiang, LI Jing, FENG Xueming (2907)
<b>Resource and Industrial Ecology</b>	
Effect of different controlled-release nitrogen fertilizers on availability of heavy metals in contaminated red soils under waterlogged conditions .....	LIANG Peijun, XU Chao, WU Qitang, et al (2919)
<b>Research Notes</b>	
Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid .....	ZHENG Jingjing, ZHAO Huijie, HU Weiwei, et al (2930)
The difference of drought impacts on winter wheat leaf area index under different CO <sub>2</sub> concentration .....	LI Xiaohan, WU Jianjun, LÜ Aifeng, et al (2936)

# 《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研工作者,探索自然奥秘,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研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

本期责任编辑 欧阳志云

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

## 生态学报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第9期 (2013年5月)

## ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 9 (May, 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

主 编 王如松  
主 管 中国科学技术协会  
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

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  
行 书 学 出 版 社  
地址:东黄城根北街16号  
邮政编码:100717  
电话:(010)64034563

订 购 国外发行  
E-mail:journal@cspg.net  
全国各地邮局  
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

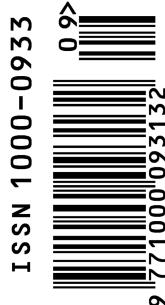
Editor-in-chief WANG Rusong  
Supervised by China Association for Science and Technology  
Sponsored by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

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@cspg.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 90.00 元