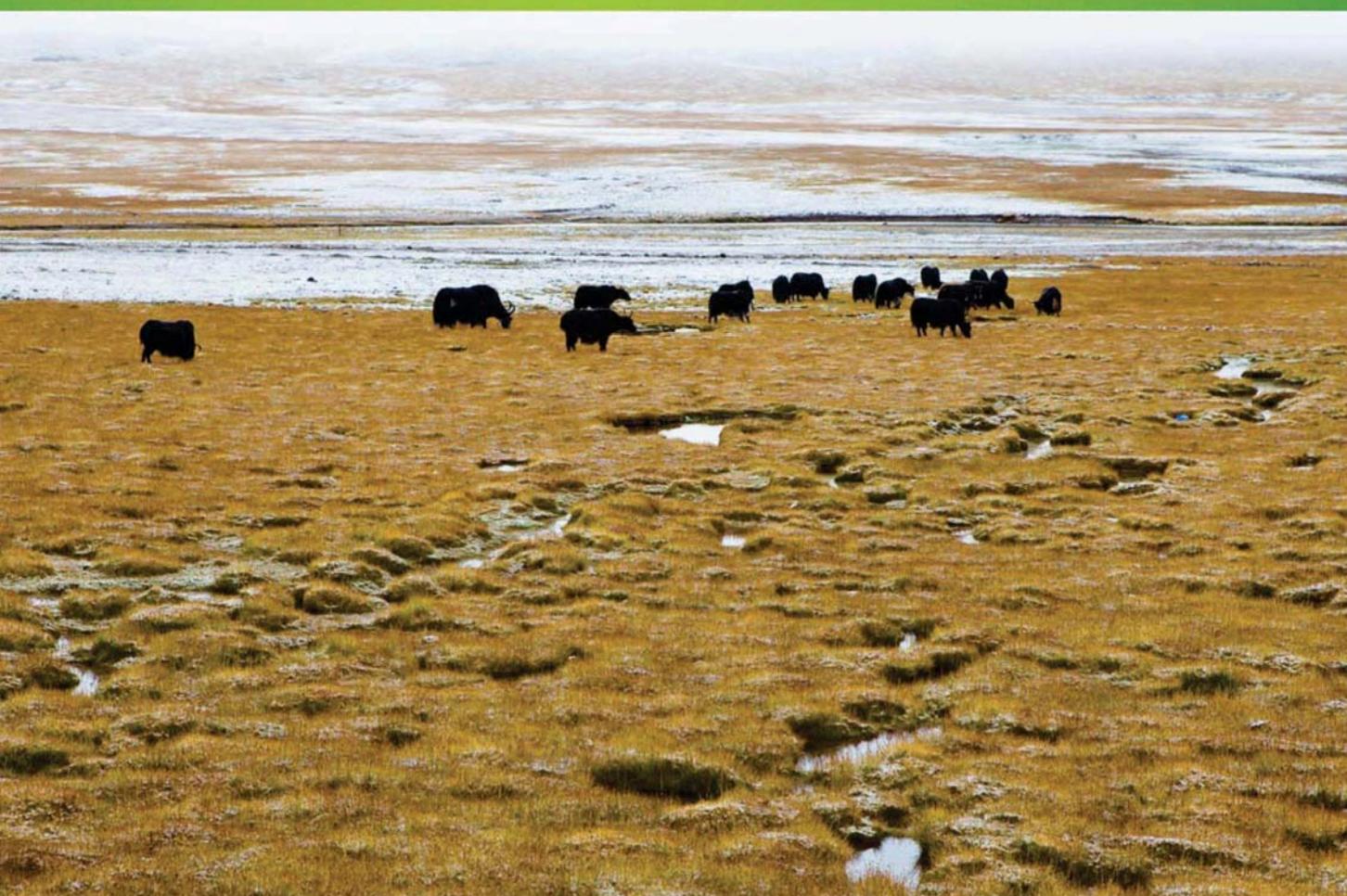


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第16期 Vol.33 No.16 **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 16 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 物种分布模型理论研究进展..... 李国庆,刘长成,刘玉国,等 (4827)
- 稀土元素对农田生态系统的影响研究进展..... 金姝兰,黄益宗 (4836)
- 藤壶金星幼虫附着变态机制..... 饶小珍,林 岗,许友勤 (4846)
- 群居动物中的共同决策..... 王程亮,王晓卫,齐晓光,等 (4857)

个体与基础生态

- 季风进退和转换对中国褐飞虱迁飞的影响..... 包云轩,黄金颖,谢晓金,等 (4864)
- 两种海星对三种双壳贝类的捕食选择性和摄食率..... 齐占会,王 珺,毛玉泽,等 (4878)
- 新疆巴音布鲁克繁殖期大天鹅的生境选择..... 董 超,张国钢,陆 军,等 (4885)
- 我国特有植物青檀遗传结构的 ISSR 分析..... 李晓红,张 慧,王德元,等 (4892)
- 栽培菊花与菊属-近缘属属间杂种杂交后代耐盐性的遗传分析..... 许莉莉,陈发棣,陈素梅,等 (4902)
- 荒漠区植物光合器官解剖结构对水分利用效率的指示作用..... 张海娜,苏培玺,李善家,等 (4909)
- 水分对番茄不同叶龄叶片光合作用的影响..... 陈凯利,李建明,贺会强,等 (4919)
- 广西猫儿山不同海拔常绿树种和落叶树种光合速率与氮的关系..... 白坤栋,蒋得斌,万贤崇 (4930)
- 施肥对板栗林地土壤 N₂O 通量动态变化的影响..... 张蛟蛟,李永夫,姜培坤,等 (4939)
- 施肥对红壤水稻土团聚体分布及其碳氮含量的影响..... 刘希玉,王忠强,张心昱,等 (4949)

种群、群落和生态系统

- 大兴安岭天然沼泽湿地生态系统碳储量..... 牟长城,王 彪,卢慧翠,等 (4956)
- 基于多时相 Landsat TM 影像的汶川地震灾区河岸带植被覆盖动态监测——以岷江河谷映秀-汶川段
为例..... 许积层,唐 斌,卢 涛 (4966)
- 不同强度火干扰下盘古林场天然落叶松林的空间结构..... 倪宝龙,刘兆刚 (4975)
- 长江中下游湖群大型底栖动物群落结构及影响因素..... 蔡永久,姜加虎,张 路,等 (4985)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群年龄结构和性比..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (5000)
- 性信息素诱捕下害虫 Logistic 增长及经济阈值数学模型..... 赵志国,荣二花,赵志红,等 (5008)
- 秋末苏南茶园昆虫的群落组成及其趋色性..... 郑颖姘,钮羽群,崔桂玲,等 (5017)
- 北方常见农业土地利用方式对土壤螨群落结构的影响..... 韩雪梅,李丹丹,梁子安,等 (5026)

景观、区域和全球生态

- 基于鸟类边缘种行为的景观连接度研究——空间句法的反规划应用..... 杨天翔,张韦倩,樊正球,等 (5035)
- 西南高山地区土壤异养呼吸时空动态..... 张远东,庞 瑞,顾峰雪,等 (5047)

江苏省土壤有机质变异及其主要影响因素..... 赵明松,张甘霖,李德成,等 (5058)

基于林业清查资料的桂西北植被碳空间分布及其变化特征..... 张明阳,罗为检,刘会玉,等 (5067)

资源与产业生态

基于能值分析方法的都市代谢过程——案例研究 刘耕源,杨志峰,陈彬 (5078)

基于 PSR 模型的耕地生态安全物元分析评价 张锐,郑华伟,刘友兆 (5090)

保水剂对煤矸石基质上高羊茅生长及营养吸收的影响 赵陟峰,王冬梅,赵廷宁 (5101)

城乡与社会生态

生态保护价值的距离衰减性——以三江平原湿地为例 敖长林,陈瑾婷,焦扬,等 (5109)

研究简报

广东山区土壤有机碳空间变异的尺度效应..... 姜春,吴志峰,钱乐祥,等 (5118)

室内养殖雌性松鼠秋季换毛期被毛长度和保温性能变化..... 荆璞,张伟,华彦,等 (5126)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说: 高寒草甸牦牛群——三江源区位于青藏高原腹地,平均海拔 4200m,是长江、黄河、澜沧江三条大河的发源地,也是全球气候变化最敏感的地区。三江源区高寒草甸植被状况对该区的生态环境、草地资源合理利用和应对全球气候变化具有十分重要的意义。2005 年以来,国家投资 70 多亿元启动三江源生态保护工程。监测显示,近年来,三江源湖泊湿地面积逐步扩大,植被覆盖度得到提高,三江源区高寒草甸的生态恶化趋势得到遏制。图为冒着风雪在三江源高寒草甸上吃草的牦牛群。

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/stxb201205200750

白坤栋, 蒋得斌, 万贤崇. 广西猫儿山不同海拔常绿树种和落叶树种光合速率与氮的关系. 生态学报, 2013, 33(16): 4930-4938.

Bai K D, Jiang D B, Wan X C. Photosynthesis-nitrogen relationship in evergreen and deciduous tree species at different altitudes on Mao'er Mountain, Guangxi. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(16): 4930-4938.

广西猫儿山不同海拔常绿树种和落叶树种 光合速率与氮的关系

白坤栋^{1,2}, 蒋得斌³, 万贤崇^{2,*}

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 桂林 541006; 2. 中国林业科学研究院林业新技术研究所, 北京 100091;

3. 广西猫儿山国家级自然保护区管理局, 桂林 541316)

摘要: 分析广西猫儿山不同海拔常绿和落叶树种的光合作用-氮关系, 探讨光合氮利用效率 (PNUE) 是否受到叶片习性和海拔的影响。落叶树种的 PNUE 都显著高于常绿树种, 这与前者有较低的比叶重 (LMA) 和较高的单位叶重光合速率 (A_{mass})、氮含量和气孔导度 (g_s) 有密切关系。高海拔树种的 PNUE 显著低于中低海拔树种的 PNUE, 这与前者较高的 LMA 和较低的 A_{mass} 和 g_s 相关。PNUE 和相关的叶片特征的主成分分析表明常绿-落叶树种和低海拔-中海拔-高海拔树种的分布是一个自然过渡的过程。此外, PNUE 与土壤碳: 氮比没有显著相关性, 但与年均温正相关, 这表明温度气候是调节 PNUE 沿海拔变化的主要环境因素。因此, 这种叶片习性和温度气候调节的 PNUE 变化可能是调节猫儿山常绿树种沿海拔形成双峰分布的一种机制。

关键词: 常绿树种; 落叶树种; 光合氮利用效率; 海拔; 双峰分布

Photosynthesis-nitrogen relationship in evergreen and deciduous tree species at different altitudes on Mao'er Mountain, Guangxi

BAI Kundong^{1,2}, JIANG Debing³, WAN Xianchong^{2,*}

1 Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China

2 Institute of New Forest Technology, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

3 Bureau of Guangxi Mao'er Mountain Nature Reserve, Guilin 541316, China

Abstract: The present study analyzed the photosynthesis-nitrogen relationship in evergreen and deciduous tree species at different altitudes on Mao'er Mountain, Guangxi, and explored whether photosynthetic nitrogen use efficiency (PNUE) was affected by leaf habit and altitude. Deciduous tree species had significantly higher PNUE than evergreen tree species because of lower leaf mass per area (LMA) and higher photosynthetic rate per mass (A_{mass}), nitrogen content and stomatal conductance (g_s) in the former. Tree species at high altitude had significantly lower PNUE than those at middle and low altitudes due to higher LMA and lower A_{mass} and g_s in the former. Principal component analysis for PNUE and its related leaf traits suggested that the tree species distribution of evergreen-deciduous and low-middle-high altitude were in the process of natural transition. In addition, PNUE was not related to soil carbon: nitrogen ratio, but significantly positive related to mean annual temperature, suggesting that temperature climate was the main environmental factor that regulated the altitudinal changes in PNUE. Therefore, this differential PNUE that was affected by leaf habit and temperature climate was a mechanism for the bimodal distribution of evergreen tree species along the altitudes on Mao'er Mountain.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31100285); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (CAFINT2009C08); 国家科技支撑计划课题 (2012BAC16B01)

收稿日期: 2012-05-20; 修订日期: 2012-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wxc@caf.ac.cn

Key Words: evergreen tree species; deciduous tree species; photosynthetic nitrogen use efficiency; altitude; bimodal distribution

植物叶片氮含量(N)是一个影响光合速率(A)的重要因素,这是因为叶片大部分的N分配到了光合机构当中^[1]。在同一生境或不同生境中植物的A-N关系都普遍维持正相关关系^[2-3]。A和N的比值(即光合氮利用效率,PNUE)在植物之间可以达到100倍以上的差异^[2],因此PNUE常被看作是一个描述植物叶片营养经济、生理和策略的重要的叶片特征^[2,4-6]。过去许多探讨同一生境内植物之间PNUE差异的研究表明,C₄植物比C₃植物有较高的PNUE,草本植物比木本植物有较高的PNUE,落叶植物比常绿植物有较高的PNUE^[5,7-10]。低PNUE的植物一般比高PNUE的植物有较高的比叶重(LMA)^[6,11],这是因为较高的LMA可以通过增加二氧化碳扩散的阻力、减少叶片透射光的比率和增加分配到非光合组分的N比率来降低PNUE^[2,6]。另一方面,树种之间PNUE的差异对树种在不同生境间的竞争分布有重要的影响。在全球范围内,进化上低PNUE的树种会在土壤贫瘠的生境或者低温的环境占优势而高PNUE会在干扰程度高或者土壤肥沃的生境中占优势,这种环境造成的PNUE分化是长期自然选择的结果^[3,6,12]。

广西猫儿山(25°50'N,101°49'E)位于我国中亚热带,是桂林漓江水源的源头所在地。与东亚的热带地区常绿植物沿海拔的分布特征相似^[13],猫儿山常绿植物沿海拔呈现明显的双峰分布^[14-16]。在海拔1300m以下,常绿植物占优势。在海拔1300—1800m的中山地带分布着水青冈占优势的落叶林带。在海拔1800m以上,常绿植物重新占据优势。根据猫儿山综合科学考察报告,气候类型随着海拔的增加依次为山地亚热带气候、山地暖温带气候和山地中温带气候,土壤表土有机质和氮含量随着海拔的增加而增多,这意味着常绿植物沿着海拔形成双峰分布可能与气候和土壤基质的变化有密切的关系^[14,16]。尽管这些树种分布和环境之间有密切的关系,但至今尚未见是否树种间PNUE差异参与调节树种海拔分布的研究报道。本研究分析猫儿山不同海拔共生的常绿和落叶树种的A-N关系,本研究拟解决的关键科学问题是:(1)PNUE是否受到叶片习性和海拔的影响?(2)PNUE与其它叶片特征有何关联?这些问题的探讨可以揭示A-N关系在猫儿山常绿植物沿海拔形成双峰分布中的作用,为我国亚热带山地森林生物多样性的形成以及预测这类森林叶片营养经济、生理和生活史策略提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样地描述和树种选择

研究样地在广西猫儿山3种典型的森林中,即低海拔的山地亚热带气候下的常绿阔叶林、中海拔的山地暖温带气候下的水青冈混交林和高海拔的山地中温带气候下铁杉混交林。根据猫儿山自然保护区九牛塘气象观测站(1200m)的观测记录,区域年均温12.8℃,月均最高最低温差为19.8℃,年降水量2510mm^[16]。低海拔常绿阔叶林样地(海拔约为900m)的土壤基质为山地红壤,表层土(0—20cm)有机碳和全氮分别为4.33%和0.34%,年均温为14.1℃,选择的常绿树种是罗浮栲、细枝栲、木荷和华东润楠,选择的落叶树种是枫香、拟赤杨、君迁子和光皮桦。中海拔水青冈混交林样地(海拔约为1500m)的土壤基质为山地黄棕壤,表层土有机碳和全氮分别为9.74%和0.52%,年均温为11.5℃,选择的落叶树种是亮叶水青冈、青榨槭、缺萼枫香和钟萼木,选择的常绿树种是铁锥栲、曼青冈、桂南木莲和银木荷。高海拔铁杉混交林样地(海拔约为1900m)的土壤基质是泥炭土,表层土有机碳和全氮分别为16.23%和0.93%,年均温为8.1℃,选择的常绿树种是南方铁杉、褐叶青冈、厚叶杜鹃和包石栎,选择的落叶树种是白蜡树、中华槭和红叶木姜子。三类森林所选代表树种总共23种,来自于13个科,其中壳斗科的7个树种是这些森林的主要优势种(表1)。

1.2 实验方法

在2010年和2011年夏季(7—8月)用LI-6400气体交换测定仪测定叶片光合特征。由于森林类型和物候是冠层树种决定的,选择冠层的样树进行采样,每个树种选择3—5株。所选样树平均株高超过12m,野外条件难以直接测定这些样树枝条叶片的光合作用,故采取离体测定^[17-18],利用高枝剪剪下枝条并迅速插入水

中减少水分蒸腾的影响。单位叶面积的光合速率(A_{area})和气孔导度(g_s)测定的时间是晴天 9:30—11:30 之间进行,测定过程中保持叶片的环境因子适宜且相对稳定。测定时叶室温度为 20—25℃,二氧化碳浓度为 $380\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,光强为 $1500\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,预备实验表明此时光强对所有测定的植物而言都达到饱和光之上,且并未对植物的光合作用产生抑制作用。气体交换测定完毕后,叶片就收集下来测定 LMA(叶片干重/叶片面积)和 N 含量^[19]。随后,单位叶重的光合速率(A_{mass})由 $A_{\text{area}}/\text{LMA}$ 计算,而 PNUE 则由 A_{mass}/N 计算。

表 1 猫儿山不同海拔研究树种的生境特征、拉丁名、科名和叶片习性

Table 1 Habitat traits, Latin name, family, and leaf habit of the study tree species at different altitudes on Mao'er Mountain

生境特征 Habitat traits	树种/拉丁名 Species/latin name	科名 Family	叶片习性 Leaf habit
低海拔 Low altitude <1300m	罗浮栲 <i>Castanopsis fabri</i>	壳斗科 Fagaceae	常绿 Evergreen
	细枝栲 <i>Castanopsis carlessi</i>	壳斗科 Fagaceae	常绿
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	木荷 <i>Schima superba</i>	茶科 Thaceae	常绿
山地红壤 Montane red soil	华东润楠 <i>Machilus leptophylla</i>	樟科 Lauraceae	常绿
山地亚热带气候 Montane subtropical climate	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	金缕梅科 Hamamelidaceae	落叶 Deciduous
	拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i>	安息香科 Styraceae	落叶
	君迁子 <i>Diospyros lotus</i>	柿树科 Ebenaceae	落叶
	光皮桦 <i>Betula luminifera</i>	桦木科 Betulaceae	落叶
中海拔 Middle altitude 1300—1800m	亮叶水青冈 <i>Fagus lucida</i>	壳斗科 Fagaceae	落叶
	青榨槭 <i>Acer davidii</i>	槭树科 Aceraceae	落叶
水青冈混交林 Beech mixed forest	缺萼枫香 <i>Liquidambar acalycina</i>	金缕梅科 Hamamelidaceae	落叶
山地黄棕壤 Montane yellow-brown soil	钟萼木 <i>Bretschneidara sinensis</i>	钟萼木科 Bretschneideraceae	落叶
山地暖温带气候 Montane warm-temperate climate	铁锥栲 <i>Castanopsis lamontii</i>	壳斗科 Fagaceae	常绿
	曼青冈 <i>Cyclobalanopsis oxyodon</i>	壳斗科 Fagaceae	常绿
	桂南木莲 <i>Manglietia chingii</i>	木兰科 Magnoliaceae	常绿
	银木荷 <i>Schima argentea</i>	茶科 Thaceae	常绿
高海拔 High altitude >1800m	南方铁杉 <i>Tsuga chinensis</i>	松科 Pinaceae	常绿
	褐叶青冈 <i>Cyclobalanopsis stewardiana</i>	壳斗科 Fagaceae	常绿
铁杉混交林 Hemlock mixed forest	厚叶杜鹃 <i>Rhododendron pachyphyllum</i>	杜鹃花科 Ericaceae	常绿
泥炭土 Peat soil	包石栎 <i>Lithocarpus cleistocarpus</i>	壳斗科 Fagaceae	常绿
山地中温带气候 Montane moderate-temperate climate	白蜡树 <i>Fraxinus chinensis</i>	木犀科 Oleaceae	落叶
	中华槭 <i>Acer sinense</i>	槭树科 Aceraceae	落叶
	红叶木姜子 <i>Litsea rubescens</i>	樟科 Lauraceae	落叶

1.3 数据处理

为了满足正态分布和方差齐性,所有变量都转化成对数形式(\log_{10})。采用双因素方差分析(two-way ANOVA)叶片习性和海拔对叶片特征的影响。用主成分分析(PCA)叶片特征的多元关联,并用多元方差分析(MANOVA)检验最初两个主成分树种分数是否受到叶片习性或者海拔的影响。利用标准主轴(SMA)回归分析叶片特征之间的关系以及不同叶片习性和不同海拔之间回归关系斜率和截距的差异。此外,PNUE 与年均温和土壤碳:氮比的关系也用 SMA 回归分析。所有数据的统计、分析和作图采用 SPSS12.0、SMART 2.0 和 SigmaPlot10.0 等软件完成。

2 结果和分析

6 个叶片特征在所有树种之间的变化幅度为 2—8 倍,而且这些特征都不同程度受到叶片习性和海拔的影响(表 2 和表 3)。LMA 平均值 113 g/m^2 ,范围是 $52\text{—}227 \text{ g/m}^2$;常绿树种和高海拔树种有显著较高的 LMA。N 的平均值 2.43%,范围是 1.70%—3.48%;落叶树种有显著较高的 N,但是不同海拔之间的 N 没有显著差异。 A_{mass} 的平均值 $123 \text{ nmol g}^{-1} \text{ s}^{-1}$,范围是 $29\text{—}234 \text{ nmol g}^{-1} \text{ s}^{-1}$;落叶树种和中海拔树种有显著较高的 A_{mass} 。

A_{area} 的平均值 $11.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 范围是 $6.6—16.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 落叶树种有显著较高的 A_{area} , 但是不同海拔之间的 A_{area} 没有显著差异。 g_s 的平均值 $184 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 范围是 $66—292 \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 常绿树种和高海拔树种有显著较低的 g_s 。PNUE 平均值 $69 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{s}^{-1}$, 范围是 $66—292 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{s}^{-1}$; 常绿树种和高海拔树种有显著较低的 PNUE。

表 2 猫儿山不同海拔常绿和落叶树种叶片特征的平均值±标准差($n=3—5$)和多元方差分析结果

Table 2 Mean±SD ($n=3—5$) of leaf traits and the results of the multivariate analysis of variance (MANOVA) for evergreen and deciduous tree species at different altitudes on Mao'er Mountain

海拔 Altitude	树种 Species	比叶重 LMA/(g/m ²)	氮含量 N/%	单位叶重的 光合速率 A_{mass} /(nmol g ⁻¹ s ⁻¹)	单位叶面积 的光合速率 A_{area} /($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	气孔导度 g_s /(mmol m ⁻² s ⁻¹)	光合氮利用效率 PNUE /($\mu\text{mol mol}^{-1} \text{s}^{-1}$)
低海拔 Low altitude	罗浮栲	141±5	2.27±0.11	72±3	10.1±0.6	106±7	44±4
	细枝栲	127±3	2.07±0.11	71±6	9.0±0.7	115±6	48±9
	木荷	112±4	1.97±0.10	113±5	12.7±1.1	138±9	80±7
	华东润楠	132±6	2.11±0.09	88±3	11.6±0.5	129±7	58±6
	枫香	72±4	2.39±0.04	151±8	10.9±0.6	157±14	89±4
	拟赤杨	87±2	2.63±0.07	194±7	16.9±0.3	253±12	103±8
	君迁子	88±2	3.48±0.16	179±8	15.7±0.4	239±10	72±6
	光皮桦	78±3	2.84±0.09	186±5	14.5±0.8	199±8	92±7
中海拔 Middle altitude	常绿平均	128±12	2.11±0.12	86±20	10.9±1.6	122±15	58±16
	落叶平均	81±8	2.84±0.47	178±19	14.5±2.6	212±43	89±13
	亮叶水青冈	52±3	2.57±0.12	234±12	12.1±0.5	292±11	127±11
	青榨槭	69±5	2.44±0.15	120±7	8.2±0.4	203±13	69±10
	缺萼枫香	59±2	2.46±0.08	179±11	10.5±0.8	233±9	102±8
	钟萼木	75±4	2.68±0.13	216±15	16.1±1.1	253±15	113±6
	铁锥栲	145±12	2.14±0.08	82±7	11.9±0.9	196±12	54±6
	曼青冈	98±9	2.23±0.07	129±6	12.7±0.5	135±5	81±4
高海拔 High altitude	桂南木莲	116±6	2.11±0.16	104±9	12.1±0.8	172±7	69±7
	银木荷	110±4	2.07±0.11	91±5	10.0±0.6	177±10	62±6
	常绿平均	117±20	2.14±0.07	102±20	11.6±1.2	170±25	66±12
	落叶平均	63±10	2.54±0.11	187±50	11.7±3.3	245±37	103±25
	南方铁杉	227±14	1.70±0.08	29±3	6.6±0.2	66±6	24±2
	褐叶青冈	167±12	2.16±0.21	63±5	10.5±0.5	112±7	41±2
	厚叶杜鹃	192±13	2.23±0.10	45±4	8.7±1.3	115±6	28±4
	包石栎	181±8	2.02±0.12	56±5	10.1±1.1	92±4	39±3
	白蜡树	110±9	3.16±0.08	129±9	14.2±1.2	285±16	67±6
	中华槭	79±8	3.24±0.09	154±9	12.2±1.5	228±12	57±7
	红叶木姜子	92±6	2.91±0.07	140±7	12.8±0.8	254±18	69±3
	常绿平均	192±26	2.03±0.24	48±15	9.0±1.8	96±23	33±8
	落叶平均	94±16	3.10±0.17	151±21	14.0±1.8	256±28	64±13

表 3 猫儿山不同海拔常绿和落叶树种叶片特征的双因素方差分析结果

Table 3 Results of two-way ANOVA for leaf traits of evergreen and deciduous tree species at different altitudes on Mao'er Mountain

叶片特征 Leaf traits	叶片习性 Leaf habit		海拔 Altitude		交互作用 Interaction	
	F	P	F	P	F	P
比叶重 LMA	106.0	< 0.001	19.1	< 0.001	1.7	0.205
氮含量 N	58.4	< 0.001	1.1	0.346	3.6	0.050
单位叶重的光合速率 A_{mass}	69.3	< 0.001	9.8	0.001	2.4	0.125
单位叶面积的光合速率 A_{area}	7.7	0.013	1.1	0.351	2.5	0.113
气孔导度 g_s	71.2	< 0.001	5.2	0.017	6.0	0.011
光合氮利用效率 PNUE	33.0	< 0.001	14.1	< 0.001	0.8	0.461

PCA 表明最初的两个主成了解释了这 6 个叶片特征 90.1% 的总变异,其中主成分 1(PC1)解释了 79.3% 而主成分 2(PC2)解释了 10.8% (表 4)。MANOVA 表明叶片习性和海拔对 PC1 和 PC2 有显著影响(表 4),这意味着常绿和落叶树种之间或者不同海拔树种之间的差别可以通过树种分数在 PC1 和 PC2 的二维图上区分出来。这种二维图表明常绿-落叶树种或者不同海拔树种在两个主成分上有一定的重叠,这反映了常绿-落叶树种或者低海拔-中海拔-高海拔树种的分布是一种自然的过渡(图 1)。

表 4 因子负荷、特征值、解释的方差百分比和最初两个主成分的多元方差分析(MANOVA)检验

Table 4 Factor loading, eigenvalues, and the percentage of variance explained, and the multivariate analysis of variance (MANOVA) tests of the first two principal components

变量 Variable	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2
比叶重 LMA	-0.896	0.375
氮含量 N	0.794	0.490
单位叶重的光合速率 A_{mass}	0.989	-0.118
单位叶面积的光合速率 A_{area}	0.804	0.364
气孔导度 g_s	0.930	0.088
光合氮利用效率 PNUE	0.916	0.340
特征值 Eigenvalues	4.76	0.65
解释的方差百分比 of variance/%	79.3	10.8
累计百分比 Cumulative/%	79.3	90.1
对叶片习性的多元方差分析检验 MANOVA tests for leaf habits	<i>F</i>	<i>P</i>
Wilk's Lambda	20.4	<0.001
对海拔的多元方差分析检验 MANOVA tests for altitudes	<i>F</i>	<i>P</i>
Wilk's Lambda	4.8	0.003

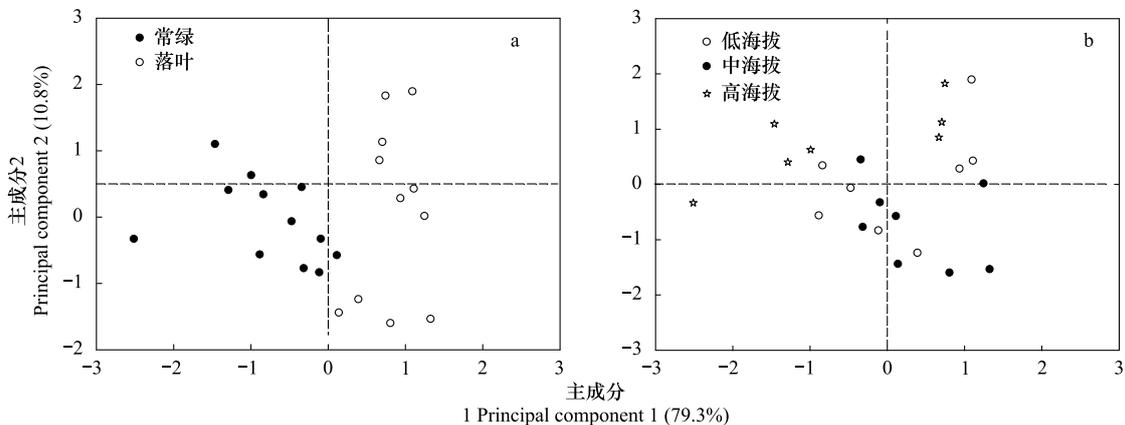


图 1 对常绿和落叶树种和 3 个海拔的最初两个主成分的主成分分析

Fig. 1 Principal component analysis for evergreen species (closed circles) and deciduous species (open circles) and the three altitudes for the first two components

SMA 回归分析表明,6 个叶片特征之间是高度相关联的(表 5)。所有树种的 A_{mass} 与 LMA 负相关而与 N、 A_{area} 、 g_s 和 PNUE 正相关。由于 $A_{mass} = A_{area}/LMA$,但是 A_{area} 不受海拔的影响而且受到叶片习性的影响弱于 A_{mass} ,因此 A_{mass} 同时受到叶片习性和海拔的显著影响主要是受到 LMA 的调节,即常绿树种和高海拔树种较低的 A_{mass} 是与其较高的 LMA 有密切关系(表 3 和表 5)。 A_{mass} -N 关系斜率和截距分别是 3.01 和 0.91。常绿树种比落叶树种有较高的 A_{mass} -N 关系斜率($P=0.012$),这意味着相同 A_{mass} 的情况下常绿树种需要投入更多的 N,从而导致常绿树种有较低的 PNUE(图 2)。中海拔树种有显著较大的 A_{mass} -N 关系截距($P<0.001$),这意味着在相同 N 的情况下中海拔树种有较高的 A_{mass} ,从而导致中海拔树种有较高的 PNUE(图 2)。PNUE-LMA

的负相关和 PNUE- g_s 的正相关关系进一步说明 PNUE 受到了叶片结构和气孔的调节(表 5 和图 3)。此外, PNUE 与环境因子有密切的关系。PNUE 与年均温显著正相关,但与土壤碳:氮比无显著相关性(图 4)。

表 5 猫儿山不同海拔所有树种叶片比叶重(LMA)、单位叶重的光合速率(A_{mass})、氮含量(N)、单位叶面积的光合速率(A_{area})、气孔导度(g_s)和光合氮利用效率(PNUE)之间的标准主轴回归分析

Table 5 Standardized major axis regression analysis among leaf mass per area (LMA), nitrogen content (N), photosynthetic rate per mass (A_{mass}), photosynthetic rate per area (A_{area}), stomatal conductance (g_s) and photosynthetic nitrogen use efficiency (PNUE) across tree species at different altitudes on Mao'er Mountain

	log(LMA)	log(A_{mass})	log(N)	log(A_{area})	log(g_s)	log(PNUE)
log(LMA)		-0.72;3.49	-2.17; 2.85	-1.70; 3.83	-0.96; 4.16	-0.91;3.66
log(A_{mass})	0.86 ***		3.01;0.91	2.36;3.14	1.33;-0.92	1.26;-0.24
log(N)	0.38 ***	0.52 ***		0.79;-0.45	0.44;-0.61	0.42;-0.38
log(A_{area})	0.24 *	0.60 ***	0.44 * *		0.56;-0.19	0.53;0.10
log(g_s)	0.65 ***	0.77 ***	0.62 ***	0.49 ***		0.95;0.52
log(PNUE)	0.81 ***	0.91 ***	0.24 *	0.50 ***	0.62 ***	

标准主轴回归斜率和截距(斜率;截距)列在矩阵的右边部分(应变变量是列1,自变量是行1),决定系数(r^2)和显著性水平(*** $P<0.001$, ** $P<0.01$, * $P<0.05$)列在矩阵的左边部分 Standardized major axis regression slopes and intercepts (slope; intercept) are given in the upper right section of the matrix (y variable is column 1, x variable in row 1). Coefficients of determination (r^2) and significant level (*** $P<0.001$, ** $P<0.01$, * $P<0.05$) are given in the lower left section of the matrix

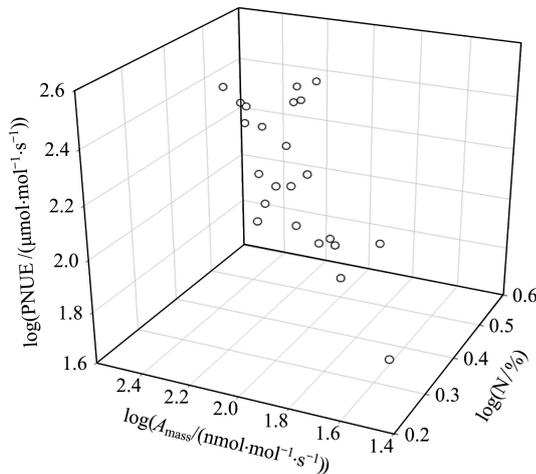


图 2 猫儿山不同海拔所有树种光合氮利用效率(PNUE)与单位叶重的光合速率(A_{mass})和氮含量(N)的三维关系图

Fig.2 Three-dimensional relationships between photosynthetic nitrogen use efficiency (PNUE) and photosynthetic rate per mass (A_{mass}) and nitrogen content (N) across all species at different altitudes on Mao'er Mountain

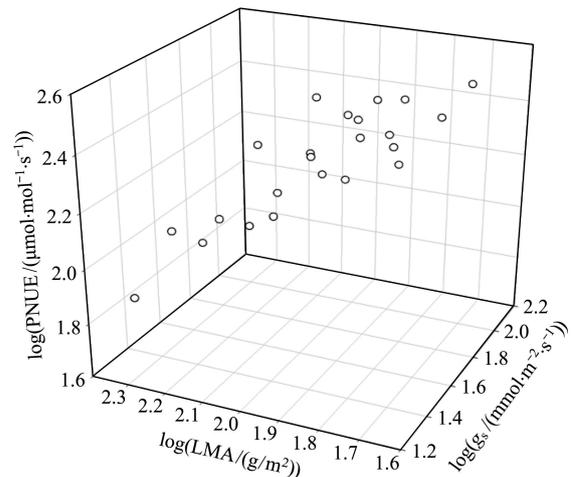


图 3 猫儿山不同海拔所有树种光合氮利用效率(PNUE)与比叶重(LMA)和气孔导度(g_s)的三维关系图

Fig.3 Three-dimensional relationships between photosynthetic nitrogen use efficiency (PNUE) and leaf mass per area (LMA) and stomatal conductance (g_s) across all species at different altitudes on Mao'er Mountain

3 讨论

PNUE 是一个与植物叶片经济、生理和策略密切相关的叶片特征^[6]。本研究表明, PNUE 受到叶片习性的显著影响,落叶树种比常绿树种有较高的 PNUE,这与过去的研究一致^[20-21]。 A_{mass} -N 的关系表明,落叶树种较高的 PNUE 是因其其在相同 N 增量的情况下有较高的 A_{mass} 增量。落叶树种较高的 PNUE 与其较低的 LMA 也有密切的关系,因为较低的 LMA 的树种可以分配更多的氮比率到光合组分并最终提高 PNUE^[2,20]。落叶树种较高的 PNUE 还与其较高的 g_s 密切相关,因为较高的 g_s 可以提高胞间二氧化碳浓度从而促进 PNUE^[6]。在进化上,叶片寿命短的树种有较低的 LMA、较高的 N、较高的 A_{mass} 和 PNUE,这些特征代表树种可以快速生

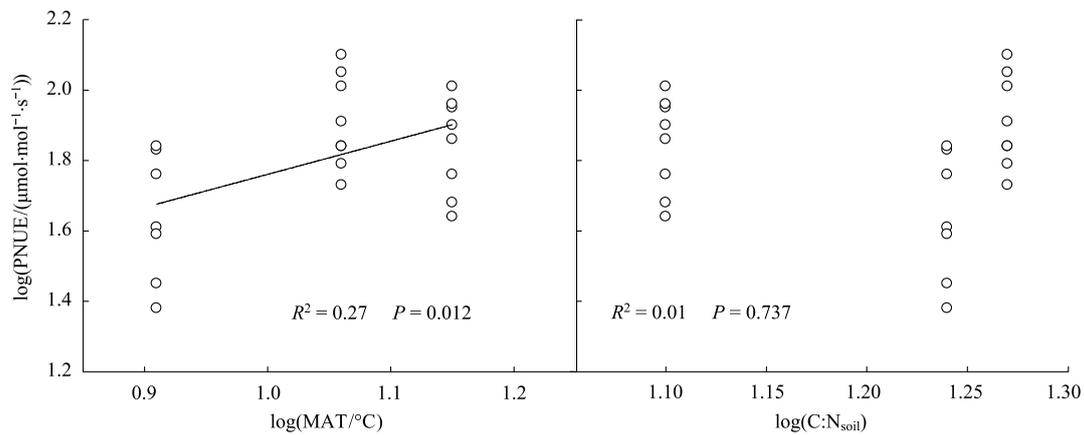


图4 猫儿山不同海拔所有树种光合氮利用效率(PNUE)与年均温(MAT)和土壤碳:氮比(C:N_{soil})的标准主轴回归关系

Fig. 4 Standardized major axis regression relationship between photosynthetic nitrogen use efficiency (PNUE) and mean annual temperature (MAT) and soil carbon:nitrogen ratio (C:N_{soil}) across all species at different altitudes on Mao'er Mountain

长,有利于其在土壤肥沃的环境获得竞争优势^[2,21-22]。与落叶树种相反,常绿树种有较高的LMA、较低的N、较长的叶片寿命和较低的PNUE,这些特征可以使常绿树种有一个更长的叶片氮平均滞留时间和光合季节、以较低的叶片营养成本替换衰老的叶片、有更多能量和物质投入在结构性物质上(如纤维素等)从而降低被虫食可能性和风吹冰害等机械性损伤以及降低木质部空穴化的可能性促进水分传输的安全性等得到提升,因此这些特征有利于常绿植物在土壤贫瘠或者低温的环境占据优势^[12,23]。

A_{mass} -N的关系分析表明,PNUE也受到海拔的显著调节。高海拔树种比中低海拔树种有显著较低的PNUE,这与前者LMA较高有关系,也与 A_{mass} 和 g_s 较低是一致的。这种高海拔PNUE受到抑制的现象与过去的研究相似^[24]。既然PNUE都受到叶片习性和海拔的调节,那么这对常绿树种沿海拔形成双峰分布有何重要的意义呢?常绿和落叶树种的竞争分布是对土壤资源和气候的长期适应而形成的^[12]。在本研究的森林中,土壤水资源并不是一个限制常绿和落叶树种生长的因子,因为猫儿山年均降水量超过2500mm^[16]。猫儿山低海拔常绿阔叶林、中海拔水青冈混交林和高海拔铁杉混交林的土壤碳:氮比分别为12.7、18.7和17.5,这些比值都低于全球热带亚热带山地(15.4)、暖温带山地(20.6)和冷温带山地(20.2)的平均值^[25]。低海拔常绿阔叶林的碳:氮比低于全球土壤碳:氮比的临界点14.3^[26],可以认为低海拔的土壤受到氮限制。猫儿山低海拔树种叶片N平均值(2.47%)比全球的平均值(2.01%)^[27]高出23%,这表明叶片水平的氮含量可能不受限制,但是低海拔树种的PNUE平均值 $74\mu\text{mol mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ 明显低于全球树种的PNUE平均值 $130\mu\text{mol mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ ^[5],这种反差可能是猫儿山低海拔树种叶片的氮分配到光合机构的比例相对较低而造成PNUE大幅度低于全球平均水平^[6,10]。由于土壤碳:氮比是衡量土壤有机质降解程度和质量的指标,低的土壤碳:氮比意味着土壤相对较贫瘠^[28]。PNUE与土壤碳:氮比没有显著的相关性(图4),这意味着土壤贫瘠程度可能不是调节猫儿山PNUE沿海拔变化的主要环境因素。另一方面,随着海拔的升高,年均温也随之降低,PNUE与年均温正相关(图2),这表明温度气候是调节猫儿山PNUE沿海拔变化的主要环境因素。在低海拔山地亚热带气候下,一年中不利于植物生长的季节很短,有利于常绿树种在一年中积累更多的碳收益,促进常绿树种占据优势。在中海拔山地亚热带气候下,一年中不适宜的生长季节变长,冬季的冰冻灾害容易造成阔叶树种枝条导管栓塞和断裂,极易造成树种枝条掉落甚至整株死亡,这很容易形成林窗的干扰^[14]。在干扰容易发生的生境,高PNUE的落叶树种就容易形成优势^[6],猫儿山中海拔的落叶树种就有最高的PNUE。在高海拔的山地中温带气候下,一年中不适宜的生长季节进一步延长,树种叶片形成高水平的LMA来抵御高海拔带来的低温和强风影响,这与过去的研究一致^[24,29]。由于LMA和PNUE的负相关关系(图3),常绿树种低水平的PNUE就更能够适应高海拔的环境,这与过去认为低水平的PNUE是对低温环境的一种适应的研究结论是一致的。

的^[6]。值得注意的是,PNUE 和相关叶片特征的主成分分析表明常绿-落叶树种或者不同海拔树种在两个主成分上有一定的重叠,这反映了常绿-落叶树种或者低海拔-中海拔-高海拔树种的分布是一种自然的过渡,这与我国热带喀斯特森林常绿和落叶树种的研究结果类似^[30]。

4 结论

PNUE 受到叶片习性和海拔的影响。常绿树种和高海拔树种有显著较低的 PNUE,这与前者有较高的 LMA 和较低的 A_{mass} 和 g_s 有密切关系。PNUE 和相关的叶片特征的 PCA 表明常绿-落叶树种和低海拔-中海拔-高海拔树种的分布是一个自然过渡的过程。PNUE 与不同海拔的土壤碳:氮比没有显著相关性而与年均温正相关,这意味着温度气候是调节猫儿山 PNUE 沿海拔变化的主要环境因素。因此,这种叶片习性和温度气候调节的 PNUE 变化可能是调节猫儿山常绿树种沿海拔形成双峰分布的一种机制。

References:

- [1] Evans J R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C_3 plants. *Oecologia*, 1989, 78: 9-19.
- [2] Wright I J, Reich P B, Cornelissen J H C, Falster D S, Garnier E, Hikosaka K, Lamont B B, Lee W, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Villar R, Warton D I, Westoby M. Assessing the generality of global leaf trait relationships. *New Phytologist*, 2005, 166: 485-496.
- [3] Reich P B, Oleksyn J, Wright I J. Leaf phosphorus influences the photosynthesis-nitrogen relation: a cross-biome analysis of 314 species. *Oecologia*, 2009, 160: 207-212.
- [4] Field C B, Mooney H A. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants//Givnish T J, ed. *On the economy of plant form and function*. Cambridge University Press, Cambridge, 1986: 22-25.
- [5] Hikosaka K, Hanba Y T, Hirose T, Terashima I. Photosynthetic nitrogen-use efficiency in leaves of woody and herbaceous species. *Functional Ecology*, 1998, 12: 896-905.
- [6] Hikosaka K. Interspecific difference in photosynthesis-nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and ecological importance. *Journal of Plant Research*, 2004, 117: 481-494.
- [7] Anten N P R, Schieving F, Werger M J A. Patterns of light and nitrogen distribution in relation to whole canopy gain in C_3 and C_4 mono- and dicotyledonous species. *Oecologia*, 1995, 101: 504-513.
- [8] Hikosaka K, Hirose T. Photosynthetic nitrogen-use efficiency in evergreen broad-leaved woody species coexisting in a warm-temperate forest. *Tree Physiology*, 2000, 20: 1249-1254.
- [10] Hikosaka K, Shigeno A. The role of Rubisco and cell walls in the interspecific variation in photosynthetic capacity. *Oecologia*, 2009, 160: 443-451.
- [11] Poorter H, Evans J R. Photosynthetic nitrogen use efficiency of species that differed inherently in specific leaf area. *Oecologia*, 1998, 116: 26-37.
- [12] Givnish T J. Adaptive significance of evergreen vs. deciduous leaves: solving the triple paradox. *Silver Fennica*, 2002, 36: 703-743.
- [13] Kikuzawa K. Geographical distribution of leaf life span and species diversity of trees simulated by a leaf-longevity model. *Vegetatio*, 1996, 122: 61-67.
- [14] Cao K F. *Fagus* dominance in Chinese montane forests: natural regeneration of *Fagus lucida* and *Fagus hayatae* var. *pashanica*. Ph. D. Thesis, Wageningen, 1995.
- [17] Koch G W, Sillett S C, Jennings G M, Davis S D. The limits to tree height. *Nature*, 2004, 428: 851-854.
- [19] Bai K D, Jiang D B, Cao K F, Liao D B, Wan X C. The physiological advantage of an ecological filter species, *Indocalamus longiauritus*, over co-occurring *Fagus lucida* and *Castanopsis lamontii* seedlings. *Ecological Research*, 2011, 26: 15-25.
- [20] Reich P B, Kloeppel B D, Ellsworth D S, Walters M B. Different photosynthesis-nitrogen relations in deciduous hardwood and evergreen coniferous tree species. *Oecologia*, 1995, 104: 24-30.
- [21] 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: 1047-1054.
- [22] Wright I J, Reich P B, Westoby M, Ackerly D D, Baruch Z, Bongers F, Cavender-Bares J, Chapin F S, Cornelissen J H C, Diemer M, Flexas J, Garnier E, Groom P K, Gulias J, Hikosaka K, Lamont B B, Lee T, Lee W, Lusk C, Midgley J J, Navas M L, Niinemets Ü, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Poot P, Prior L, Pyankov V I, Roumet C, Thomas S C, Tjoelker M G, Veneklaas E J, Villar R. The world-wide leaf economics spectrum. *Nature*, 2004, 428: 821-827.
- [23] Kikuzawa K. A cost-benefit analysis of leaf habit and leaf longevity of trees and their geographical pattern. *American Naturalist*, 1991, 138: 1250-1263.

- [24] 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: 305-313.
- [25] Post W M, Pastor J, Zinke P J, Stangenberger G. 1985. Global patterns of soil nitrogen storage. *Nature*, 1985, 317: 613-616.
- [26] Cleveland C C, Liptzin D. C: N:P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass?. *Biogeochemistry*, 2007, 85: 235-252.
- [27] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101: 11001-11006.
- [28] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47: 151-163.
- [29] Tang C Q, Oshawa M. Altitudinal distribution of evergreen broad-leaved trees and their leaf-size pattern on a humid subtropical mountain, Mt. Emei, Sichuan, China. *Plant Ecology*, 1999, 145: 221-233.
- [30] Fu P L, Jiang Y J, Wang A Y, Brodribb T J, Zhang J L, Zhu S D, Cao K F. Stem hydraulic traits and leaf-water stress tolerance are co-ordinated with the leaf phenology of angiosperm trees in an Asian tropical dry karst forest. *Annals of Botany*, 2012, doi: 10.1093/aob/mcs092

参考文献:

- [9] 郑淑霞,上官周平. 不同功能型植物光合特性及其与叶氮、比叶重的关系. *生态学报*, 2007, 27(1): 171-181.
- [15] 朱彪,陈安平,刘增力,李光照,方精云. 广西猫儿山植物群落物种组成、群落结构及树种多样性的垂直分布格局. *生物多样性*, 2004, 12(1): 44-52.
- [16] 黄金玲,蒋得斌. 广西猫儿山自然保护区综合科学考察. 湖南:湖南科学技术出版社, 2002: 165-181.
- [18] 屈小云,于贵瑞,盛文萍,方华军. 中国东部亚热带样带森林优势植物叶片的水分利用效率和氮素利用效率. *应用生态学报*, 2012, 23(3): 587-594.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 16 Aug. ,2013(Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Advances in theoretical issues of species distribution models LI Guoqing, LIU Changcheng, LIU Yuguo, et al (4827)
- A review on rare earth elements in farmland ecosystem JIN Shulan, HUANG Yizong (4836)
- A review on the mechanism of attachment and metamorphosis in barnacle cyprids ... RAO Xiaozhen, LIN Gang, XU Youqin (4846)
- Decision making in group living animals WANG Chengliang, WANG Xiaowei, QI Xiaoguang, et al (4857)

Autecology & Fundamentals

- Influence of monsoon's advancing, retreating and conversion on migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) in China
..... BAO Yunxuan, HUANG Jinying, XIE Xiaojin, et al (4864)
- Prey selection and feeding rate of sea stars *Asterias amurensis* and *Asterina pectinifera* on three bivalves
..... QI Zhanhui, WANG Jun, MAO Yuze, et al (4878)
- Habitat selection of Whooper Swan at Bayanbulak in Xinjiang of China DONG Chao, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (4885)
- The genetic structure of endemic plant *Pteroceltis tatarinowii* by ISSR markers
..... LI Xiaohong, ZHANG Hui, WANG Deyuan, et al (4892)
- Genetic analysis of salt tolerance of F₁ progenies between chrysanthemum and the intergeneric hybrid of chrysanthemum and
crossostephium XU Lili, CHEN Fadi, CHEN Sumei, et al (4902)
- Indicative effect of the anatomical structure of plant photosynthetic organ on WUE in desert region
..... ZHANG Haina, SU Peixi, LI Shanjia, et al (4909)
- Effects of water on photosynthesis in different age of tomato leaves CHEN Kaili, LI Jianming, HE Huiqiang, et al (4919)
- Photosynthesis-nitrogen relationship in evergreen and deciduous tree species at different altitudes on Mao'er Mountain, Guangxi
..... BAI Kundong, JIANG Debing, WAN Xianchong (4930)
- Effect of fertilization on the dynamic of soil N₂O fluxes in Chinese chestnut stands
..... ZHANG Jiaojiao, LI Yongfu, JIANG Peikun, et al (4939)
- Effects of long-term fertilization on aggregate dynamics and organic carbon and total nitrogen contents in a reddish paddy soil
..... LIU Xiyu, WANG Zhongqiang, ZHANG Xinyu, et al (4949)

Population, Community and Ecosystem

- Carbon storage of natural wetland ecosystem in Daxing'anling of China MU Changcheng, WANG Biao, LU Huicui, et al (4956)
- Monitoring the riparian vegetation cover after the Wenchuan earthquake along the Minjiang River valley based on multi-temporal
Landsat TM images; a case study of the Yingxiu-Wenchuan section XU Jiceng, TANG Bin, LU Tao (4966)
- A dynamic analysis of spatial distribution pattern of *Larix gmelinii* natural forest in Pangu farm under varying intensity of fire
disturbance NI Baolong, LIU Zhaogang (4975)
- Structure of macrozoobenthos in lakes along the Yangtze River and relationships with environmental characteristics
..... CAI Yongjiu, JIANG Jiahu, ZHANG Lu, et al (4985)
- The research on the age structure and sex ratio of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (5000)
- Mathematical model of insect Logistic increasing and economic threshold based on sex pheromone trap
..... ZHAO Zhiguo, RONG Erhua, ZHAO Zhihong, et al (5008)
- Community composition and phototaxis of insects in tea plantations in Southern Jiangshu Province during late fall
..... ZHENG Yingcha, NIU Yuqun, CUI Guiling, et al (5017)
- Effect of agricultural land use types on soil mite communities in north China
..... HAN Xuemei, LI Dandan, LIANG Zian, et al (5026)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Exploring the space syntax under negative planning; a case study of landscape connectivity based on the behaviors of avian edge
species YANG Tianxiang, ZHANG Weiqian, FAN Zhengqiu, et al (5035)
- Temporal-spatial variation of heterotrophic respiration in alpine area of southwestern China
..... ZHANG Yuandong, PANG Rui, GU Fengxue, et al (5047)

- Variability of soil organic matter and its main factors in Jiangsu Province ZHAO Mingsong, ZHANG Ganlin, LI Decheng, et al (5058)
- Spatial distribution and change of vegetation carbon in Northwest Guangxi, China on the basis of vegetation inventory data ZHANG Mingyang, LUO Weijian, LIU Huiyu, et al (5067)
- Resource and Industrial Ecology**
- Urban metabolism process based on emergy synthesis; a case study of Beijing LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (5078)
- Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model and matter element analysis ZHANG Rui, ZHENG Huawei, LIU Youzhao (5090)
- The effect of super absorbent polymer on the growth and nutrition absorption of *Festuca arundinacea* L. on an improved gangue matrix ZHAO Zhifeng, WANG Dongmei, ZHAO Tingning (5101)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- The effect of distance on the ecological conservation value; a case study of Sanjiang Plain Wetland AO Changlin, CHEN Jinting, JIAO Yang, et al (5109)
- Research Notes**
- Scaling effect on spatial variation of soil organic carbon in mountainous areas of Guangdong Province JIANG Chun, WU Zhifeng, QIAN Lexiang, et al (5118)
- The changes of hair length and pelage thermal insulation in captive female squirrel, *Sciurus vulgarize manchuricus*, during autumn molting period JING Pu, ZHANG Wei, HUA Yan, et al (5126)

《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 王克林 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)

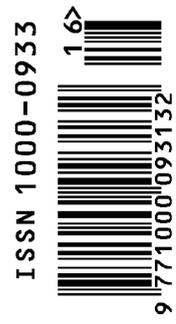
第33卷 第16期 (2013年8月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 16 (August, 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@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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	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