

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

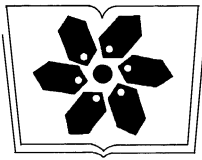
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第21期 Vol.31 No.21 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 31 卷 第 21 期 2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

基于景观格局理论和理想风水模式的藏族乡土聚落景观空间解析——以甘肃省迭部县扎尕那村落为例·····	史利莎,严力蛟,黄璐,等 (6305)
武夷山风景名胜区景观生态安全度时空分异规律·····	游巍斌,何东进,巫丽芸,等 (6317)
旅游地道路生态持续性评价——以云南省玉龙县为例·····	蒋依依 (6328)
城市空间形态紧凑度模型构建方法研究·····	赵景柱,宋瑜,石龙宇,等 (6338)
丹顶鹤多尺度生境选择机制——以黄河三角洲自然保护区为例·····	曹铭昌,刘高焕,徐海根 (6344)
西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征·····	凡非得,王克林,熊鹰,等 (6353)
流域尺度海量生态环境数据建库关键技术——以塔里木河流域为例·····	高凡,闫正龙,黄强 (6363)
雌雄异株植物鼠李的生殖分配·····	王娟,张春雨,赵秀海,等 (6371)
长白山北坡不同年龄红松年表及其对气候的响应·····	王晓明,赵秀海,高露双,等 (6378)
不同高寒退化草地阿尔泰针茅种群的小尺度点格局·····	赵成章,任珩,盛亚萍,等 (6388)
残存银杏群落的结构及种群更新特征·····	杨永川,穆建平, TANG Cindy Q, 等 (6396)
濒危植物安徽羽叶报春两种花型的繁育特性及其适应进化·····	邵剑文,张文娟,张小平 (6410)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林的乔木叶片功能性状特征·····	罗璐,申国珍,谢宗强,等 (6420)
不同植被恢复模式下煤矸石山复垦土壤性质及煤矸石风化物的变化特征·····	王丽艳,韩有志,张成梁,等 (6429)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林分的影响·····	张喜,崔迎春,朱军,等 (6442)
内蒙古高原锦鸡儿属植物的形态和生理生态适应性·····	马成仓,高玉葆,李清芳,等 (6451)
古尔班通古特沙漠西部梭梭种群退化原因的对比分析·····	司朗明,刘彤,刘斌,等 (6460)
白石砬子国家级自然保护区天然林的自然稀疏·····	周永斌,殷有,殷鸣放,等 (6469)
黑龙江省东完达山地区东北虎猎物种群现状及动态趋势·····	张常智,张明海 (6481)
基于 GIS 的马铃薯甲虫扩散与河流关系研究——以新疆沙湾县为例·····	李超,张智,郭文超,等 (6488)
2010 年广西兴安地区稻纵卷叶螟发生动态及迁飞轨迹分析·····	蒋春先,齐会会,孙明阳,等 (6495)
B 型烟粉虱对寄主转换的适应性·····	周福才,李传明,顾爱祥,等 (6505)
利用 PCR-DGGE 方法分析不同鸡群的盲肠微生物菌群结构变化·····	李永洙, Yongquan Cui (6513)
鸡粪改良铜尾矿对 3 种豆科植物生长及基质微生物量和酶活性的影响·····	张宏,沈章军,阳贵德,等 (6522)
铜绿微囊藻对紫外辐射的生理代谢响应·····	汪燕,李珊珊,李建宏,等 (6532)
10 种常见甲藻细胞体积与细胞碳、氮含量的关系·····	王燕,李瑞香,董双林,等 (6540)
冬季太湖表层底泥产毒蓝藻群落结构和种群丰度·····	李大命,孔繁翔,于洋,等 (6551)
城市机动车道颗粒物扩散对绿化隔离带空间结构的响应·····	蔺银鼎,武小刚,郝兴宇,等 (6561)
新疆城镇化与土地资源产出效益的空间分异及其协调性·····	杨宇,刘毅,董雯,等 (6568)
山东潍坊地下水硝酸盐污染现状及 $\delta^{15}\text{N}$ 溯源·····	徐春英,李玉中,李巧珍,等 (6579)
增温对宁夏引黄灌区春小麦生产的影响·····	肖国举,张强,张峰举,等 (6588)
一种估测小麦冠层氮含量的新高光谱指数·····	梁亮,杨敏华,邓凯东,等 (6594)
黄河上游灌区稻田 N_2O 排放特征·····	张惠,杨正礼,罗良国,等 (6606)
专论与综述	
植物源挥发性有机物对氮沉降响应研究展望·····	黄娟,莫江明,孔国辉,等 (6616)
植物种群更新限制——从种子生产到幼树建成·····	李宁,白冰,鲁长虎 (6624)
研究简报	
遮荫对两个基因型玉米叶片解剖结构及光合特性的影响·····	杜成凤,李潮海,刘天学,等 (6633)
学术信息与动态	
科学、系统与可持续性——第六届工业生态学国际大会述评·····	石海佳,梁赛,王震,等 (6641)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 340 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2011-11	



封面图说: 鹤立——丹顶鹤是世界 15 种鹤数量极小的一种,主要栖息在沼泽、浅滩、芦苇塘等湿地,以捕食小鱼虾、昆虫、蛙蚺、软体动物为主,也吃植物的根茎、种子、嫩芽。善于奔驰飞翔,喜欢结群生活。丹顶鹤属迁徙鸟类,主要在我国的黑龙江、吉林、俄罗斯西伯利亚东部、朝鲜北部以及日本等地繁殖。在长江下游一带越冬。在中国文化中有“仙鹤”之说。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录,濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。

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

罗璐, 申国珍, 谢宗强, 喻杰. 神农架海拔梯度上 4 种典型森林的乔木叶片功能性状特征. 生态学报, 2011, 31 (21): 6420-6428.

Luo L, Shen G Z, Xie Z Q, Yu J. Leaf functional traits of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (21): 6420-6428.

神农架海拔梯度上 4 种典型森林的 乔木叶片功能性状特征

罗 璐^{1,2,3}, 申国珍^{1,3}, 谢宗强^{1,3,*}, 喻 杰⁴

(1. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 湖北神农架森林生态系统国家野外科学观测研究站, 兴山 443700; 4. 湖北神农架国家级自然保护区管理局, 木鱼 442421)

摘要: 研究植物群落叶片功能性状沿环境梯度的变化可以更好地认识群落对环境的适应机制, 海拔梯度在较小的空间范围内浓缩了不同的群落类型和环境梯度, 是研究和理解群落与环境关系的理想场所。以神农架海拔梯度上 4 种典型森林为研究对象, 分析了 4 种典型森林优势乔木树种的 LMA、LDMC、 N_{area} 、 N_{mass} 、叶片厚度及叶片叶绿素含量等主要叶片功能性状随海拔的变化规律及各功能性状之间的相关性, 以期从叶片功能性状角度揭示群落适应环境的机制。研究表明: 在 780—1970 m 范围内, 神农架海拔梯度上典型森林乔木优势种叶片的 N_{area} 和叶片厚度随海拔升高而下降, 而海拔 2570 m 的亚高山针叶林的 LMA、 N_{area} 和叶片厚度最高, 分别为 187.37 g/cm²、1.92 g/m² 和 385.31 μ m, 且针叶林的 LMA 是常绿阔叶林的 2 倍、落叶阔叶林的 3.7 倍; 除常绿落叶阔叶混交林的 N_{mass} 小于落叶阔叶林外, N_{mass} 随海拔升高 (780—2570 m) 而下降; 海拔最高 (2570 m) 的针叶林和海拔最低 (780 m) 的常绿阔叶林的 LDMC 和叶绿素含量最高, 分别为 454.93 g/kg、407.64 g/kg 和 48.84、44.12; 而海拔介于二者之间的常绿落叶阔叶混交林和落叶阔叶林的 LDMC 和叶绿素含量则最低, 分别为 338.93 g/kg、337.3 g/kg 和 38.73、38.19。叶片各功能性状之间存在着显著的相关性: 叶片厚度与 LMA/LDMC 及 LMA 显著正相关。叶片叶绿素含量与 N_{area} 显著正相关。LMA 与 LDMC、 N_{area} 、叶片厚度、叶绿素含量显著正相关, LDMC 与 N_{area} 、叶绿素含量、叶片厚度显著正相关, N_{area} 与叶片厚度、叶绿素含量显著正相关, 叶片厚度、叶绿素含量显著正相关。本研究进一步表明, 随着海拔梯度上升环境条件的变化, 森林群落不同物种功能性状间的相互作用共同决定着森林群落对环境的适应性。

关键词: 海拔梯度; 叶绿素含量; 叶干物质含量 (LDMC); 比叶重 (LMA); 叶厚 (LT); 单位面积氮含量 (N_{area}); 单位质量氮含量 (N_{mass})

Leaf functional traits of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia

LUO Lu^{1,2,3}, SHEN Guozhen^{1,3}, XIE Zongqiang^{1,3,*}, YU Jie⁴

1 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 National Field Station for Forest Ecosystem in Shennongjia, Hubei, Xingshan 443700, China

4 Bureau of Shennongjia National Nature Reserve, Shennongjia, Muyu 442421, China

Abstract: Exploring the variation of leaf functional traits of plant community along environmental gradient can help us get a better understanding of the adaptive mechanism of the plant communities' response to environment. Altitudinal gradients could be used as powerful naturally formed experiments for testing ecological response of forest community to environment. Four typical types of forests along altitudinal gradients were investigated to analyze the variations of chlorophyll content, leaf

基金项目: 国家自然科学基金 (30870416); 国家 973 课题 (2010CB951301); 植被与环境变化国家重点实验室项目“成熟林的重要功能过程对环境变化响应联网研究”

收稿日期: 2010-11-23; 修订日期: 2011-07-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xie@ibcas.ac.cn

dry mass content, leaf mass per area, leaf thickness, nitric concentration per unit area, nitric concentration per unit mass and their correlations in Mt. Shennongjia. Based on the analysis, we tried to reveal the adaptive mechanism of plant communities' response to environment. The results shown that leaf functional traits including LMA, N_{mass} and leaf thickness declined with the increase of altitude in the altitude ranging from 780m to 1970m. While LMA, N_{mass} and leaf thickness content of sub-alpine coniferous forest (2570 m) reached the maximum with $187.37\text{g}/\text{cm}^2$, $1.92\text{g}/\text{m}^2$ and $285.31\mu\text{m}$, respectively. LMA of sub-alpine coniferous forests was twice as much as that of evergreen deciduous broad-leaved forests, 3.7 times as much as deciduous broad-leaved forests. N_{mass} declined with the increase of altitude (780—2570 m) except the N_{mass} of mixed evergreen and deciduous broad-leaved forests which was less than that of deciduous broad-leaved forests. The maximum chlorophyll content of sub-alpine coniferous forests (2570 m) and evergreen broad-leaved forests (780 m) were 48.84 and 44.12, and the maximum of LDMA were $454.93\text{g}/\text{kg}$ and $407.64\text{g}/\text{kg}$ for the same forests. Chlorophyll content and LDMA for Mixed evergreen and deciduous broad-leaved forests and deciduous broad-leaved forests in which the altitudes are between sub-alpine coniferous forests and evergreen broad-leaved forests had minimum chlorophyll content of 38.73 and 38.19, and LDMA of $338.93\text{g}/\text{kg}$ and $337.3\text{g}/\text{kg}$. There existed significant correlation among the leaf functional traits. The results shown that there was significant positive correlation between leaf thickness and LMA/LDMC; leaf thickness positively correlated with LMA, while there was no significant correlation between leaf thickness and LDMC. Chlorophyll content significantly positively correlated with N_{area} while there was no significant correlation between chlorophyll content and N_{mass} . LMA significantly positively correlated with LDMC, N_{area} , leaf thickness and chlorophyll content; LDMC significantly positively correlated with N_{area} , chlorophyll content and leaf thickness; N_{area} significantly positively correlated with leaf thickness and chlorophyll content; leaf thickness significantly positively correlated with chlorophyll content. The results strongly demonstrated that single species' response to the environmental change could not reveal how the forests responded to the environment. All species in a certain type of forests and their interaction of plant functional traits among species in the forests determined the mechanism of its response to environment with the environmental changes along altitudinal gradients.

Key Words: altitudinal gradient; chlorophyll content; leaf dry mass content; leaf mass per area; leaf thickness; nitric concentration per unit area; nitric concentration per unit mass

叶片是植物与环境接触面积最大的器官,其特性的变化是对特定环境的适应性表现。叶片特性在植物碳同化、水分关系和能量平衡方面有重要作用^[1]。叶片功能性状是植物功能性状的重要组成部分,与植株生物量、生长策略和资源的获取、利用密切相关,反应了植物适应环境变化的生存对策^[2],决定着群落的结构和生态系统的功能^[3-4]。

研究植物叶片功能性状沿环境梯度的变化可以更好地认识植物对环境的适应机制。海拔在较小的空间范围内浓缩了不同的环境类型,各种环境因子在海拔梯度上表现出梯度性变化。气温、气压、 CO_2 浓度等环境因子随海拔升高而降低,而光照强度则随海拔升高而增加,这为研究植物及其群落对环境的响应提供了很好的场所^[5]。

比叶重(LMA)、叶干物质含量(LDMC)、叶片氮含量、叶片厚度及叶片叶绿素含量是主要的叶片功能性状^[6],这些性状特征及其之间的关系可提供植物资源利用策略^[7-8]和植物对异质环境的适应^[9]等重要信息。研究显示,随海拔升高,许多植物叶面积(LA)减小,但也有增大和先增大后减小的现象^[10]。叶绿素和氮元素是植物光合器官的重要物质组分,对光合作用具有重要作用。研究发现,叶绿素含量(ChlC)随海拔升高呈下降趋势^[11],但有的变化不明显^[12]。叶片养分含量有两种表示方式,即单位叶面积的养分含量和单位干重的养分含量,如比叶重(LMA)和叶干物质含量(LDMC)。很多植物基于单位叶面积的氮含量(N_{area})与海拔成正相关^[13],有些针叶植物却基本保持不变^[14],而有的则随海拔升高而降低^[15]。基于单位叶干重的氮含量

(N_{mass}) 沿海拔梯度的变化趋势同样具有多样性^[5]。

目前,对植物叶片功能性状的研究大多集中于从物种和功能群水平揭示单个物种对环境的响应机制^[6,16-17],而群落水平的研究则相对较少^[2]。海拔梯度在较小的空间范围内浓缩了不同的群落类型和环境梯度,是研究和理解群落与环境关系的理想场所^[5]。本研究以神农架海拔梯度上 4 种典型森林——常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林及亚高山针叶林为研究对象,在野外调查的基础上,选择比叶重(LMA)、叶干物质含量、叶厚度、单位面积氮含量和单位质量氮含量等指标,研究海拔梯度上 4 种典型森林优势乔木树种叶片功能性状特征是否有明显的海拔梯度变化规律? 如果有明显的变化规律,其变化的形式是否相同? 同时,这些叶片功能性状之间是否存在内在的关系?

1 研究方法

1.1 研究地点与试验样地概况

研究地点位于湖北神农架森林生态系统国家野外科学观测研究站(以下简称“神农架站”),地处我国鄂西地区,属大巴山脉东延之余脉,地理位置为 109°56′—110°58′E,31°15′—31°57′N。该区为我国中部山地与东部丘陵低山区的过渡地带,相对高差较大,最大相对高差达 2900 m 以上。气候为中亚热带向北亚热带的过渡带,年平均气温 10.6 °C,年降水量 1306.2—1722.0 mm。本研究的取样是海拔梯度上神农架站 2001 年建立的上 4 种森林类型的永久固定样地(每种类型 1 hm²)内完成的,各样地概况见表 1。

表 1 神农架海拔梯度上四种典型森林样地的立地状况

Table 1 Site characteristics of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, Hubei

森林类型 Forest types	海拔 Elevation /m	坡度 Slope	平均林龄 Average age /a	密度 Density /(株/hm ²)	平均胸径 DBH /cm	郁闭度 Canopy	土壤类型 Soil types
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	780	41.5	40	2000	7.90	0.85	山地黄壤
常绿落叶阔叶混交 Mixed evergreen and deciduous broad-leaved forest	1670	21	60	1600	13.34	0.80	山地黄棕壤
落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest	1970	19	90	1100	17.59	0.80	山地黄棕壤
亚高山针叶林 Sub-alpine coniferous forest	2570	22	150	800	24.82	0.80	山地暗棕壤

1.2 取样方法

计算每种森林类型中各乔木树种的重要值,重要值的计算公式为:重要值=(相对密度+相对优势度+相对频度)/300,选取优势树种(重要值>0.1)^[2]进行叶片采集。每个树种,选择成熟、生长良好且无病虫害的个体 5 株,取每株树冠外围、能最大程度接受阳光照射的叶片。每株取 20—30 片叶(叶片较小时可适当多采摘一些)(取样树种见表 2)。将采下的叶片放置于两片湿润的滤纸之间,装入自封袋内,并放入便携式小冰箱内,带回实验室测量各性状指标。

1.4 植物叶片功能性状测定

1.4.1 比叶重(leaf mass per area, LMA)和叶干物质含量(leaf dry matter content, LDMC)的测定方法

选择 5 片大小均匀的叶片,剪去叶柄后,用 CI-203 叶面积仪测量叶面积。针叶的叶面积采用扫描仪进行扫描后,用 Winfolia2007 计算得到。将叶片放入 65 °C 烘箱内烘干至恒重,用万分之一天平称重。 $LMA = \text{叶片干重(g)}/\text{叶面积(m}^2\text{)} = 1/\text{比叶面积(specific leaf area, SLA)}$ 。

选择 5 片大小均匀的叶片,剪去叶柄后,在 5 °C 的黑暗环境中储藏 12 h。取出后迅速用吸水纸吸去叶片表面的水分,称重(饱和鲜重)。然后将叶片放入 65 °C 烘箱内烘干至恒重,称重。 $LDMC = \text{叶片干重(g)}/\text{叶片饱和鲜重(kg)}$ 。

表 2 神农架海拔梯度上 4 种典型森林样地内的乔木树种

Table 2 Arbor species of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, Hubei

森林类型 Forest types	物种 Species
常绿阔叶林	宜昌楠 (<i>phoebe zhennan yichang</i>)、川钓樟 (<i>Lindera strychnifolia</i> var. <i>hemsleyana</i>)、竹叶楠 (<i>Phoebe faberi</i>)、异叶梁王茶 (<i>Nothopanax davidii</i>)、青冈 (<i>Cyclobalanopsis glauca</i> (Thunb.) Oerst.)、川桂 (<i>Cinnamomum wilsonii</i>)、朴树 (<i>Celtis tetrandra</i>)、桢楠 (<i>Phoebe zhennan</i>)、尾叶山茶 (<i>Camellia caudata</i>)、紫荆 (<i>Cercis chinensis</i> Bunge)、野樱桃 (<i>Prunus discadenia</i> Koebne)、铜钱树 (<i>Paliurus hemsleyanus</i> Rehd.)、山白树 (<i>Sinowilsonia henryi</i>)、冬青 (<i>Ilex purpurea</i> Hassk.)、异叶榕 (<i>Ficus heteromorpha</i>)、细叶青冈 (<i>Cyclobalanopsis gracilis</i>)、三尖杉 (<i>Cephalotaxus fortunei</i>)
常绿落叶阔叶混交林	巴东栎 (<i>Quercus engleriana</i>)、稠李 (<i>Padus wilsonii</i>)、粗枝山矾 (<i>Symplocos xylopyrena</i>)、大果花楸 (<i>Sorbus megalocarpa</i>)、短柄枹 (<i>Quercus glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>)、椴树 (<i>Tilia tuan</i>)、鹅耳枥 (<i>Carpinus viminea</i>)、粉白杜鹃 (<i>Rhododendron hypoglaucum</i>)、华中山柳 (<i>Clethra fargesii</i>)、尖果菱迷 (<i>Viburnum brachybotryum</i>)、交让木 (<i>Daphniphyllum macropodum</i>)、栎木 (<i>Bothrocaryum controversum</i>)、桤木 (<i>Eurya japonica</i>)、领春木 (<i>Euptelea pleiospermum</i>)、曼青冈 (<i>Cyclobalanopsis oxyodon</i>)、猫耳刺 (<i>Polystichum stimulans</i>)、泡花树 (<i>Meliosma cuneifolia</i>)、山梅花 (<i>Philadelphus incanus</i> Koehne)、石栎 (<i>Lithocarpus glabra</i>)、米心水青冈 (<i>Fagus engleriana</i>)、四照花 (<i>Cronus japonica</i> var. <i>chinensis</i>)
落叶阔叶林	糙皮桦 (<i>Betula utilis</i>)、稠李 (<i>Padus wilsonii</i>)、短柄枹 (<i>Quercus glandulifera</i> var. <i>brevipetiolata</i>)、鹅耳枥 (<i>Carpinus viminea</i>)、化香 (<i>Platycarya strobilacea</i>)、马桑 (<i>Coriaria sinica</i> Maxim.)、锐齿槲栎 (<i>Quercus aliena</i>)、石栎 (<i>Lithocarpus glabra</i>)、四照花 (<i>Cronus japonica</i> var. <i>chinensis</i>)、锥栗 (<i>Castanea henryi</i>)
亚高山针叶林	巴山冷杉 (<i>Abies sutchuenensis</i>)、杜鹃 (<i>Rhododendron simsii</i>)、野樱桃 (<i>Prunus discadenia</i> Koebne)、多齿长尾槭 (<i>Acer caudatum</i>)、红桦 (<i>Betula albo-sinensis</i>)

1.4.2 叶片氮含量测定方法

将叶片置于 105 ℃ 下杀青 10 min, 65 ℃ 下烘干至恒重。采用凯氏定氮法测定全氮含量。

1.4.3 叶厚度测定方法

选择 5 片大小均匀的叶片,用小刀割下靠近主脉但避开主脉和较大次级叶脉的叶片部位 3 份,利用精度为 0.02 mm 的游标卡尺测定叶片厚度,取其平均值。

1.4.4 叶绿素含量测定方法

叶绿素是绿色植物进行光合作用的基础物质,也是研究植物生长特性、生理变化和氮素营养状况的重要指标。目前,一般采用分光光度计法测定植物叶绿素绝对含量和用 SPAD 叶绿素仪测定其相对含量。分光光度计法操作繁琐,耗时太长;SPAD 叶绿素仪是由日本开发的测定植物叶绿素的便携式仪器,具有快速、便捷和无损测定对象的特点,常用于测定活体叶片叶绿素相对含量^[18-19]。大量研究表明,叶片叶绿素含量与叶绿素仪所测定的 SPAD 值有很好的的一致性^[18,20]。本研究采用 SPAD-502 叶绿素仪测定 5 片新鲜成熟叶片的叶绿素含量。

1.5 数据分析与处理

每种森林类型的功能性状值 T_c 为所有物种功能性状值与其重要值的加权和。

$$T_c = (1/s) \sum P_i T_i$$

式中, s 为样方内物种数量, P_i 为某物种重要值, T_i 为某物种功能性状值^[2,21-22]。

利用 Spss16.0 单因素方差分析法 (One-Way ANOVA) 比较分析不同森林类型功能性状之间的差异。动态曲线及相关图形用 Sigmaplot 和 Microsoft Excel 2003 软件绘制。

2 结果与分析

2.1 森林类型间叶片功能性状比较

对神农架海拔梯度上 4 种典型森林类型的植物叶片 LMA、叶片厚度和 N_{area} 的分析表明:随海拔从 780 m 上升到 1970 m,群落的 LMA、叶片厚度和 N_{area} 呈下降趋势,即常绿阔叶林>常绿落叶阔叶混交林>落叶阔叶林,而位于海拔 2570 m 的亚高山针叶林的 LMA、叶片厚度和 N_{area} 则最高,分别为 187.37 g/cm²、385.31 μm 和 1.92 g/m²;其中,4 种森林类型 LMA 值差异显著 ($P<0.05$),针叶林的 LMA 值是常绿阔叶林的 2 倍,是落叶阔叶林的 3.7 倍(图 1);亚高山针叶林与常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林的 N_{area} 差异显著(图 1)。

除常绿落叶阔叶混交林的 N_{mass} 小于落叶阔叶林外,随海拔从 780 m 到 2570 m 的升高, N_{mass} 呈下降趋势,即常绿阔叶林>落叶阔叶林>亚高山针叶林,且 4 种森林类型 N_{mass} 值差异显著(图 1)。

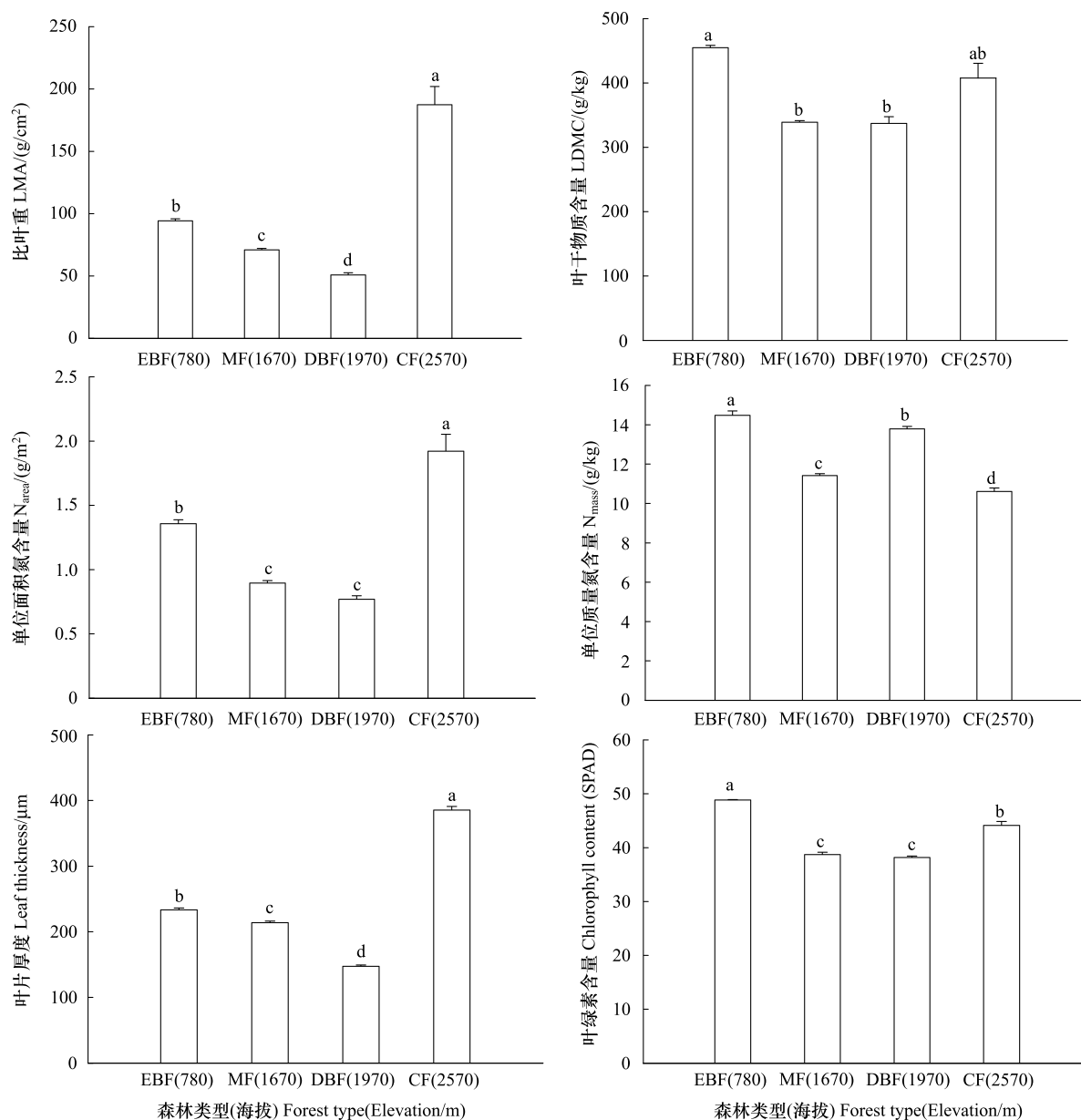


图 1 神农架海拔梯度上 4 种典型森林类型植物叶片功能性状值的变化趋势

Fig. 1 Plant leaf functional traits along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, Hubei

X 轴: 森林类型和海拔高度 (括号内) (m); EBF 代表常绿阔叶林, MF 代表常绿落叶阔叶混交林, DBF 代表落叶阔叶林, CF 代表亚高山针叶林; Y 轴: 功能性状值; 表中字母表示不同森林类型间存在着差异 ($P < 0.05$); 误差棒为标准误差

在海拔梯度上, 海拔最高的针叶林和海拔最低的常绿阔叶林的叶绿素含量和 LDMC, 分别为 48.84、44.12 g/kg 和 454.93、407.64 g/kg; 而海拔介于二者之间的常绿落叶阔叶混交林和落叶阔叶林的叶绿素含量和 LDMC 最低, 分别为 38.73、38.19 g/kg 和 338.93、337.3 g/kg; 且常绿落叶阔叶混交林的叶绿素含量和 LDMC 与落叶阔叶林的叶绿素含量和 LDMC 之间无显著差异(图 1)。

而叶片的 N_{mass} 随海拔升高而下降, 只是在海拔 1970 m 的落叶阔叶林有所异常, 高于常绿阔叶林与亚高山针叶林(图 1)。

2.2 海拔梯度上叶片性状之间的相关性

2.2.1 各个叶片性状之间的相关性

对神农架海拔梯度上 4 种典型森林类型乔木叶片功能性状的相关分析(表 3)表明:LMA 与 LDMC、叶绿素含量显著正相关($P<0.05$)。LMA 与 N_{area} 、叶片厚度极显著正相关($P<0.01$),与 N_{mass} 显著负相关($P<0.01$)。LDMC 与 N_{area} 、叶绿素含量极显著正相关($P<0.01$),与叶片厚度呈显著正相关($P<0.05$)。 N_{area} 与叶片厚度、叶绿素含量在 $P<0.01$ 水平上显著正相关。 N_{mass} 与叶片厚度在 $P<0.01$ 水平上显著负相关。叶片厚度与叶绿素含量在 $P<0.05$ 水平呈显著正相关。

表 3 神农架海拔梯度上 4 种典型森林乔木叶片功能性状的相关性

Table 3 Pearson correlation Coefficients among leaf functional traits

	比叶重 LMA	叶干物质含量 LDMC	单位面积氮含量 N_{area}	单位质量氮含量 N_{mass}	叶片厚度 Leaf thickness
叶干物质含量 LDMC	0.550 *				
单位面积氮含量 N_{area}	0.970 **	0.708 **			
单位质量氮含量 N_{mass}	-0.599 **	0.209	-0.411		
叶片厚度 Leaf thickness	0.963 **	0.452 *	0.923 **	-0.667 **	
叶绿素含量(SPAD)	0.464 *	0.891 **	0.635 **	0.265	0.449 *

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

2.2.2 叶厚与 LMA 和 LDMC 的关系

研究结果表明(图 2):叶片厚度与 LMA/LDMC 呈显著的正相关($r=0.979$, $P<0.01$)。叶片厚度与 LMA 也存在着显著的相关性($r=0.963$, $P<0.01$),而与 LDMC 也有相关关系($r=0.452$, $P<0.05$);由此可见,叶厚度与 LMA/LDMC 较 LMA 和 LDMC 的关系更紧密。

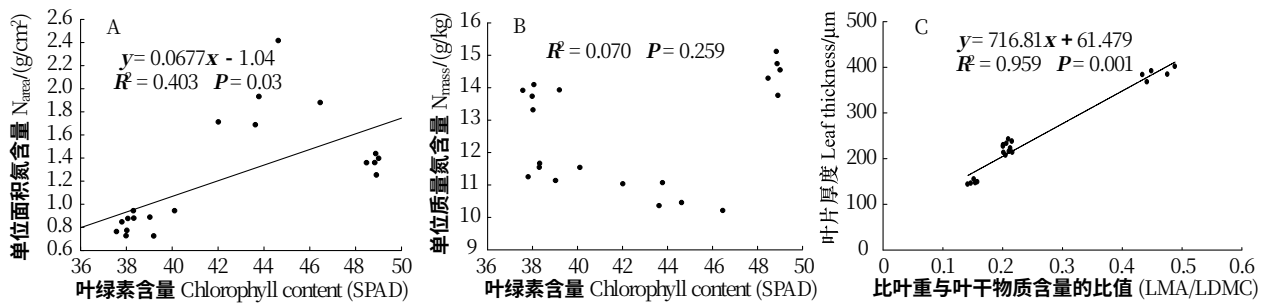


图 2 叶厚与 LMA、LDMC 的关系图

Fig. 2 The relationships between leaf thickness and LMA, LDMC

图 2 中(A)、(B)、(C)分别表示 LMA、LDMC、LMA/LDMC 比率与叶片厚度进行线性拟合后的曲线图以及其相应的方程式

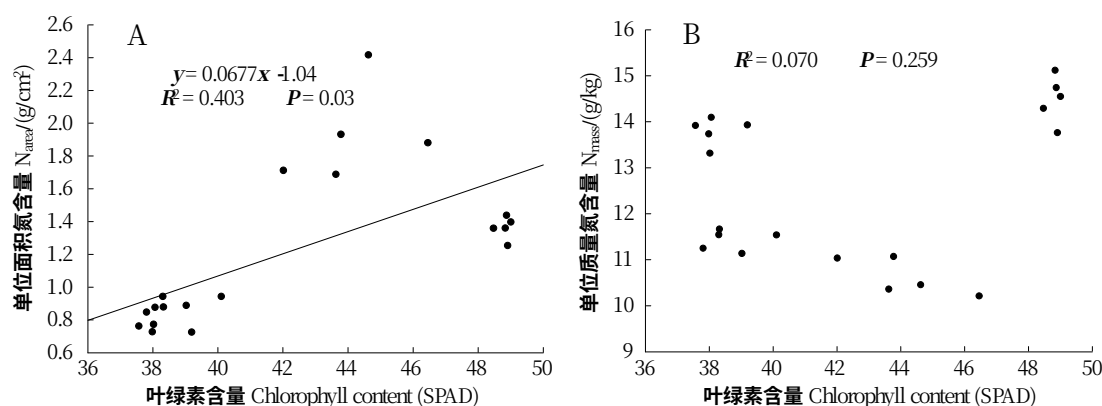
2.2.3 氮含量与叶绿素含量的关系

研究表明,神农架海拔梯度上 4 种典型森林乔木树种叶绿素含量与 N_{area} 成显著正相关($r=0.635$, $P<0.01$),而与 N_{mass} 之间没有相关性($r=0.265$, $P>0.05$)(图 3、表 3)。

3 讨论

3.1 功能性状随垂直地带性森林类型的变化趋势

海拔梯度上 4 种典型森林乔木叶片功能性状的变化是生物因素(物种组成)和非生物因素(气候等)综合作用的结果。本研究发现:神农架海拔梯度上亚高山针叶林的 LMA 最高,而对落叶阔叶林而言,LMA 随海拔升高而降低。这是因为随着海拔的升高,森林中落叶树种组成比例增加,而落叶树种的 LMA 及叶片寿命均小于常绿树种^[17,23-25]。这与全球范围内不同山系研究的单一物种的 LMA 随海拔上升而增大^[23-24]的研究结果不同。

图3 N_{area} 和 N_{mass} 与叶绿素含量的关系图Fig. 3 The relationships between leaf nitrogen content, such as N_{area} and N_{mass} , with the chlorophyll content(A) 表示 N_{area} 与叶绿素含量之间相关关系; (B) 表示 N_{mass} 与叶绿素含量之间关系

LDMC 和叶片厚度沿海拔上升的变化也呈现出与 LMA 相类似的变化规律,即随海拔增高,森林组成中常绿树种逐渐减少,而落叶树种逐渐增多,阔叶林 LDMC 随海拔升高而降低。亚高山针叶林的 LDMC 最高,因为低温胁迫下植物将获得的资源主要用于资源的保存,因而具有较高的 LMA 和 LDMC^[26]。 N_{area} 与 LMA 的变化趋势一致,与 N_{mass} 变化趋势存在显著差异(图 1)。

3.2 海拔梯度上叶片性状之间的关系及其对群落与环境关系的影响

植物功能性状之间相互作用,共同决定着群落对环境的适应性^[3-4]。LMA 与 LDMC 在一定程度上反应了植物对外界资源的利用能力^[27],同时也反应了植物对生境的适应性特征^[28]。LDMC 和 LMA 较低的植物,它们对资源的利用效率和保存能力较差,但是具有较高的生产力。一般研究认为 LMA 与 LDMC 成正相关^[29-30],在本研究得到了相似的结论(表 3)。LMA 和 N_{mass} 影响植物叶片的寿命, N_{mass} 低、LMA 高,其叶片寿命较长。

氮是合成叶绿素和光合作用酶的重要组分,氮缺乏容易导致叶绿素含量降低^[31-32]。Reich 对美国 6 个不同生物区系的 100 多个物种的研究发现, N_{mass} 与单位质量叶片的光合速率成正相关^[33]。刘福德^[34]等对海南岛热带山地雨林幼树的光合效率与叶氮含量相关关系的研究也发现; N_{mass} 与单位质量叶片的光合速率成正相关,而与单位面积的光合作用无明显关系。本研究发现, N_{mass} 与叶绿素含量无显著的相关关系,而与 N_{area} 存在着显著的相关关系。可能是因为 $N_{area} = N_{mass} \times LMA$,即叶片的结构和 N 含量同时影响着光合速率^[30-31]。同时, N_{area} 与 LMA 和 LDMC 成显著正相关($r^2 = 0.970$, $P < 0.01$; $r^2 = 0.708$, $P < 0.01$ 表 3),这与 Wright 对全球 2000 多种维管植物的研究结果相同^[35]。 N_{area} 与 LMA 和 LDMC 正相关关系表明 LDMC 和 LMA 低的植物,其叶片 N_{area} 较低(表 2)。

叶片厚度在植物生长方面扮演着重要角色,其与植物获取资源、利用资源的策略都极其相关^[29,36],研究表明,叶片厚度和 LMA 及 LDMC 存在着某种关系。本研究发现,叶片厚度与 LMA 和 LDMC 显著正相关($r^2 = 0.963$, $P < 0.001$; $r^2 = 0.452$, $P < 0.05$, 表 3)。由于叶片厚度与 LMA 正相关,大多数研究把 LMA 的变化归因于叶片厚度的变化^[37-40]。但是 Niinemets 认为 LMA 是阔叶树种叶片密度和叶片厚度的重要组成部分,是影响针叶树种叶片密度、体积与表面积比值的重要因素^[30]。LMA 和叶片厚度之间没有必然的相关关系,LMA、叶片厚度和叶片密度的变化可能是由不同的环境因子在控制^[41]。

海拔升高,大气 CO_2 浓度和温度下降。随 CO_2 浓度及气温的变化,植物叶片的叶氮含量、LMA、LDMC 等性状将发生明显变化。 CO_2 浓度升高,植物叶氮含量、LMA 降低^[42],这是因为 CO_2 是植物进行光合作用必不可少的组分,其浓度的升高促进了植物的光合作用,提高了植物的生长速率,而生长速率较高的植物其单位面积

内的干物质含量较低^[26]。这与海拔梯度上 LMA 和 N_{area} 的变化趋于一致,因此可部分解释随海拔梯度的升高 LMA 和 N_{area} 下降。

通过对神农架海拔梯度上四种典型森林优势乔木树种的 LMA、LDMC、叶厚度、 N_{area} 和 N_{mass} 等主要叶片功能性状随海拔梯度的变化特征及其相关性分析,发现神农架海拔梯度在较小的空间范围内浓缩了不同的群落类型和环境梯度,是研究和理解森林群落与环境关系的理想场所。随着海拔梯度上环境条件的变化,群落通过调节自身的物种组成形成不同的功能性状组合来适应环境。

References:

- [1] 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.
- [2] Bao L, Liu Y H. Comparison of leaf functional traits in different forest communities in Mt. Dongling of Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3692-3703.
- [3] Chown S L, Gaston K J, Robinson D. Macrophysiology: large-scale patterns in physiological traits and their ecological implications. *Functional Ecology*, 2004, 18(2): 159-167.
- [4] Diaz S, Hodgson J G, Thompson K, Cabido M, Cornelissen J H C, Jalili A, Montserrat-Marti G, Grime J P, Zarrinkamar F, Asri Y, Band S R, Basconcelo S, Castro-Díez P, Funes G, Hamzehee B, Khoshnevi M, Pérez-Harguindeguy N, Pérez-Rontomé M C, Shirvany F A, Vendramini F, Yazdani S, Abbas-Azimi R, Bogaard A, Boustani S, Charles M, Dehghan M, de Torres-Espuny L, Falczuk V, Guerrero-Campo J, Hynd A, Jones G, Kowsary E, Kazemi-Saeed F, Maestro-Martínez M, Romo-Díez A, Shaw S, Siavash B, Villar-Salvador P, Zak M R. The plant traits that drive ecosystems: evidence from three continents. *Journal of Vegetation Science*, 2004, 15(3): 295-304.
- [5] Malhi Y, Silman M, Salinas N, Bush M, Meir P, Saatchi S. Introduction: Elevation gradients in the tropics: laboratories for ecosystem ecology and global change research. *Global Change Biology*, 2010, 16(12): 3171-3175.
- [6] Reich P B, Uhl C, Walters M B, Ellsworth D S. Leaf lifespan as a determinant of leaf structure and function among 23 amazonian tree species. *Oecologia*, 1991, 86(1): 16-24.
- [7] Wilson P J, Thompson K, Hodgson J G. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist*, 1999, 143(1): 155-162.
- [8] Vendramini F, Díaz S, Gurvich D E, Wilson P J, Thompson K, Hodgson J G. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in floras with succulent species. *New Phytologist*, 2002, 154(1): 147-157.
- [9] Klich M G. Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. *Environmental and Experimental Botany*, 2000, 44(3): 171-183.
- [10] Lbrija-Trejos E, Pérez-García E A, Meave J A, Bongers F, Poorter L. Functional traits and environmental filtering drive community assembly in a species-rich tropical system. *Ecology*, 2010, 91(2): 386-398.
- [11] Han F, Ben G Y, Shi S B. Comparative study on the resistance of *Kobresia humilis* grown at different altitudes in Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Ecologica Sinica* 1998, 18(6): 654-659.
- [12] 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.
- [13] Luo T X, Pan Y D, Ouyang H, Shi P L, Luo J, Yu Z L, Lou Q. Leaf area index and net primary productivity along subtropical to alpine gradients in the Tibetan Plateau. *Global Ecology and Biogeography*, 2004, 13(4): 345-358.
- [14] Hultine K R, Marshall J D. Altitude trends in conifer leaf morphology and stable carbon isotope composition. *Oecologia*, 2000, 123(1): 32-40.
- [15] Zhang J W, Cregg B M. Growth and physiological responses to varied environments among populations of *Pinus ponderosa*. *Forest Ecology and Management*, 2005, 219(1): 1-12.
- [16] Wright I J, Reich P B, Cornelissen J H C, Falster D S, Garnier E, Hilosaka K, Lamont B B, Lee W, Olekasy J, Osada N, Poorter H, Villar R, Warton D I, Westoby M. Assessing the generality of global leaf trait relationships. *New Phytologist*, 2005, 166(2): 485-496.
- [17] He J S, Wang Z H, Wang X P, Schmid B, Zuo W Y, Zhou M, Zheng C Y, Wang M F, Fang J Y. A test of the generality of leaf trait relationships on the Tibetan Plateau. *New Phytologist*, 2006, 170(4): 835-848.
- [18] Costa C, Dwyer L M, Dutilleul P, Stewart D W, Luo B, Smith D L. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. *Journal of Plant Nutrient*, 2001, 24(8): 1173-1194.
- [19] Xue X, Wu Y E. Chlorophyll content determination and its relationship with SPAD value in wheat. *Hubei Agricultural Sciences*, 2010, 49(11): 2701-2751.
- [20] Zhou J, Wang W F, Wang J, Cao J H, Cai M D. The changes and relationship of leaf SPAD value, N nutrition and agronomic traits in leaves of rubber tree seedlings under low-N stress. *Subtropical Plant Science*, 2010, 39(1): 29-33.
- [21] Garnier E, Cortez J, Billès G, Navas M L, Roumet C, Debussche M, Laurent G, Blanchard A, Aubry D, Bellmann A, Neill C, Toussaint J P. Plant functional makers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology*, 2004, 85(9): 2630-2637.

- [22] Klumpp K, Soussana J F. Using functional traits to predict grassland ecosystem change: a mathematical test of the response-and-effect trait approach. *Global Change Biology*, 2009, 15(12): 2921-2934.
- [23] Grubb PJ. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains: with special reference to mineral nutrition. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1997, 8: 83-107.
- [24] Woodward F I. The significance of interspecific differences in specific leaf area to the growth of selected herbaceous species from different altitudes. *New Phytologist*, 1983, 95(2): 313-323.
- [25] Altesor A, Pezzani F, Grun S, Rodríguez C. Relationship between spatial strategies and morphological attributes in Uruguayan grassland: a functional approach. *Journal of Vegetation Science*, 1999, 10(4): 457-462.
- [26] de Deyn G B, Cornelissen J H C, Bardgett R D. Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. *Ecology Letters*, 2008, 11(5): 516-531.
- [27] Wilson P J, Thompson K, Hodgson J G. Specific leaf area and leaf dry matter content and alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist*, 1999, 143(1): 155-162.
- [28] Niinemets Ü. Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. *Ecology*, 2001, 82(2): 453-469.
- [29] Vile D, Garnier É, Shipley B, Laurent G, Navas M L, Roumet C, Lavorel S, Díaz S, Hodgson J G, Lloret F, Midgley G F, Poorter H, Rutherford M C, Wilson P J, Wright I J. Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. *Annals of Botany*, 2005, 96(6): 1129-1136.
- [30] Niinemets Ü. Components of leaf dry mass per area-thickness and density-alter leaf photosynthetic capacity in reverse directions in woody plants. *New Phytologist*, 1999, 144(1): 35-47.
- [31] Field C, Mooney H A. The photosynthesis-nitrogen relationship in wild plants//Givnish T J, ed. *On the Economy of Plant Form and Function*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 25-55.
- [32] Evans J R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C_3 plant. *Oecologia*, 1989, 78(1): 9-19.
- [33] Reich P B, Ellsworth D S, Walters M B, Vose J M, Gresham C, Volin J C, Bowman W D. Generality of leaf trait relationships: a test across six biomes. *Ecology*, 1999, 80(6): 1955-1969.
- [34] Liu F D, Wang Z S, Zhang M, Wang W J, An S Q, Zheng J W, Yang W J, Zhang S T. Photosynthesis in relation to leaf nitrogen, phosphorus and specific leaf area of seedlings and saplings in tropical montane rain forest of Hainan Island, South China. *Acta Ecologica Sinica*, 27(11): 4651-4661.
- [35] Wright I J, Reich P B, Cornelissen J H C, Falster D S, Groom P K, Hikosaka K, Lee W, Lusk C H, Niinemets Ü, Oleksyn J, Osada N, Poorter 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.
- [36] Agustí S, Enríquez S, Frost-Christensen H, Sand-Jensen K, Duarte C M. Light harvesting among photosynthetic organisms. *Functional Ecology*, 1994, 8(2): 273-279.
- [37] Chabot B F, Jurik T W, Chabot J F. Influence of instantaneous and integrated light-flux density on leaf anatomy and photosynthesis. *American Journal of Botany*, 1979, 66(8): 940-945.
- [38] Sims D A, Pearcy R W. Response of leaf anatomy and photosynthetic capacity in *Alocasia macrorrhiza* (Araceae) to a transfer from low to high light. *American Journal of Botany*, 1992, 79(4): 449-455.
- [39] Chazdon R L, Kaufmann S. Plasticity of leaf anatomy of two rain-forest shrubs in relation to photosynthetic light acclimation. *Functional Ecology*, 1993, 7(4): 385-394.
- [40] Enríquez S, Duarte C M, Sand-Jensen K, Nielsen S L. Broad-scale comparison of photosynthetic rates across phototrophic organisms. *Oecologia*, 1996, 108(2): 197-206.
- [41] Witkowski E T F, Lamont B B. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. *Oecologia*, 1991, 88(4): 486-493.
- [42] Dormann C F, Woodin S J. Climate change in the Arctic: using plant functional types in a meta-analysis of field experiments. *Functional Ecology*, 2002, 16(1): 4-17.

参考文献:

- [2] 宝乐, 刘艳红. 东灵山地区不同森林群落叶功能性状比较. *生态学报*, 2009, 29(7): 3692-3703.
- [12] 祁建, 马克明, 张育新. 辽东栎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.
- [19] 薛香, 吴玉娥. 小麦叶片叶绿素含量测定及其与 SPAD 值的关系. *湖北农业科学*, 2010, 49(11): 2701-2751.
- [20] 周珺, 林位夫, 王军, 曹建华, 蔡明道. 低 N 胁迫下巴西橡胶实生苗叶片 SPAD 值、N 素营养及农艺性状的变化. *亚热带植物科学*, 2010, 39(1): 29-33.
- [34] 刘福德, 王中生, 张明, 王文进, 安树青, 郑建伟, 杨文杰, 张世挺. 海南岛热带山地雨林幼苗幼树光合与叶氮、叶磷及比叶面积的关系. *生态学报*, 27(11): 4651-4661.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 21 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Landscape spatial analysis of a traditional tibetan settlement based on landscape pattern theory and feng-shui theory; the case of Zhagana, Diebu, Gansu Province	SHI Lisha, YAN Lijiao, HUANG Lu, et al (6305)
Temporal-spatial differentiation and its change in the landscape ecological security of Wuyishan Scenery District	YOU Weibin, HE Dongjin, WU Liyun, et al (6317)
Evaluation of eco-sustainability of roads in a tourism area; a case study within Yulong County	JIANG Yiyi (6328)
Study on the compactness assessment model of urban spatial form	ZHAO Jingzhu, SONG Yu, SHI Longyu, et al (6338)
A multi-scale analysis of red-crowned crane's habitat selection at the Yellow River Delta Nature Reserve, Shandong, China	CAO Mingchang, LIU Gaohuan, XU Haigen (6344)
Assessment and spatial distribution of water and soil loss in karst regions, southwest China	FAN Feide, WANG Kelin, XIONG Ying, et al (6353)
Construction of an eco-environmental database for watershed-scale data; an example from the Tarim River Basin	GAO Fan, YAN Zhenglong, HUANG Qiang (6363)
Reproductive allocation in dioecious shrub, <i>Rhamnus davurica</i>	WANG Juan, ZHANG Chunyu, ZHAO Xiuhai, et al (6371)
Age-dependent growth responses of <i>Pinus koraiensis</i> to climate in the north slope of Changbai Mountain, North-Eastern China	WANG Xiaoming, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (6378)
Fine-scale spatial point patterns of <i>Stipa krylovii</i> population in different alpine degraded grasslands	ZHAO Chengzhang, REN Heng, SHENG Yaping, et al (6388)
Community structure and population regeneration in remnant <i>Ginkgo biloba</i> stands	YANG Yongchuan, MU Jianping, TANG Cindy Q., et al (6396)
Reproductive characteristics and adaptive evolution of pin and thrum flowers in endangered species, <i>Primula merrilliana</i>	SHAO Jianwen, ZHANG Wenjuan, ZHANG Xiaoping (6410)
Leaf functional traits of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia	LUO Lu, SHEN Guozhen, XIE Zongqiang, et al (6420)
Reclaimed soil properties and weathered gangue change characteristics under various vegetation types on gangue pile	WANG Liyan, HAN Youzhi, ZHANG Chengliang, et al (6429)
Influence of fire on stands of <i>Pinus massoniana</i> in a karst mountain area of central Guizhou province	ZHANG Xi, CHUI Yingchun, ZHU Jun, et al (6442)
Morphological and physiological adaptation of <i>Caragana</i> species in the Inner Mongolia Plateau	MA Chengcang, GAO Yubao, LI Qingfang, et al (6451)
A comparative study on reasons of degenerated of <i>Haloxylon ammodendron</i> population in the western part of Gurbantunggut desert	SI Langming, LIU Tong, LIU Bin, et al (6460)
Self-thinning of natural broadleaved forests in Baishilazi Nature Reserve ...	ZHOU Yongbin, YIN You, YIN Mingfang, et al (6469)
Population status and dynamic trends of Amur tiger's prey in Eastern Wandashan Mountain, Heilongjiang Province	ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai (6481)
The relationship between the occurrence of Colorado Potato Beetle, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , and rivers based on GIS: a case study of Shawan Country	LI Chao, ZHANG Zhi, GUO Wenchao, et al (6488)
Occurrence dynamics and trajectory analysis of <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> Guenée in Xing'an Guangxi Municipality in 2010	JIANG Chunxian, QI Huihui, SUN Mingyang, et al (6495)
Adaptability of B-biotype <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius) to Host Shift	ZHOU Fucui, LI Chuanming, GU Aixiang, et al (6505)
Structural change analysis of cecal bacterial flora in different poultry breeds using PCR-DGGE ...	LI Yongzhu, Yongquan Cui (6513)
Effect of chicken manure-amended copper mine tailings on growth of three leguminous species, soil microbial biomass and enzyme activities	ZHANG Hong, SHEN Zhangjun, YANG Guide, et al (6522)
Physiological response of <i>Microcystis</i> to solar UV radiation	WANG Yan, LI Shanshan, LI Jianhong, et al (6532)
Relationship between cell volume and cell carbon and cell nitrogen for ten common dinoflagellates	WANG Yan, LI Ruixiang, DONG Shuanglin, et al (6540)
The community structure and abundance of microcystin-producing cyanobacteria in surface sediment of Lake Taihu in winter	LI Daming, KONG Fanxiang, YU Yang, et al (6551)
Influence of green belt structure on the dispersion of particle pollutants in street canyons	LIN Yinding, WU Xiaogang, HAO Xingyu, et al (6561)
Spatio-temporal variation analysis of urbanization and land use benefit of oasis urban areas in Xinjiang	YANG Yu, LIU Yi, DONG Wen, et al (6568)
Nitrate contamination and source tracing from NO_3^- - $\delta^{15}\text{N}$ in groundwater in Weifang, Shandong Province	XU Chunying, LI Yuzhong, LI Qiaozhen, et al (6579)
The impact of rising temperature on spring wheat production in the Yellow River irrigation region of Ningxia	XIAO Guoju, ZHANG Qiang, ZHANG Fengju, et al (6588)
A new hyperspectral index for the estimation of nitrogen contents of wheat canopy	LIANG Liang, YANG Minhua, DENG Kaidong, et al (6594)
The feature of N_2O emission from a paddy field in irrigation area of the Yellow River	ZHANG Hui, YANG Zhengli, LUO Liangguo, et al (6606)
Review and Monograph	
Research perspective for the effects of nitrogen deposition on biogenic volatile organic compounds	HUANG Juan, MO Jiangming, KONG Guohui, et al (6616)
Recruitment limitation of plant population: from seed production to sapling establishment	LI Ning, BAI Bing, LU Changhu (6624)
Scientific Note	
Response of anatomical structure and photosynthetic characteristics to low light stress in leaves of different maize genotypes	DU Chengfeng, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (6633)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 21 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 21 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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 70.00 元