

中国百种杰出学术期刊  
中国精品科技期刊  
中国科协优秀期刊  
中国科学院优秀科技期刊  
新中国 60 年有影响力的期刊  
国家期刊奖

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

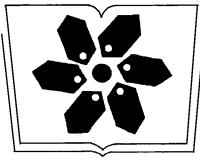
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 21 期  
Vol.30 No.21  
**2010**



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 30 卷 第 21 期 2010 年 11 月 (半月刊)

## 目 次

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应.....	李为争,付国需,王英慧,等 (5709)
西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势.....	李海东,沈渭寿,邹长新,等 (5716)
新疆沙湾冷泉沉积物的细菌系统发育多样性.....	曾 军,杨红梅,徐建华,等 (5728)
应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康.....	裴雪姣,牛翠娟,高 欣,等 (5736)
不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系.....	张慧文,马剑英,孙 伟,等 (5747)
滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果.....	徐华山,赵同谦,贺玉晓,等 (5759)
内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子.....	阳伏林,周广胜 (5769)
南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应.....	冯秋红,史作民,董莉莉,等 (5781)
伏牛山自然保护区物种多样性分布格局.....	卢训令,胡 楠,丁圣彦,等 (5790)
减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响 .....	陈宗瑜,钟 楚,王 毅,等 (5799)
川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化 .....	刘彦春,张远东,刘世荣,等 (5810)
三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系.....	王晓荣,程瑞梅,肖文发,等 (5821)
洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征.....	柏方敏,田大伦,方 晰,等 (5832)
择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响.....	蒋子涵,金光泽 (5843)
野鸭湖典型湿地植物光谱特征.....	刘 克,赵文吉,郭逍宇,等 (5853)
三种线性模型在杉木与马尾松地位指数相关关系研究中的比较.....	朱光玉,吕 勇,林 辉,等 (5862)
不同干扰类型下羊草种群的空间格局.....	陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等 (5868)
基于 SWAT 模型的祁连山区最佳水源涵养植被模式研究——以石羊河上游杂木河流域为例 .....	王军德,李元红,李赞堂,等 (5875)
2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析 .....	张志明,罗亲普,王文礼,等 (5886)
基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价 .....	高 杨,黄华梅,吴志峰 (5894)
海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较 .....	张小飞,王如松,李 锋,等 (5904)
同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估 .....	王 萱,陈伟琪,张璐平,等 (5914)
太阳辐射对玉米农田土壤呼吸作用的影响 .....	孙敬松,周广胜,韩广轩 (5925)
水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响.....	郭辉娟,贺学礼 (5933)
宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较.....	路海东,贾志宽,杨宝平,等 (5941)
节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响.....	李 影,陈明林 (5949)
自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化 .....	安宗胜,詹 婧,孙庆业 (5958)
硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响 .....	韩永强,刘 川,侯茂林 (5967)
饥饿对转基因鲤与野生鲤生长竞争和性腺发育的影响.....	刘春雷,常玉梅,梁利群,等 (5975)
<b>专论与综述</b>	
河流水质的景观组分阈值研究进展 .....	刘珍环,李 猷,彭 建 (5983)
<b>研究简报</b>	
长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响 .....	杨 兵,王进闯,张远彬 (5994)
环境因素对长额斗蟋翅型分化的影响 .....	曾 杨,朱道弘,赵吕权 (6001)

# 南北样带温带区栎属树种功能性状 对气象因子的响应

冯秋红, 史作民\*, 董莉莉, 刘世荣

(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)

**摘要:**在南北样带温带区选择11个栎属树种的核心分布区,对各区栎属建群树种的功能性状(叶片干物质含量、比叶重、叶片养分含量、叶片光合速率以及种子性状)进行了测定,并对功能性状与气象因子的关系进行了分析。结果表明:首先,在南北样带温带区,当外界环境变化时,栎属建群树种的功能性状也会随之变化。由南向北随着温度的下降,年均日照时数增加,栎属树种的生长季缩短,而基于叶片面积和重量的光合能力( $A_{area}$ 、 $A_{mass}$ )增加,这使得它们在有限时间内提高光合生产来维持其自身的生理活动。同时,种子去皮干重、种皮干重均随着温度的降低、年日照时数的增加而增加。当降水条件变化时,栎属树种还会通过调节其叶片干物质含量、比叶重来适应其生境。其次,功能性状间也存在一定的相关关系;此外,随着研究尺度的变化(种间尺度至种内尺度),功能性状与气象因子间关系也随之变化。

**关键词:**响应;功能性状;气象因子;栎属;南北样带温带区

## The response of functional traits of *Quercus* species to meteorological factors in temperate zone of NSTEC

FENG Qihong, SHI Zuomin\*, DONG Lili, LIU Shirong

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

**Abstract:** It was found that plant trait was a useful tool for linking plant and environment as early as in 19th century. Since “plant functional trait” was made by Díaz for the first time in 2001, many researches have been done on the relationships between plant and environment through plant functional traits in the world, but there were still few in our country, especially those in large scale. In order to reveal the relationships between plant functional traits and environment (primarily meteorological factors) in temperate zone of North-South Transect of Eastern China (NSTEC) and compare with those in globe scale, functional traits (leaf dry mass content ( $LDMC$ ), leaf mass per area ( $LMA$ ), nitrogen content per leaf mass ( $N_{mass}$ ), phosphorus content per leaf mass ( $P_{mass}$ ), potassium content per leaf mass ( $K_{mass}$ ), photosynthetic rate per unit leaf area ( $A_{area}$ ), photosynthetic rate per unit leaf mass ( $A_{mass}$ ), seed mass without skin and seed skin mass) of *Quercus* dominant trees (*Q. mongolica*, *Q. liaotungensis*, *Q. dentata*, *Q. aliena*, *Q. variabilis*, *Q. acutissima*, *Q. aliena* var. *acuteserrata* and *Q. serrata* var. *brevipetiolata*) in their eleven core habitats in temperate zone of NSTEC were measured, and the relationships between the traits and meteorological factors, and some relationships among plant functional traits (mainly between leaf traits and seed traits) were analyzed by Pearson correlation analysis and Standardised Major Axis (SMA). The results showed that the functional traits of *Quercus* dominant trees changed with environmental factors in temperate zone of NSTEC, and mean annual temperature ( $MAT$ ) was the most important meteorological factors affected the traits. From the south to the north, length of growing season of the trees become shorter and shorter due to the decrease of

**基金项目:**国家自然科学基金重大项目(30590383);国家自然科学基金面上项目(30771718);林业公益性行业科研专项子专题(200804001);中国林业科学院中级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFRIF200717)

收稿日期:2009-09-29; 修订日期:2010-01-20

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

mean annual temperature, but their  $A_{\text{area}}$  and  $A_{\text{mass}}$  increased in order to maintain their physiological behaviors (including development, reproduction and resistance to external disturbance and so on) in limited time. Both seed mass without skin and seed skin mass of the trees increased from the south to the north in order to improve viability and resistance of seed to the decrease of  $MAT$  and the increase of mean annual sunlight ( $MASL$ ). As rainfall changed, the trees could also adapt to environment by adjusting their  $LDMC$  and  $LMA$  and both of them decreased as mean annual rainfall ( $MAR$ ) increased. In addition,  $P_{\text{mass}}$  of *Quercus* fell down with increase of  $MAR$ . It was probably caused by stronger leaching of phosphorus due to more rainfall. There were also relationships among functional traits. For example, both seed mass without skin and seed skin mass of the trees increased with  $LMA$  or  $K_{\text{mass}}$  rising. Meanwhile, as research scale has varied (from interspecies to intraspecies), the relationships between functional traits and meteorological factors also changed. Some correlations between the traits and meteorological factors from interspecies were significant, but those from intraspecies were not, for example, the negative correlations between  $MAT$  and  $A_{\text{area}}$ . Similarly, some correlations from intraspecies were significant, but those from interspecies were not, for example, the positive correlations between  $MASL$  and  $A_{\text{area}}$  in the species of *Q. mongolica*. The research will provide references to relative researches in the future and explain driving mechanism to some extent about why *Quercus* formed obvious distribution pattern of geographical substitute in temperate zone of NSTEC.

**Key Words:** response; functional traits; meteorological factors; *Quercus*; temperate zone of NSTEC

植物与环境的关系一直是生态学研究的核心问题之一。功能性状是指能够响应生存环境的变化并/或对生态系统功能有一定影响的植物性状<sup>[1]</sup>。用植物功能性状(功能型)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>[2]</sup>。植物功能性状作为连接植物与环境的桥梁,对两者关系的研究具有重要作用<sup>[3]</sup>。近年来,运用植物功能性状来建立植物与环境间关系的研究比比皆是<sup>[4-14]</sup>。目前,国内的相关研究还不多见,尤其是跨纬度带的较大尺度研究。

叶片作为光合作用的主要器官,不但是绝大多数植物维持生长发育的基础,而且对外界环境变化具有最直接的反映。叶片干物质含量、比叶重是衡量植物生活策略的重要指标<sup>[12,14]</sup>,而叶片光合速率及养分含量则在一定程度代表了植物的生长能力,此外,种子干重及种皮干重也分别对母代的亲本投入及子代抵抗能力具有一定的指示作用。大量研究表明,随着环境条件的变化,一些植物性状随之变化,而一些则变化不明显,这不但与研究范围、研究对象的生活型有关<sup>[11,13]</sup>,且受取样尺度的影响<sup>[15]</sup>。通过建立上述功能性状与环境因子间关系,本文试图回答:(1)随着环境条件的变化(以温度为主),栎属树种的各项功能性状是否随之变化;(2)若有变化,该变化规律是否同于全球水平<sup>[16]</sup>。

壳斗科栎属(*Quercus*)是我国温带、亚热带最重要的森林树种之一,栎属不同树种在南北样带温带区由北至南呈现的地理替代分布现象在一定程度上反映了其在响应及适应环境基础上的类群分化。无疑,这种分化携带了大量的环境信息,也为研究植物功能性状与环境的关系提供了良好的条件。本文在南北样带温带区 11 个研究地点选取了 8 个栎属树种作为对象,通过功能性状来建立植物与环境之间的响应关系,在为以后相关方面研究提供了参考和比照的同时,也为深入解释栎属树种地理替代分布的环境驱动机制奠定了科学基础。

## 1 研究地点及研究方法

### 1.1 研究地点

研究地点位于黑龙江、吉林、辽宁、河北、河南等 5 个省份,分别是帽儿山、长白山、清源、草河口、老秃顶子、桓仁、仙人洞、雾灵山、济源、栾川和宝天曼。均分布在中国东部南北样带上,大多分布在保护区或自然植被受人类干扰相对较小的地方。整个研究范围跨越了温带及暖温带 2 个气候带,绝大部分研究地点属于温带大陆性季风气候,四季分明、雨热同期。因为各研究地点是沿纬度分布的,所以各研究地点间温度差异比较明显,同时降水情况也有一定的差异,研究地点地理位置及气象信息如表 1 所示。

表 1 研究地点地理及气象信息

Table 1 Geographical and meteorological information of the research sites

研究地点 Sites	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Altitude	年均温/°C Mean annual temperature	年均降水量/mm Mean annual rainfall	年日照时数/h Mean annual sunlight
帽儿山 Maoershan	N45°25'	E127°38'	380	2.89	656.57	2478
长白山 Changbaishan	N42°34'	E128°05'	545	2.69	668.64	2365
清源 Qingyuan	N41°51'	E124°56'	606	5.78	772.25	2398
老秃顶子 Laotudingzi	N41°20'	E124°55'	636	6.30	944.00	2410
桓仁 Huanren	N41°18'	E125°26'	350	6.88	807.38	2409
草河口 Caohekou	N40°51'	E123°52'	530	7.87	773.64	2303
雾灵山 Wulingshan	N40°26'	E117°28'	1300	8.98	763.30	2760
仙人洞 Xianrendong	N39°59'	E122°57'	220	9.06	736.52	2453
济源 Jiyuan	N35°15'	E112°07'	1303	13.89	621.80	2245
栾川 Luanchuan	N33°45'	E111°39'	1352	12.12	825.32	2139
宝天曼 Baotianman	N33°30'	E111°56'	1495	15.04	839.92	1937

各研究地点均具有发育良好的土壤,土壤类型主要包括棕壤、暗棕壤、山地棕壤、棕色森林土及暗棕色森林土等,植被类型主要为温带针阔混交林和暖温带落叶阔叶林。本研究的树种为栎属建群种,主要包括蒙古栎(*Q. mongolica*)、辽东栎(*Q. liaotungensis*)、槲树(*Q. dentata*)、槲栎(*Q. aliena*)、栓皮栎(*Q. variabilis*)、麻栎(*Q. acutissima*)、锐齿槲栎(*Q. aliena* var. *acuteserrata*)及短柄枹栎(*Q. serrata* var. *brevipertiolata*)。本研究在各研究地点的取样和测量指标情况如表 2 所示。

表 2 各研究地点调查概况

Table 2 Research information of the sites

研究地点 Sites	所属省份 Province	目标种类 Species	测量性状 Traits
帽儿山	黑龙江	蒙古栎	LDMC、LMA、叶片养分
长白山	吉林	蒙古栎	LDMC、LMA、叶片养分、光合性状
清源	辽宁	蒙古栎	LDMC、LMA、叶片养分、光合性状
老秃顶子	辽宁	蒙古栎、辽东栎	LDMC、LMA、叶片养分、光合性状
桓仁	辽宁	蒙古栎、辽东栎	LDMC、LMA、叶片养分、光合性状
草河口	辽宁	蒙古栎、辽东栎	LDMC、LMA、叶片养分
雾灵山	河北	蒙古栎	LDMC、LMA、叶片养分
仙人洞	辽宁	槲栎、槲树、栓皮栎、麻栎	LDMC、LMA、叶片养分、种子性状(麻栎和栓皮栎)
济源	河南	辽东栎、栓皮栎、槲栎、锐齿槲栎	LDMC、LMA(辽东栎、栓皮栎、锐齿槲栎)、叶片养分、种子性状(槲栎和栓皮栎)
栾川	河南	栓皮栎、槲树、锐齿槲栎、短柄枹栎	LDMC、LMA、叶片养分、光合性状(锐齿槲栎)、种子性状(栓皮栎)
宝天曼	河南	栓皮栎、锐齿槲栎、短柄枹栎	LDMC、LMA、叶片养分、光合性状(锐齿槲栎、短柄枹栎)、种子性状

叶片养分:  $N_{\text{mass}}$  (Nitrogen content per leaf mass),  $P_{\text{mass}}$  (Phosphorus content per leaf mass),  $K_{\text{mass}}$  (Potassium content per leaf mass); 光合性状:  $A_{\text{area}}$  (Photosynthetic rate per leaf area),  $A_{\text{mass}}$  (Photosynthetic rate per leaf mass); 种子性状: 种子去皮干重和种皮干重; LDMC: Leaf dry matters content; LMA: Leaf mass per area

## 1.2 研究方法

2006 年 7—9 月在各研究地点对各树种的功能性状进行野外测定,并采集一定数量的叶片样品用于室内分析。气象信息来自于全国各气象台站,具体采用 1965—2004 年共 40a 的气象数据平均值。对功能性状信息取对数后<sup>[15]</sup>与气象因子进行相关分析,并对其中相关关系显著者进行标准主轴分析(SMA, Standardised

Major Axis)<sup>[17]</sup>。

### 1.2.1 叶片干物质含量

叶片干物质含量(LDMC)是指单位饱和鲜重叶片所含干物质的多少<sup>[18]</sup>。在各研究区,选择成熟、健康的目标树种10株,每株选择冠层、向阳的叶片2—3片,将其浸泡在清水中12h以上,进行饱和鲜重的测量,随后将其置于75℃的烘箱中烘48h,测量干重。叶片干物质含量=叶干重/叶饱和鲜重。

### 1.2.2 比叶重

比叶重(LMA)是指单位面积叶片所含干物质的多少<sup>[18]</sup>。它是比叶面积(SLA)的倒数,是叶片质地的一种表达,指示了叶片建成投入的多少。在各研究地区,选择成熟、健康的目标树种各10株,每株选择冠层的、向阳的叶片2—3片,测定叶面积后将其置于75℃的烘箱中烘48h,测量干重。比叶重=叶干重/叶面积。

### 1.2.3 叶片养分含量

对目标树种叶片养分含量进行测定,用凯氏定氮法测定叶片氮含量,等离子发射光谱仪(IRIS Intrepid II XSP)测定叶片磷、钾含量。

### 1.2.4 叶片光合速率

采用Licor-6400对各研究地的目标树种进行光合特性的测定。各树种选择成熟、健康的植株5株,每株2—3叶片进行测定。首先进行光响应曲线的测定,在大气CO<sub>2</sub>浓度下,将温度控制在25℃、湿度控制在75%±5%,采用人工光源提供梯度光强,光强梯度(μmolm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)为:1800,1500,1200,800,600,400,200,150,100,50,0。进而获得各目标树种的饱和光强,并在饱和光强下,进行CO<sub>2</sub>响应曲线的测定。温湿条件不变,采用CO<sub>2</sub>注入系统提供梯度CO<sub>2</sub>浓度,即,自400μmolCO<sub>2</sub>/mol开始,以50μmolCO<sub>2</sub>/mol为步长下降,当降到50μmolCO<sub>2</sub>/mol时,再从200μmolCO<sub>2</sub>/mol开始,以200μmolCO<sub>2</sub>/mol为步长升高,直到2000μmolCO<sub>2</sub>/mol。每个浓度均在样本室与参比室达到平衡后适应2—3min记数。进而求得叶片单位面积(重量)最大净光合速率,此后均简称为单位面积(重量)光合速率。

### 1.2.5 种子性状

本研究中选取了两个种子性状,分别是种子去皮干重和种皮干重。种子干重在一定程度上代表了种子所携带能量的多少。采集各研究地点目标树种成熟、饱满、无病虫害的种子300颗(保证种子来自10个以上母树),置于80℃的烘箱中烘72h以上,测量每颗的干重和去皮干重。

## 2 结果与分析

### 2.1 气象因子间关系

如表3所示,研究区内的年均温度与年均降水间无显著的相关,而两者均与年日照时数间存在显著的负相关,即随着日照时数的增加,年均温度和降水量均随之降低。

### 2.2 叶片功能性状与气象因子的关系

栎属树种叶片功能性状与气象因子的相关分析结果如表4所示。随着年均降水量的增加,叶片干物质含量、比叶重及叶片磷含量均随之下降;叶片单位面积光合速率及单位重量光合速率均随着温度的升高而降低;同时,叶片单位面积光合速率及单位重量光合速率随着日照时数的增加而增加,其中前者与日照时数的关系更显著。

#### 2.2.1 叶片功能性状与温度的关系

如图1的(a)、(b)所示,随着年均温度的升高,叶片单位面积、单位重量光合速率均呈现下降的趋势,而且可以看出,随着年均温度的增加,叶片单位面积最大净光合速率的下降幅度更大。

表3 气象因子间关系

Table 3 The relationships between meteorological factors

	系数 Coefficient	年均降水量 MAR/mm	年日照时数 MASL/h
年均温度	相关系数	-0.210	-0.678**
MAT/℃	显著性	0.918	0.000
	样本数	11	11
年均降水量	相关系数		-0.498**
MAR/mm	显著性		0.008
	样本数		11

MAR: Mean annual rainfall; MASL: Mean annual sunlight; MAT: Mean annual temperature; n: 样本数; \* P < 0.05, \*\* P < 0.01; r: Pearson系数

表 4 栎属树种叶片功能性状与气象因子间相关关系

Table 4 The relationships between leaf functional traits of *Quercus* trees and meteorological factors

系数 Coefficient	log(叶片干 物质含量) log(LDMC /(g/kg))	log(比叶重) log(LMA /(g/m <sup>2</sup> ))	log(叶片单位 面积光合速率) log(A <sub>area</sub> /(μmolCO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ))	log(叶片单位 重量光合速率) log(A <sub>mass</sub> /(nmolCO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ))	log(叶片单位 重量氮含量) log(N <sub>mass</sub> /(g/100g))	log(叶片单位 重量钾含量) log(K <sub>mass</sub> /(g/100g))	log(叶片单位 重量磷含量) log(P <sub>mass</sub> /(g/100g))	
年均温度	相关系数	0.152	0.294	-0.860 **	-0.665	0.096	0.055	-0.210
MAT/°C	显著性	0.449	0.145	0.003	0.050	0.633	0.786	0.919
	样本数	121	120	9	9	27	27	27
年均降水量	相关系数	-0.490 **	-0.603 **	-0.573	-0.276	-0.197	0.029	-0.566 **
MAR/mm	显著性	0.009	0.001	0.107	0.473	0.325	0.884	0.002
	样本数	121	120	9	9	27	27	27
年日照时数	相关系数	0.203	0.276	0.926 **	0.663	-0.037	-0.166	0.186
MASL/h	显著性	0.311	0.172	0.000	0.052	0.856	0.408	0.352
	样本数	121	120	9	9	27	27	27

MAR: Mean annual rainfall; MASL: Mean annual sunlight; MAT: Mean annual temperature; n: 样本数; \* P < 0.05, \*\* P < 0.01; r: Pearson系数

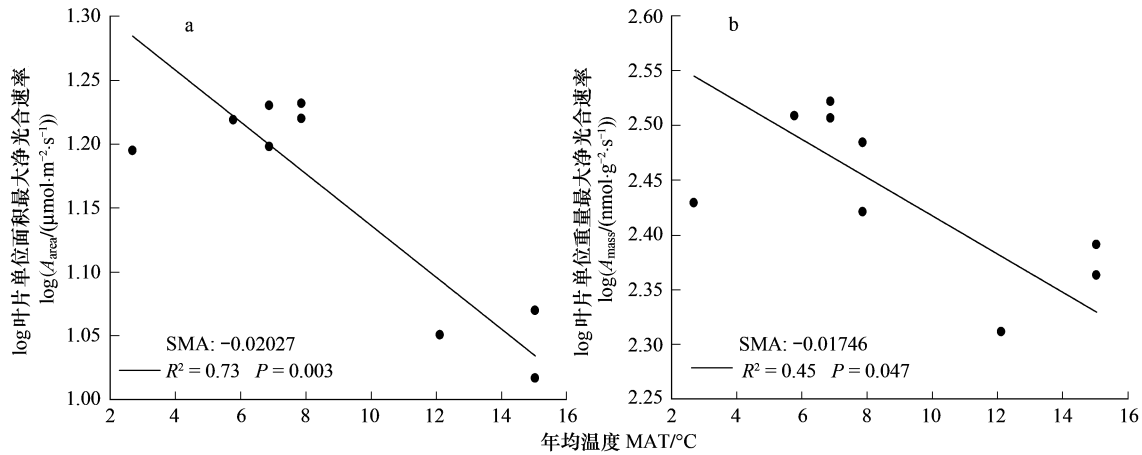


图 1 叶片单位面积光合速率、单位重量光合速率与年均温度间关系

Fig. 1 The relationship between A<sub>area</sub>, A<sub>mass</sub> of *Quercus* trees and MAT

P: 显著性水平; R<sup>2</sup>: 决定系数; SMA: 标准主轴法的斜率

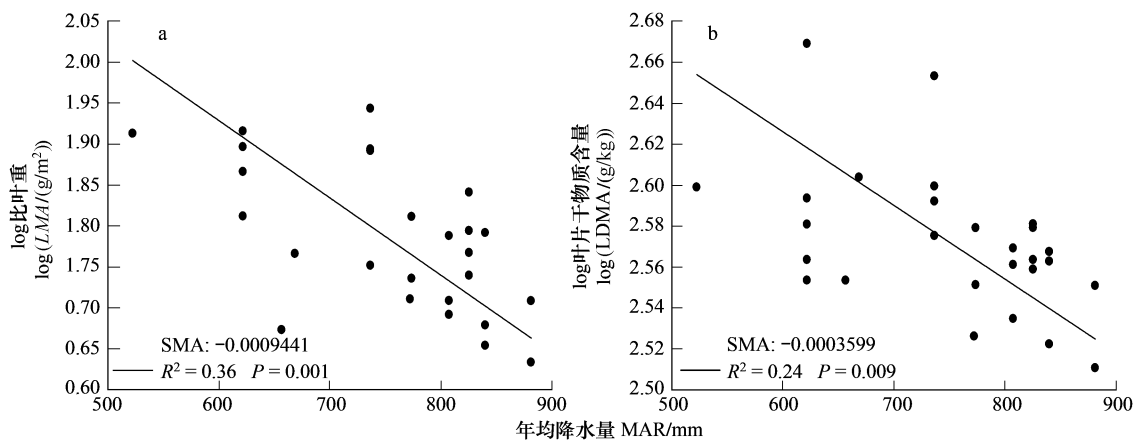


图 2 叶片干物质含量、比叶重与年均降水量间关系

Fig. 2 The relationship between LDMC, LMA of *Quercus* trees and MAR

P: 显著性水平; R<sup>2</sup>: 决定系数; SMA: 标准主轴法的斜率

2.2.2 叶功能性状与降水的关系

如图 2 的 (a) 所示,随着年均降水的增加,栎属树种的比叶重随之下降;如图 2 的 (b) 所示,与比叶重一样,其叶片干物质含量亦随着降水量的增加而下降,但其下降程度略小于前者;如图 3 所示,随着年降水量的增加,叶片单位重量磷含量下降。

2.2.3 叶功能性状与日照时数的关系

如图 4 所示,在南北样带温带区,随着年日照时数的增加,栎属树种叶片最大净光合速率随之升高。

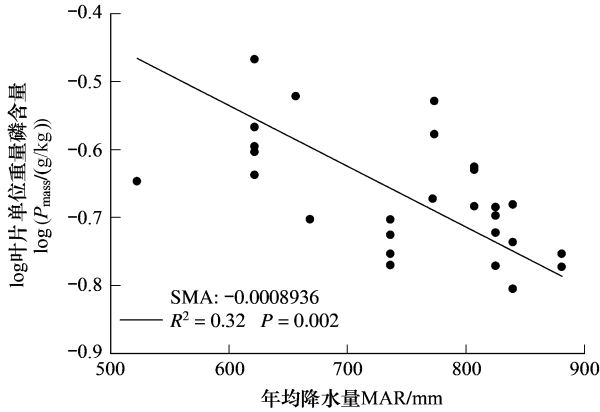


图 3 叶片单位重量磷含量与年降水量间关系

Fig. 3 The relationship between  $P_{mass}$  of *Quercus* trees and MAR  
 P: 显著性水平 significant level;  $R^2$ : 决定系数 determination coefficient;  
 SMA: 标准主轴法的斜率 Slope for Standardised Major Axis

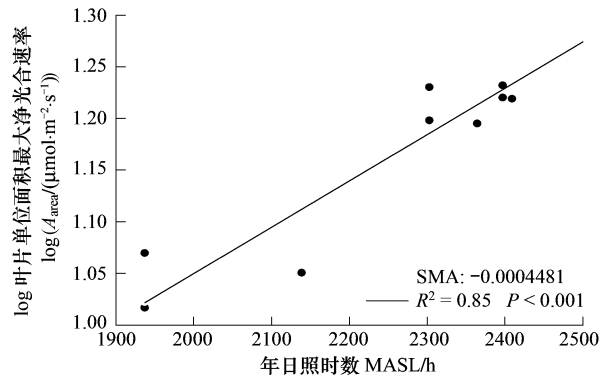


图 4 叶片单位面积最大净光合速率与年日照时数间关系

Fig. 4 The relationship between  $A_{area}$  of *Quercus* trees and MASL  
 P: 显著性水平 significant level;  $R^2$ : 决定系数 determination coefficient;  
 SMA: 标准主轴法的斜率 Slope for Standardised Major Axis

2.3 种子功能性状与气象因子的关系

如表 5 所示,通过两种方法 (Pearson 相关分析法及 SMA 法) 对种子功能性状与气象因子间关系进行了分析,虽然没有任何的显著性关系呈现,但相对而言,随着年日照时数的增加、年均温度的降低,种子去皮干重及种子干重均会随之增加。与后者相比,种子去皮干重更易受气象因子的影响。

表 5 栎属树种种子功能性状与气象因子间相关关系

Table 5 The relationships between seed traits of *Quercus* trees and meteorological factors

	统计方法	系数	log(种子去皮干重)	log(种皮干重)
	Methods of statistics	Coefficient	log(Seed mass without skin/g)	log(Seed skin mass/g)
年均温度 MAT/°C	Pearson 相关分析	$r(P)$	-0.613(0.106)	-0.569(0.141)
	标准主轴分析	斜率	-0.09848	-0.09640
		$n$	8	8
年均降水量 MAR/mm	Pearson 相关分析	$r(P)$	-0.386(0.344)	-0.483(0.225)
	标准主轴分析	斜率	-0.002662	-0.002606
		$n$	8	8
年日照时数 MASL/h	Pearson 相关分析	$r(P)$	0.659(0.076)	0.666(0.072)
	标准主轴分析	斜率	0.001152	0.001128
		$n$	8	8

2.4 种子功能性状与叶片功能性状间关系

如表 6 所示,随着比叶重的增加,栎属树种的种子去皮干重和种皮干重均随之显著增加,此外,随着叶片钾含量的增加,栎属树种的种子去皮干重和种皮干重也表现一定的增加趋势,但不显著。

2.5 种内功能性状与气象因子间关系——以蒙古栎为例

蒙古栎叶片功能性状与气象因子的相关分析结果如表 7 所示。随着年均降水量的增加,叶片干物质含



量、比叶重均在一定程度上随之下降,而叶片单位面积光合速率却随之显著地增加;随着温度的升高,虽然所有功能性状均没有显著的变化,但相比之下,叶片单位面积光合速率在一定程度上随之增加;而随着日照时数的增加,叶片干物质含量和比叶重均有不同程度的升高。

表 6 栎属树种种子性状和叶片性状间关系

Table 6 The relationships between seed traits and leaf traits

项目 Item	系数 Coefficient	log 叶片干 物质含量 log(LDMC /(g/kg))	log 比叶重 log(LMA /(g/m <sup>2</sup> ))	log 叶片单位 重量氮含量 log(N <sub>mass</sub> /(g/100g))	log 叶片单位 重量钾含量 log(K <sub>mass</sub> /(g/100g))	log 叶片单位 重量磷含量 log(P <sub>mass</sub> /(g/100g))
log 种子去皮干重 log(Seed mass without skin/g)	<i>r</i>	0.568	0.811 *	-0.321	-0.670	0.277
	<i>P</i>	0.142	0.027	0.438	0.069	0.506
	<i>n</i>	8	7	8	8	8
log 种皮干重 log(Seed skin mass/g)	<i>r</i>	0.579	0.812 *	-0.357	-0.639	0.311
	<i>P</i>	0.133	0.026	0.386	0.088	0.454
	<i>n</i>	8	7	8	8	8

表 7 蒙古栎叶片功能性状与气象因子间关系

Table 7 The relationships between leaf functional traits of *Quercus mongolica* trees and meteorological factors

	系数 Coefficient	log 叶片干 物质含量 log(LDMC /(g/kg))	log 比叶重 log(LMA /(g/m <sup>2</sup> ))	log 叶片单位 面积光合速率 log(A <sub>area</sub> /(μmolCO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ))	log 叶片单位 重量光合速率 log(A <sub>mass</sub> /(nmolCO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ))	log 叶片单位 重量氮含量 log(N <sub>mass</sub> /(g/100g))	log 叶片单位 重量钾含量 log(K <sub>mass</sub> /(g/100g))	log 叶片单位 重量磷含量 log(P <sub>mass</sub> /(g/100g))
年均温度 MAT/°C	<i>r</i>	-0.053	0.544	0.893	-0.205	0.088	0.253	0.009
	<i>P</i>	0.910	0.207	0.107	0.795	0.852	0.584	0.985
	<i>n</i>	7	7	4	4	7	7	7
年均降水量 MAR/mm	<i>r</i>	-0.737	-0.712	1.000 **	-0.570	-0.426	0.237	-0.288
	<i>P</i>	0.059	0.073	0.000	0.430	0.340	0.610	0.531
	<i>n</i>	7	7	4	4	7	7	7
年日照时数 MASL/h	<i>r</i>	0.577	0.789 *	-0.217	0.041	0.029	-0.290	70.061
	<i>P</i>	0.175	0.035	0.783	0.959	0.951	0.528	0.897
	<i>n</i>	7	7	4	4	7	7	

### 3 讨论与结论

全球尺度研究表明,随着温度的升高,植物的叶片光合能力( $A_{area}$ 、 $A_{mass}$ ,饱和光强下,大气  $CO_2$  浓度下的净光合速率)降低<sup>[16]</sup>,本研究的结果也证实了这一点(表 4,图 1)。在南北样带温带区上,由南至北随着纬度的增加,年均温度降低,年均日照时数增加,栎属树种的生长季缩短,其叶片光合能力( $A_{area}$ 、 $A_{mass}$ )也随之增加( $r = -0.860, P = 0.003; r = -0.665, P = 0.050$ ),这无疑是植物适应环境的结果(如图 1、4)。在南北样带温带区的北部,栎属树种的生长季相对较短,在有限的时间内,它们通过较高的叶片光合速率来积累更多的有机物,这有利于满足植物体生长、发育、繁殖及抵御外来干扰等需要;通常认为,随着温度的升高,叶片单位重量氮含量降低是其光合能力降低的主要原因<sup>[19]</sup>,但这一点并没有在本研究中得到证实,这可能与指标间样本大小差异有关。同时,在南北样带温带区,由南至北,随着温度的降低,年均日照时数却增加,这也为植物具有较高的光合生产能力提供了良好的环境基础,即作为光合作用的必备条件,日照时数的增加会在一定程度上增加植物单位面积叶片对光的捕捉效率,从而增加叶片光合速率( $A_{area}$ 、 $A_{mass}$ )( $r = 0.926, P < 0.001; r = 0.663, P = 0.052$ ),尤其是单位面积叶片光合速率。此外,随着年均降水量的增加,栎属树种的叶片单位重量磷含量呈下降趋势( $r = -0.566; P = 0.002$ ,如图 3 所示),Wright 等<sup>[5]</sup>对新南威尔士植被的研究也得到了相似的结论。在南北样带的温带区,当栎属树种所处生境较为干旱时,较高的叶片磷含量能促进植物的光合速率<sup>[20]</sup>。而且相对干旱地区的土壤磷不易受淋溶损失的影响,这可能也导致了该地区栎属树种叶片较高的单位重量磷

含量<sup>[21]</sup>。

种子大小(重量)一直被认为是关于植物繁殖与生存策略的重要性状<sup>[22-23]</sup>。一般来说,较大、较重的种子通常会出现在条件较差的环境中,因为较大的种子通常会提供更多的能量给后代以提高它在恶劣环境中的生活力和生存几率<sup>[23-24]</sup>。而将种子干重分为种子去皮干重和种皮干重可以更好的诠释种子不同组分的功能。与种子干重相比,种子去皮干重可以更精确的代表亲本对后代的能量投入,而种皮干重则代表了整个种子用于抵御外界不良生境能量的多少。Andrea等在阿尔卑斯山的研究表明,随着海拔的升高,某些物种的种子有增大的趋势,这可能是植物适应高海拔恶劣环境条件(低温、强辐射等)的结果<sup>[22]</sup>。本研究中种子性状与气象因子间虽然不存在显著的相关关系(这可能与取样数量过少有关),但如表5所示,随着年均温度的降低、年日照时数的增加,种子去皮干重( $r = -0.613, P = 0.106; r = 0.659, P = 0.076$ )、种皮干重( $r = -0.569, P = 0.141; r = 0.666, P = 0.072$ )在一定程度上呈现上升趋势。在南北样带温带区北部,温度相对较低,栎属树种的种子去皮干重及种皮干重均相对较重,这不但有利于植物种子对外界低温环境的抵御,更有利于植物在寒冷环境下生活力的保持。此外,种子性状与叶片性状间也存在一定的相关关系。即,随着比叶重的增加,栎属树种的种子去皮干重和种皮干重均随之显著增加( $r = 0.811, P = 0.027; r = 0.812, P = 0.026$ ),这可能是植物对外界环境的一种适应,在南北样带温带区,从南至北随着温度的降低,局部地区降水量也随之降低,栎属树种的不同器官均会通过各自的方式来适应环境的变化,即种子会通过增加种皮干重来增加自身的抗寒能力,通过增加种子去皮干重来增加母体的亲本投入,从而增加子代在恶劣环境条件下的生存能力<sup>[23-24]</sup>,而叶片则通过增加叶片厚度(比叶重更大)来适应愈加干旱的环境。

比叶重、叶片干物质含量均在一定程度上代表了植物对环境资源的利用能力<sup>[18,25]</sup>。Wright<sup>[16]</sup>等人对全球木本植物的研究表明,随着年均温度、年均降水量的增加,落叶木本植物的比叶重增加;而对南北样带温带区落叶乔木的研究表明,比叶重随着降水的增加而降低( $r = -0.603; P = 0.001$ ,图2),与年均温度间无明显相关关系。这种结论上的差异,可能与取样尺度及研究对象生长型上的差异有关<sup>[15]</sup>。一般认为,在环境相对干旱的地区,植物叶片较厚,甚至革质化(比叶重较高)<sup>[16,26]</sup>,单位叶面积上较高的投入有助于植物在这种环境中维持正常的生理活动<sup>[16]</sup>。同时,较厚的叶片通常具有较好的保水性,这也在一定意义上提高了植物对水分的利用效率。此外,Niinemets对包括中国在内的全球尺度木本植物研究表明,比叶重也会随着最干旱月份降水量的增加而降低<sup>[26]</sup>。随着年均降水的增加,栎属树种的叶片干物质含量也随之降低( $r = -0.490; P = 0.009$ ),与比叶重相比,叶片干物质含量在表征植物资源利用能力的同时,受叶片含水量的影响较大,而不易受叶片厚度的影响<sup>[10,18,27]</sup>。不难理解,随着环境水分增长,植物的叶片含水量也会随之增加,这就降低了植物叶片干物质含量。此外,就功能性状与气象因子间关系而言,种间与种内具有一定的差异,部分种间显著的关系在种内也有一定程度的表现,但均不显著,如随着年均降水量的增加,叶片干物质含量、比叶重均随之下降,随着温度的升高,叶片单位面积光合速率降低(表4、表7,图1、图2);而种内存在一些种间不存在的显著相关关系,例如,随着降水量的增加,蒙古栎的叶片单位面积光合速率却随之显著地增加( $r = 1.000; P < 0.001$ );同时,随着日照时数的增加,比叶重显著升高( $r = 0.789; P = 0.035$ )(表7)。

综上所述,首先,随着气象因子的变化,功能性状也随之变化。在南北样带温带区的北部,温度较低,生长季较短,但日照时数较长,栎属树种通过较高的光合能力来维持其新陈代谢活动,通过较大的种子来确保后代的繁衍生息;而在南北样带温带区的南部,恰好相反,随着环境温度的升高,植物的生长季也随之延长,虽然日照时数相对较短,但良好的环境条件使得植物不必追求过高的光合生产能力也能保证正常的生理活动。同样,与前者相比,优良的环境允许它的亲本投入有所降低,这就形成了植物对环境适应的一种方式——协同进化。当水分条件改变时,栎属树种还会通过调节其比叶重和叶片干物质含量来适应环境;其次,功能性状间也存在一定的相关关系,且研究表明,这种相关关系通常较功能性状与环境因子间关系更稳定和普遍<sup>[12,16]</sup>;此外,随着研究尺度的变化(种内尺度至种间尺度),功能性状与气象因子间关系也随之变化。

## References:

- [ 1 ] Díaz S, Cabido M. Vive la difference: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, 2001, 16(11): 646-655.
- [ 2 ] 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.
- [ 3 ] Feng Q H, Shi Z M, Dong L L. Response of plant functional traits to environment and its application. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(4): 125-131.
- [ 4 ] Reich P B, Ellsworth D S, Walters M B, Vose J M, Gresham C, Volin J C, Bowman W D. Generality of leaf traits relationships: A test across six biomes. *Ecology*, 1999, 80(6): 1955-1969.
- [ 5 ] Wright I J, Reich P B, Westoby M. Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high- and low-rainfall and high- and low-nutrient habitats. *Functional Ecology*, 2001, 15(4): 423-434.
- [ 6 ] Aerts R, Chapin III F S. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research*, 2000, 30: 1-67.
- [ 7 ] Roderick M L, Berry S L, Noble I R. A framework for understanding the relationship between environment and vegetation based on the surface area to volume ratio of leaves. *Functional Ecology*, 2000, 14(4): 423-437.
- [ 8 ] Rebeck J, Scherzer A J, Loats K V. Foliar physiology of yellow-poplar (*Liliodendron tulipifera* L.) exposed to O<sub>3</sub> and elevated CO<sub>2</sub> over five seasons. *Trees-Structure and Function*, 2004, 18(3): 253-263.
- [ 9 ] Sterck F J, Van Gelder H A, Poorter L. Mechanical branch constraints contribute to life-history variation across tree species in a Bolivian forest. *Journal of Ecology*, 2006, 94(6): 1192-1200.
- [ 10 ] Saura-Mas S, Shipley B, Lioret F. Relationship between post-fire regeneration and leaf economics spectrum in Mediterranean woody species. *Functional Ecology*, 2009, 23, 103-110.
- [ 11 ] Santiago L S, Wright I J. Leaf functional traits of tropical forest plants in relation to growth form. *Functional Ecology*, 2007, 21, 19-27.
- [ 12 ] 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, Pyankov V, Roument C, Thomas S C, Tjoelker M G, Veneklaas E J, Villar R. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 2004, 428(22): 821-827.
- [ 13 ] 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, Pooter H, Villar R, Warton D I, Westoby M. Assessing the generality of global leaf trait relationships. *New Phytologist*, 2005, 166(2): 485-496.
- [ 14 ] He J S, Wang Z H, Wang X P. A test of the generality of leaf trait relationship on the Tibetan Plateau. *New Phytologist*, 2006, 170(4): 835-848.
- [ 15 ] 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: 551-558.
- [ 16 ] 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, Osada N, Pooter 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.
- [ 17 ] Falster D S, Warton D I, Wright I J. (S) MATR: Standardised major axis tests and routines, [2008-10-12] 2003, <http://www.bio.mq.edu.au/ecology/SMATR/>.
- [ 18 ] Cornelissen J H C, Lavorel S, Garnier E, Diaz S, Bunchmann N, Gurvich D E, Reich P B, ter Steege H, Morgan H D, van der Heijden M G A, Pausas J G, Pooter H. A handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 2003, 51: 335-380.
- [ 19 ] 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*, 2004, 101(30): 11001-11006.
- [ 20 ] Wu W H. *Plant Physiology*. Beijing: Science Press, 2005: 117-175.
- [ 21 ] Wang S P, Zhou G S, Lu Y C, Zou J J. Distribution of soil carbon, nitrogen and phosphorus along Northeast China Transect (NECT) and their relationships with climatic factors. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(5): 513-517.
- [ 22 ] Andrea R P, Wolfgang S, Jürg S. Seed weight increases with altitude in the Swiss Alps between related species but not among populations of individual species. *Oecologia*, 2005, 144: 55-61.
- [ 23 ] Leishman M R, Wright I J, Moles A T, Westoby M. The evolutionary ecology of seed size // Fenner M ed. *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2nd edn. Wallingford, UK: CAB International, 2000, 31-57.
- [ 24 ] Moles A T, Westoby M. Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature. *Journal of Ecology*, 2004, 92: 372-383.
- [ 25 ] Van der Werf A, Geerts R H E M, Jacobs F H H, Korevaar H, Oomes M J M, de Visser W. The importance of relative growth rate and associated traits for competition between species during vegetation succession // Lambers H, Poorter H, Van Vuuren M M I, eds. *Inherent Variation in Plant Growth Physiological Mechanisms and Ecological Consequences*. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers, 1998: 489-502.
- [ 26 ] Niinemets U. Global-scale climatic controls of leaf dry mass per area, density, and thickness in trees and shrubs. *Ecology*, 2001, 82(2): 453-469.
- [ 27 ] 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: 155-162.

## 参考文献:

- [ 3 ] 冯秋红, 史作民, 董莉莉. 植物功能性状对环境的响应及其应用. *林业科学*, 2008, 44(4): 125-131.
- [ 20 ] 武维华. *植物生理学*. 北京: 科学出版社, 2005: 117-175.

# 2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2009 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	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2; 影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 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 30 卷 第 21 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 30 No. 21 2010

**编 辑** 《生态学报》编辑部  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085  
电话:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

**主 编** 冯宗炜  
**主 管** 中国科学技术协会  
**主 办** 中国生态学会  
中国科学院生态环境研究中心  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085

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

**印 刷** 北京北林印刷厂  
**发 行** 科 学 出 版 社  
地址:东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717  
电话:(010)64034563  
E-mail:journal@cspg.net

**订 购** 全国各地邮局  
**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

**广告经营** 京海工商广字第 8013 号  
**许 可 证**

**Edited** by Editorial board of  
ACTA ECOLOGICA SINICA  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China  
Tel:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

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

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

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

**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@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 70.00 元