

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 13 期 Vol.33 No.13 **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 13 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 强度干扰后退化森林生态系统中保留木的生态效应研究综述..... 缪 宁,刘世荣,史作民,等 (3889)
- AM 真菌对重金属污染土壤生物修复的应用与机理..... 罗巧玉,王晓娟,林双双,等 (3898)

个体与基础生态

- 东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化..... 姚 婧,李 颖,魏丽萍,等 (3907)
- 不同温度下 CO₂ 浓度增高对坛紫菜生长和叶绿素荧光特性的影响..... 刘 露,丁柳丽,陈伟洲,等 (3916)
- 基于 LULUCF 温室气体清单编制的浙江省杉木林生物量换算因子..... 朱汤军,沈楚楚,季碧勇,等 (3925)
- 土壤逐渐干旱对菖蒲生长及光合荧光特性的影响..... 王文林,万寅婧,刘 波,等 (3933)
- 一株柠条内生解磷菌的分离鉴定及实时荧光定量 PCR 检测..... 张丽珍,冯利利,蒙秋霞,等 (3941)
- 一个年龄序列巨桉人工林植物和土壤生物多样性..... 张丹桔,张 健,杨万勤,等 (3947)
- 不同饵料和饥饿对魁蚶幼虫生长和存活的影响..... 王庆志,张 明,付成东,等 (3963)
- 禽畜养殖粪便中多重抗生素抗性细菌研究..... 祁诗月,任四伟,李雪玲,等 (3970)
- 链状亚历山大藻赤潮衰亡的生理调控..... 马金华,孟 希,张 淑,等 (3978)
- 基于环境流体动力学模型的浅水草藻型湖泊水质数值模拟..... 李 兴,史洪森,张树礼,等 (3987)

种群、群落和生态系统

- 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响..... 李学斌,陈 林,李国旗,等 (3995)
- 宁夏六盘山三种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应..... 王云霓,熊 伟,王彦辉,等 (4002)
- 半干旱黄土区成熟柠条林地土壤水分利用及平衡特征..... 莫保儒,蔡国军,杨 磊,等 (4011)
- 模拟酸沉降对鼎湖山季风常绿阔叶林地表径流水化学特征的影响..... 丘清燕,陈小梅,梁国华,等 (4021)
- 基于改进 PSO 的洞庭湖水源涵养林空间优化模型..... 李建军,张会儒,刘 帅,等 (4031)
- 外来植物火炬树水浸液对土壤微生物生态系统的化感作用..... 侯玉平,柳 林,王 信,等 (4041)
- 崇明东滩抛荒鱼塘的自然演替过程对水鸟群落的影响..... 杨晓婷,牛俊英,罗祖奎,等 (4050)
- 三峡水库蓄水初期鱼体汞含量及其水生食物链累积特征..... 余 杨,王雨春,周怀东,等 (4059)
- 元江鲤种群遗传多样性..... 岳兴建,邹远超,王永明,等 (4068)

景观、区域和全球生态

- 中国西北干旱区气温时空变化特征..... 黄 蕊,徐利岗,刘俊民 (4078)
- 集水区尺度下东北东部森林土壤呼吸的模拟..... 郭丽娟,国庆喜 (4090)
- 增氮对青藏高原东缘高寒草甸土壤甲烷吸收的早期影响..... 张裴雷,方华军,程淑兰,等 (4101)
- 基于生态系统服务的广西水生态足迹分析..... 张 义,张合平 (4111)
- 深圳市景观生态安全格局源地综合识别..... 吴健生,张理卿,彭 建,等 (4125)

庐山风景区碳源、碳汇的测度及均衡..... 周年兴,黄震方,梁艳艳 (4134)

气候变化对内蒙古中部草原优势牧草生长季的影响 李夏子,韩国栋,郭春燕 (4146)

民勤荒漠区典型草本植物马蔺的物候特征及其对气候变化的响应..... 韩福贵,徐先英,王理德,等 (4156)

血水草生物量及碳贮量分布格局..... 田大伦,闫文德,梁小翠,等 (4165)

5 种温带森林生态系统细根的时间动态及其影响因子 李向飞,王传宽,全先奎 (4172)

资源与产业生态

干旱胁迫下 AM 真菌对矿区土壤改良与玉米生长的影响..... 李少朋,毕银丽,陈咄圳,等 (4181)

城乡与社会生态

上海环城林带保健功能评价及其机制..... 张凯旋,张建华 (4189)

研究简报

北京山区侧柏林林内降雨的时滞效应 史 宇,余新晓,张佳音 (4199)

采伐剩余物管理措施对二代杉木人工林土壤全碳、全氮含量的长期效应
..... 胡振宏,何宗明,范少辉,等 (4205)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-07



封面图说: 岳阳附近的水源涵养林及水系鸟瞰——水源涵养林对于调节径流,减缓水、旱灾害,合理开发利用水资源具有重要的生态意义。洞庭湖为我国第二大淡水湖,南纳湘、资、沅、澧四水,北由岳阳城陵矶注入长江,是长江上最重要的水量调节湖泊。因此,湖周的水源涵养林建设对于恢复洞庭湖调节长江中游地区洪水的功能,加强湖区生物多样性的保护是最为重要的举措之一。对现有防护林采取人为干扰的调控措施,改善林分空间结构,将有利于促进森林生态系统的正向演替,为最大程度恢复洞庭湖水源林生态功能和健康经营提供重要支撑。

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/stxb201210011367

姚婧,李颖,魏丽萍,蒋思思,杨松,侯继华.东灵山不同林型五角枫叶性状异速生长关系随发育阶段的变化.生态学报,2013,33(13):3907-3915.
Yao J, Li Y, Wei L P, Jiang S S, Yang S, Hou J H. Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 3907-3915.

东灵山不同林型五角枫叶性状异速 生长关系随发育阶段的变化

姚 婧, 李 颖, 魏丽萍, 蒋思思, 杨 松, 侯继华*

(北京林业大学森林资源与生态系统过程北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要:分析植物叶片性状种内水平的异速生长关系有助于加深理解生长发育过程中叶片的资源利用模式。分析了东灵山 3 个主要林型(白桦林、胡桃楸林、辽东栎林)中五角枫成树、幼树、幼苗的叶面积、叶体积、叶含水量与叶干重之间的异速生长关系。结果表明:成树叶面积增长速度小于叶干重的增长速度,幼树、幼苗叶面积与叶干重保持同速增长;成树、幼树叶干重与叶体积保持同速增长,幼苗叶体积的增长速度超过了干重的增长速度;成树叶含水量的增长速度小于叶干重的增长速度,幼树、幼苗两性状间保持等速增长。叶含水量与叶干重的异速生长指数在不同的林型间有显著差异,白桦林叶含水量的增长速度小于叶干重的增长速度,其余两个林型均为等速增长趋势。这些结果揭示了不同发育阶段五角枫资源利用方式的转变。随叶干重的增加,成树将更多的叶生物量投资于同化和支持结构;幼树则保持对光合面积和光合同化结构的稳步投资;而幼苗主要投资于叶面积的增大。叶含水量与叶干重的异速曲线在不同林型间的差异说明叶片代谢活性相较于其他叶性状可塑性更高。

关键词:异速生长;林型;叶性状;发育阶段;可塑性

Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing

YAO Jing, LI Ying, WEI Liping, JIANG Sisi, YANG Song, HOU Jihua*

The Key Laboratory for Forest Resources & Ecosystem Processes of Beijing, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: This study focused on the allometric relationships of the leaf traits of *Acer mono* at different life stages in various forest types, to explore the resource utilization strategy of *A. mono* across various life stages and environmental conditions. The lamina mass, lamina area, lamina volume and lamina water content of *A. mono* adults, saplings and seedlings at three forests, *Betula platyphylla* forest, *Juglans mandshurica* forest and *Quercus wutaishanica* forest, were measured in Donglingshan, Beijing. The standardized major axis estimation method was used to examine the scaling relationships among leaf traits of *A. mono*. The increasing rate of lamina area was lower than that of lamina mass in adult trees, but they maintained the same growth rate in saplings and seedlings. The lamina volume of the seedling grew faster than its lamina mass. The increasing rate of lamina mass kept pace with that of lamina volume in both adult trees and saplings. An increase in lamina water content was slower than that in lamina mass in adult trees. The similar increasing rates between lamina water content and lamina mass were found for both saplings and seedlings. In the different forest types, the scaling relationship between lamina water content and lamina mass was statistically different. The increasing rate of lamina water content was less than that of lamina mass of *A. mono* in *B. platyphylla* forest. However, they were isometric in *J. mandshurica* and *Q. wutaishanica* forests. These results suggested the pattern of resource utilization shifted across various life stages of *A. mono*.

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(31000263);教育部科学技术重点项目(107014)

收稿日期:2012-10-01; **修订日期:**2013-04-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hou_jihua@yahoo.com.cn

With an increase in lamina mass, *A. mono* adult trees invested more leaf biomass in assimilation and supporting structure, and saplings maintained steady investments of light-harvesting area and photosynthetic assimilating structure, while seedlings mainly increased leaf area. The difference in allometric index of both lamina water content and mass among different forest types to some extent reflected that leaf metabolic activity was strong plasticity in comparison to other leaf traits.

Key Words: allometry; forest types; leaf traits; ontogenetic stages; plasticity

在植物的生长发育过程中,随着资源可获得性的改变,其对现有资源的利用策略也会随之发生变化。植物如何响应资源的变化是植物生态学研究的核心问题^[1]。其中,在不同的资源条件下,植物某些性状的变化(即性状的可塑性响应)被认为是植物适应性的表现之一^[2]。Weiner^[3]指出植物对资源的可塑性响应可分为3个程度。第一个程度即表面可塑性,仅仅是植物异速生长造成的表型差异,这并不是真正的可塑性。第二个程度即局部的可塑性响应,它包括局部构件的增生和局部生理性适应(如阴生叶和阳生叶分化)。第三个程度即最高的可塑性响应,它包括异速曲线的变化和综合性的生理变异(如诱导防御)。近年来,有关异速生长在植物可塑性响应中的重要作用得到了越来越多的研究^[3-5]。

异速生长是指生物体某两个性状的相对生长速率不相同的现象^[6],是由物种遗传性所决定的固有特性^[7]。性状间生长速率的差异,本身即会使得大小不同的同一物种表型性状间存在差异。因此植物性状间的差异也许并不是环境资源状况不同造成的,而仅仅是植物大小不同造成的^[3]。不同环境条件下异速生长曲线的改变,才是真正意义上植物对于资源的可塑性适应。因此,研究植物的异速生长关系及其变化对于理解植物的适应性响应是十分必要的。

植物异速生长的研究始于生物量分配,目前已扩展到从基因组水平到生态系统水平的各个方面^[8]。其中植物叶内的生物量分配及生长关系是近年来的研究热点之一^[9-11]。但有关叶性状异速生长的研究多集中于大尺度种间水平上。如Wright等^[12]研究了从北极到热带175个地区中的2548种植物比叶重(LMA)、叶片光合速率(A)、叶片暗呼吸速率(R)、叶氮含量(N)、叶磷含量(P)和叶寿命(LL)6个主要叶性状之间的生长关系,发现大多数的叶性状间都展现了异速关系。祝介东等^[13]研究不同生物气候带内植物叶片大小与叶柄干重间的异速生长关系,发现不同功能型和气候带植物叶片干重、面积、体积均与叶柄干重之间存在着显著的异速生长关系。但种内水平叶性状异速生长的研究并不多见^[14-15]。种间和种内的异速生长研究并不能混为一谈^[3,16-17]。如果说种间异速生长规律反映了“植物界”某两个性状间生长关系的普遍规律,那种内不同发育阶段异速生长的研究则能更加深入的反映性状间生长关系的具体变化。例如研究发现随着叶片的增大,单位干重上投资的光吸收面积减少了^[14-15],那么在不同的发育阶段中这种趋势是否一致呢,大树相比于幼苗随着叶片的增大,是否需要更多的干物质投资呢。植物在生长发育的过程中个体大小发生了明显的变化,一些表型性状也发生了明显的变化,那么这种变化是性状间异速生长造成的,还是因为不同发育阶段植物经历的资源条件不同,植物为响应资源变化而发生的真正可塑性变化呢?这些种内水平上的异速生长研究对于了解植物对资源的利用、对异质环境的形态适应是十分有帮助的。

本文以东灵山3个主要林型中常见种五角枫为研究对象,研究了不同林型下五角枫不同发育阶段个体即成树、幼树和幼苗的叶面积、叶体积和叶含水量与叶干重间的异速生长关系,以期了解五角枫叶干重的投资策略是否因资源状况不同而发生变化。其中叶面积反映了植物的光合捕获能力,叶体积是植物综合投资的代表,叶含水量则在一定程度上表征了叶片代谢的活跃程度^[18]。通过分析它们之间的关系,主要希望探讨以下问题:1)随着五角枫的生长发育,其叶性状是保持着一个固定的异速生长状态还是发生了异速生长状态的变化,若是发生了异速生长状态的变化,这种变化反映了不同发育阶段的五角枫对资源利用方式的哪些转变;2)不同林型间五角枫叶性状间的异速曲线是否一致,其变化能否反映叶性状的可塑性强弱及对环境的适应能力。

1 研究区域和研究方法

1.1 研究区概况

北京市西郊东灵山地区(39°48′—40°00′N,115°24′—115°36′E),属暖温带大陆性季风气候,地处暖温带落叶阔叶林区中心,海拔高度多在 1000m 以上。年均温 4.8℃,最热月(7 月)平均温度 18.3℃,最冷月(1 月)平均温度-10.1℃。年降水量为 612 mm,6—8 月的降水量约占全年降水量的 78%^[19]。地带性土壤类型为肥沃褐色土和棕色森林土,一般为酸性,土壤层厚度通常在 30 cm 以上^[20-21]。本地区海拔 1000—1900 m 的范围分布着典型的暖温带落叶阔叶次生林,主要包括辽东栎林(*Quercus wutaishanica* forest, 缩写为 QWF)、胡桃楸林(*Juglans mandshurica* forest, 缩写为 JMF)、棘皮桦林(*Betula dahurica* forest, 缩写为 BDF)、白桦林(*Betula platyphylla* forest, 缩写为 BPF)及杂木林(mixed forest, 缩写为 MF)等森林类型^[22]。五角枫为上述森林类型中的常见伴生种^[21,23]。一般在次林层中数量最多,高可达 5—13m,胸径一般达到 3cm 时开始生殖生长^[24]。

1.2 实验方法

1.2.1 植物取样

本研究于 2011 年 7 月—8 月在东灵山小龙门林场进行数据的采集工作。选取东灵山地区 3 种主要林型辽东栎林、白桦林和胡桃楸林,以林中的常见伴生种五角枫为对象(表 1),研究五角枫不同生活史阶段(成树、幼树、幼苗)叶性状的变化。在每种林型中选取生长在充足光照条件下,生长状况良好的五角枫成树(胸径>5cm,树高>5m)、幼树(树高 0.5—2m)和幼苗(树高 0.3—0.5m)各 10—15 棵。每棵树采集 20 片(幼苗采集 10—15 片)位于树冠外围、完全展开、没有病虫害的叶子。针对较高的成树,利用高枝剪或立于高处或爬树,尽量采集树冠中部外层的叶片。

表 1 不同群落物种组成及环境概况

Table 1 Species composition and environmental condition in three forest types					
森林类型 Forest type	海拔 Altitude/m	土壤含水量 Soil moisture	主要树种 Main tree species	相对多度/% Relative abundance	平均胸径 Mean DBH/cm
白桦林 <i>Betula platyphylla</i> forest	1470	19.21%	白桦 <i>B. platyphylla</i>	60.87	19.99
			山杨 <i>Populus davidiana</i>	15.22	10.62
			棘皮桦 <i>B. dahurica</i>	11.59	15.54
			五角枫 <i>A. mono</i>	5.80	7.78
			北京花楸 <i>Sorbus discolor</i>	4.35	7.41
胡桃楸林 <i>Juglans mandshurica</i> forest	1138	30.25%	胡桃楸 <i>J. mandshurica</i>	66.41	17.37
			五角枫 <i>A. mono</i>	16.79	7.61
			大叶白蜡 <i>Fraxinus americana</i>	6.87	7.31
			山梨 <i>Pyrus ussuriensis</i>	3.05	9.16
辽东栎林 <i>Quercus wutaishanica</i> forest	1380	10.12%	鼠李 <i>Rhamnus parvifolia</i>	3.05	5.80
			辽东栎 <i>Q. wutaishanica</i>	66.29	18.63
			棘皮桦 <i>B. dahurica</i>	11.24	18.03
			五角枫 <i>A. mono</i>	8.99	7.17
			白桦 <i>B. platyphylla</i>	6.74	15.40
			大叶白蜡 <i>F. americana</i>	6.74	9.67

采集到的叶片装入自封袋中于保温箱中冷藏保存。当天回到室内,对叶片进行测量。首先擦净叶片,剪掉叶柄,将每棵树的 20 片叶子分为 4 组,尽量使每组中的 5 片叶子大小相似。然后将这 5 片叶子按主脉的方向整齐叠好,选用精度为 0.01mm 的数显游标卡尺,在避开主叶脉和较大次级叶脉的叶片部分随机选取 3 个点进行叶厚度的测量。用电子天平(精度为 0.01g)称取 20 片叶子,记录鲜重,并应用 HP Scanjet G3110 扫描仪扫描每一片叶子,之后在 80℃ 的温度下烘干 48h 至恒重,称干重。应用 ImageJ 软件计算叶片的叶面积。叶体积为叶面积与叶厚度的乘积。叶含水量为叶鲜重与叶干重的差值。

1.2.2 数据分析

每个个体叶片性状的算术平均值作为该个体的性状值,然后将各性状值进行对数(以 10 为底)转换,使其满足正态分布后进行性状间异速生长关系的分析。异速生长方程为 $y = \alpha x^\beta$, 经对数转换后表达为 $\log y = \log \alpha + \beta \log x$ 。其中 x 与 y 代表不同的性状值, β 为方程的斜率,即异速生长指数,若 β 与 1.0 差异显著,则各性状间为异速生长关系。采用标准主轴回归(Standardized Major Axis, SMA)^[25] 计算异速生长方程的斜率 β , 通过计算残差和拟合斜率之间的相关性检验斜率与 1.0 的差异性。根据 Pitman^[26] 的方法计算斜率的置信区间。并通过 Warton 和 Weber^[27] 提出的(巴特利特修正)似然比检验的方法检验斜率的异质性。若斜率存在异质性则进行斜率间的 post-hoc 多重比较;若斜率间无显著差异,则给出共同斜率,并应用 Wald 检验检验各林型是否沿共同主轴有显著地移动,在有显著移动的情况下计算位移量。不同林型间物种性状沿共同主轴的位移表明了不同环境下物种性状值的差异。以上分析均采用 R 软件(2.9.2)的 smatr 包进行。所有统计检验的显著水平均采用 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 叶面积与叶干重间的生长关系

五角枫不同的发育阶段各叶性状间均表现为显著的相关关系(表 2)。每个发育阶段叶面积与叶干重的斜率在不同的林型间均无显著差异。其中成树的共同斜率为 0.65(95% 置信区间:CI=0.47—0.86),与 1.0 差异显著($P < 0.001$),表现为异速生长关系。幼树的共同斜率为 1.02(95% 置信区间:CI=0.80—1.28),幼苗的共同斜率为 1.00(95% 置信区间:CI=0.83—1.20)(图 1,表 3),均与 1.0 无显著差异。不同林型间五角枫成树沿共同主轴的位移表现为胡桃楸林和辽东栎林大于白桦林。幼树沿共同主轴的位移表现为胡桃楸林大于白桦林和辽东栎林。幼苗在 3 个林型间无明显的沿共同主轴的位移(图 1,表 4)。说明五角枫成树的叶面积和叶干重在胡桃楸林和辽东栎林中大于白桦林,五角枫幼树叶面积和叶干重在胡桃楸林中要大于白桦林和辽东栎林,五角枫幼苗叶面积和叶干重在 3 个林型间无显著差异。

表 2 不同林型下五角枫不同发育阶段叶性状的标准主轴(SMA)回归分析参数

Table 2 The parameters for leaf traits of different developmental stage of *A. mono* in different forest types analyzed by Standard Main Axis (SMA) regression

组别 Group		LA-LM		LV-LM		LWC-LM	
		斜率 Slope	R^2	斜率 Slope	R^2	斜率 Slope	R^2
成树 Adults	白桦林 BPF	0.83(0.46, 1.48)	0.31	1.05(0.67, 1.65)	0.65	1.01(0.64, 1.60)	0.63
	胡桃楸林 JMF	0.51(0.33, 0.79)	0.34	0.75(0.52, 1.08)	0.57	0.77(0.56, 1.06)	0.68
	辽东栎林 QWF	0.70(0.38, 1.28)	0.66	0.71(0.48, 1.04)	0.88	0.79(0.60, 1.03)	0.94
幼树 Saplings	白桦林 BPF	1.06(0.74, 1.52)	0.58	1.12(0.84, 1.49)	0.75	1.08(0.79, 1.50)	0.67
	胡桃楸林 JMF	0.96(0.64, 1.44)	0.50	1.14(0.82, 1.59)	0.68	1.08(0.79, 1.46)	0.74
	辽东栎林 QWF	1.02(0.58, 1.77)	0.39	1.32(0.78, 2.22)	0.49	1.20(0.71, 2.02)	0.48
幼苗 Seedlings	白桦林 BPF	0.96(0.69, 1.34)	0.65	1.15(0.87, 1.52)	0.77	0.96(0.72, 1.29)	0.74
	胡桃楸林 JMF	1.07(0.82, 1.40)	0.79	1.42(1.10, 1.84)	0.80	1.18(0.92, 1.50)	0.83
	辽东栎林 QWF	0.87(0.56, 1.38)	0.64	1.06(0.62, 1.81)	0.44	1.05(0.74, 1.50)	0.79
全部 All	白桦林 BPF	0.69(0.56, 0.85)	0.51	0.96(0.84, 1.09)	0.84	0.87(0.76, 1.00)	0.82
	胡桃楸林 JMF	0.83(0.72, 0.95)	0.78	1.07(0.94, 1.21)	0.83	1.05(0.95, 1.17)	0.89
	辽东栎林 QWF	0.83(0.71, 0.97)	0.85	0.99(0.85, 1.16)	0.85	1.05(0.93, 1.17)	0.92

LA: 叶面积 Lamina area; LM: 叶干重 Lamina mass; LV: 叶体积 Lamina volume; LWC: 叶含水量 Lamina water content; R^2 : 决定系数; 括号内为斜率 95% 的置信区间, 所有两变量之间均显著相关($P < 0.05$)

在不区分发育阶段的情况下,叶面积与叶干重整体的异速指数均显著小于 1.0($P < 0.05$),体现出显著的异速生长趋势。不同林型间五角枫的异速指数并无显著差异,共同斜率为 0.80(95% 置信区间:CI=0.73—0.88)(图 2,表 3)。胡桃楸林中五角枫沿共同主轴的位移大于白桦林,说明五角枫在胡桃楸林中的叶面积与叶干重大于白桦林(表 4)。

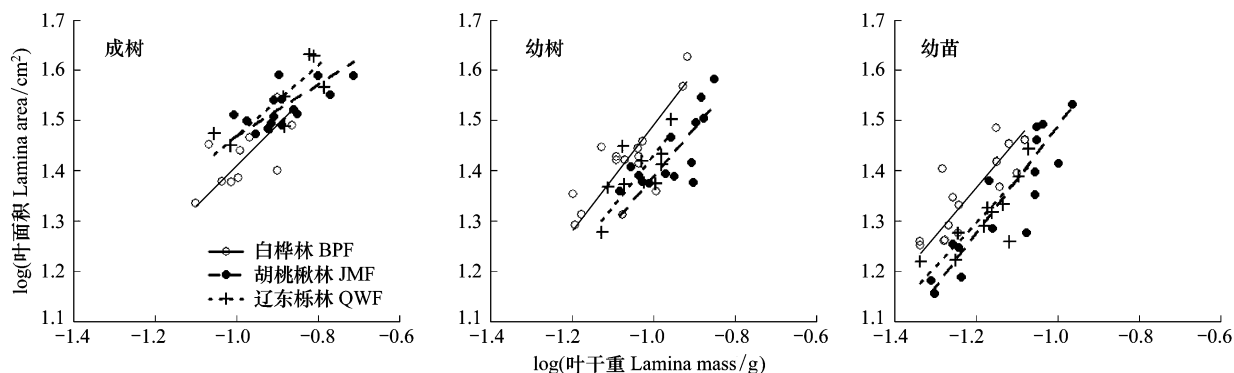


图1 不同林型间成树、幼树和幼苗叶面积与叶干重的生长关系

Fig. 1 Allometric relationships between lamina area and lamina mass of *A. mono* adult trees, saplings and seedlings varied with forest types BPF; *Betula platyphylla* forest; JMF; *Juglans mandshurica* forest; QWF; *Quercus wutaishanica* forest

表3 不同林型下五角枫不同发育阶段叶性状关系的斜率异质性检验及共同斜率

Table 3 Test for heterogeneity of the slope of leaf trait relationships and the common slope for each developmental stage among different forest types

组别 Group	LA-LM		LV-LM		LWC-LM	
	共同斜率 Common slope	斜率异质性 Heterogeneity of slopes	共同斜率 Common slope	斜率异质性 Heterogeneity of slopes	共同斜率 Common slope	斜率异质性 Heterogeneity of slopes
成树	0.65 (0.47, 0.86)	$p=0.356$	0.79 (0.63, 1.01)	$p=0.322$	0.81 (0.68, 0.98)	$p=0.552$
幼树	1.02 (0.80, 1.28)	$p=0.929$	1.16 (0.95, 1.40)	$p=0.835$	1.10 (0.90, 1.34)	$p=0.927$
幼苗	1.00 (0.83, 1.20)	$p=0.675$	1.26 (1.05, 1.51)	$p=0.387$	1.08 (0.91, 1.27)	$p=0.548$
全部 All	0.80 (0.73, 0.88)	$p=0.319$	1.00 (0.93, 1.09)	$p=0.454$	—	$p=0.048$

括号内为斜率 95% 的置信区间

表4 不同林型下五角枫不同发育阶段叶性状沿共同主轴的位移

Table 4 Shift of leaf traits along a common axis for each developmental stage in different forest types

组别 Group	LA-LM			LV-LM			LWC-LM		
	白桦林 BPF	胡桃楸林 JMF	辽东栎林 QWF	白桦林 BPF	胡桃楸林 JMF	辽东栎林 QWF	白桦林 BPF	胡桃楸林 JMF	辽东栎林 QWF
成树	0.79 ^a	0.96 ^b	0.96 ^b	-1.23 ^a	-1.02 ^b	-1.07 ^b	-1.49 ^a	-1.28 ^b	-1.34 ^{ab}
幼树	0.34 ^a	0.46 ^b	0.35 ^a	-1.73 ^a	-1.54 ^b	-1.72 ^a	-1.92 ^a	-1.73 ^b	-1.91 ^a
幼苗	0.14	0.21	0.14	-2.17	-1.98	-2.13	-2.17	-2.04	-2.19
全部	0.52 ^a	0.64 ^b	0.56 ^{ab}	-1.65 ^a	-1.44 ^b	-1.59 ^a	—	-1.73 ^a	-1.89 ^b

上标字母区分多重比较中各林型间的差异,相同字母表示差异不显著

2.2 叶体积与叶干重间的生长关系

五角枫各发育阶段叶体积与叶干重的斜率在不同的林型间均无显著差异。成树的共同斜率为 0.79 (95% 置信区间: CI=0.63—1.01), 幼树为 1.16 (95% 置信区间: CI=0.95—1.40), 幼苗为 1.26 (95% 置信区间: CI=1.05—1.51) (图 3, 表 3)。其中幼苗的斜率与 1.0 差异显著 ($P<0.05$), 为异速生长关系。不同林型下五角枫成树沿共同主轴的位移表现为胡桃楸林和辽东栎林大于白桦林。幼树沿共同主轴的位移表现为胡桃楸林大于白桦林和辽东栎林。幼苗在 3 个林型间无明显的沿共同主轴的位移 (图 3, 表 4)。表明五角枫成树的叶体积在胡桃楸林和辽东栎林中大于白桦林, 幼树的叶体积在胡桃楸林中要大于白桦林和辽东栎林, 幼苗叶体积在 3 个林型间无显著差异。

在不区分发育阶段的情况下, 不同林型下五角枫叶体积与叶干重的异速指数与 1.0 均无显著差异, 共同斜率为 1.00 (95% 置信区间: CI=0.93—1.09), 体现出等速生长的关系。其中胡桃楸林沿共同主轴的位移要大于白桦林和辽东栎林 (图 2, 表 4)。说明五角枫在胡桃楸林中的叶体积大于白桦林和辽东栎林。

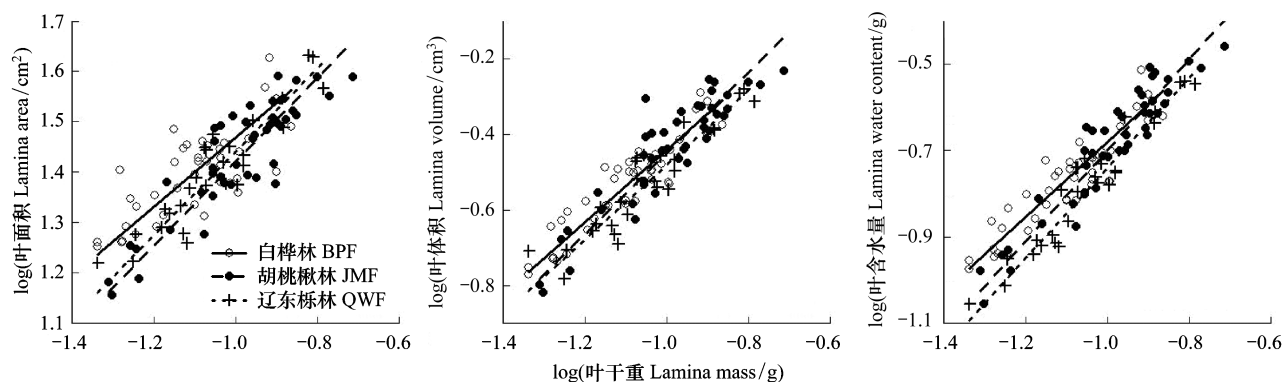


图2 不同林型间五角枫叶面积、叶体积、叶含水量与叶干重的异速生长关系

Fig. 2 Allometric relationships between lamina area, lamina volume, lamina water content and lamina mass of *A. mono* varied with forest types

BPF: *Betula platyphylla* forest; JMF: *Juglans mandshurica* forest; QWF: *Quercus wutaishanica* forest

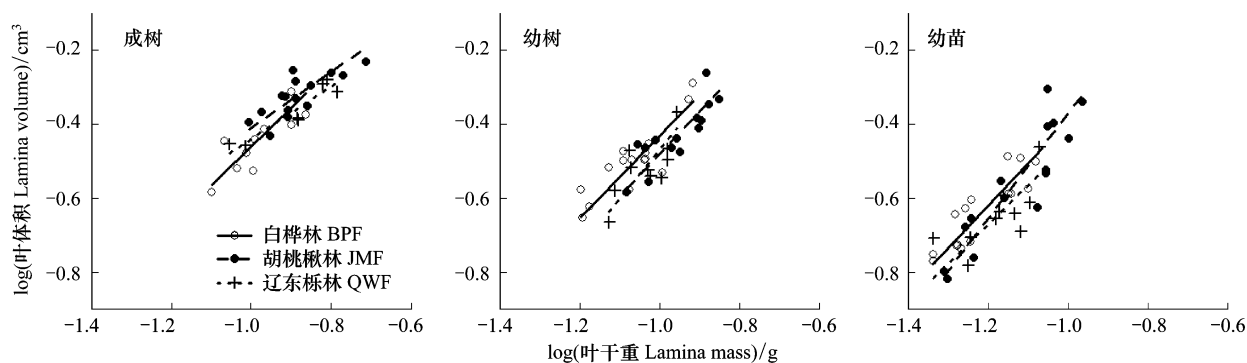


图3 不同林型间成树、幼树和幼苗叶体积与叶干重的生长关系

Fig. 3 Allometric relationships between lamina volume and lamina mass of *Acer mono* adult trees, saplings and seedlings varied with forest type

BPF: *Betula platyphylla* forest; JMF: *Juglans mandshurica* forest; QWF: *Quercus wutaishanica* forest

2.3 叶含水量与叶干重间的生长关系

五角枫不同发育阶段叶含水量与叶干重的斜率在不同的林型间均无显著差异。其中成树的共同斜率为 0.81 (95% 置信区间: 0.68—0.98), 与 1.0 差异显著 ($P < 0.05$), 表现为异速生长关系。幼树的共同斜率为 1.10 (95% 置信区间: 0.90—1.34), 幼苗为 1.08 (95% 置信区间: 0.91—1.27) (图 4, 表 3), 均与 1.0 无显著差异, 表现为等速生长关系。不同林型下五角枫成树、幼树沿共同主轴的位移均表现为胡桃楸林大于白桦林和辽东栎林。幼苗在 3 个林型间无明显的沿共同主轴的位移 (图 4, 表 4)。表明五角枫成树、幼树的叶含水量在胡桃楸林中要大于白桦林和辽东栎林, 幼苗叶含水量在 3 个林型间无显著差异。

在不区分发育阶段的情况下, 五角枫叶含水量与叶干重的异速指数在不同的林型间具有差异。其中五角枫在白桦林中的异速指数与胡桃楸林和辽东栎林中的均有显著差异 ($P < 0.05$)。白桦林中的异速指数为 0.87 (95% 置信区间: 0.76—1.00), 与 1.0 有显著差异 ($P < 0.05$), 体现出异速生长的关系 (表 2)。胡桃楸林和辽东栎林中五角枫的异速指数无显著差异, 共同斜率为 1.05 (95% 置信区间: 0.97—1.13), 与 1.0 无显著差异, 表现为等速生长关系。胡桃楸林中五角枫沿共同主轴的位移要大于辽东栎林 (图 2C, 表 4)。说明五角枫在胡桃楸林中的叶含水量大于辽东栎林。

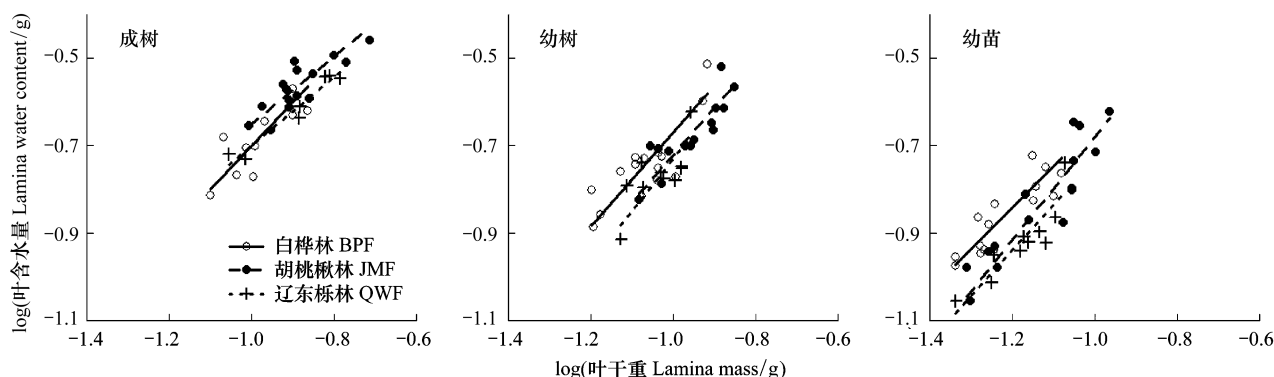


图 4 不同林型间成树、幼树和幼苗叶水分含量与叶干重的生长关系

Fig. 4 Allometric relationships between lamina water content and lamina mass of *A. mono* adult trees, saplings and seedlings varied with forest typesBPF: *Betula platyphylla* forest; JMF: *Juglans mandshurica* forest; QWF: *Quercus wutaishanica* forest

3 讨论和结论

3.1 不同发育阶段叶片资源利用策略

不同林型间随着五角枫的生长发育,其叶面积与叶干重均体现出异速生长的关系,异速指数显著小于 1.0 说明叶面积的增长速度要小于叶干重的增加速度。对成树、幼树和幼苗的分别研究结果表明,叶面积与叶干重的异速生长状态在五角枫的生长发育过程中发生了转变。成树叶面积与叶干重的异速指数与 1.0 差异显著,表现为异速生长关系。而幼树与幼苗均表现为等速生长关系。Milla 和 Reich^[14] 及 Niklas^[15] 等有关种内叶面积与叶干重的研究结果与本文研究结果一致,但他们的研究只集中在成树范围内。叶面积与叶干重的这种异速生长趋势多被解释为随叶的增长,干物质投资的“回报递减”现象。较大的叶子为了更多的曝露于阳光下和更有效率的将水分运输到叶肉细胞,将会投资更多的生物量用于微管组织和厚壁组织的建设,从而导致了分配到叶肉细胞的生物量减少,进而导致了较低的基于质量的光合速率^[28-29]。幼苗、幼树与成树异速关系的不同反映了它们资源利用的差异。幼苗、幼树主要生活在林冠层下光照不充足的环境中,又面对着大量草本与灌木植物的竞争,因此这个阶段将叶生物量主要投资于光捕获面积,可以通过叶面积的增大而获得更高的光合能力,有利于五角枫幼苗幼树的生长。而到了成树阶段,光照条件充足,本身并不需要通过叶面积的增加而增大光合速率,并且随着树木的增高,叶片所处环境的风力更高,水力限制也在增加^[30],因此成树会将叶生物量投资于机械支持结构与微管结构。而且较大的叶片会使边界层导度降低,光合气体交换减少,叶温增高,对枝条的机械拖拽力也较大^[31],所以对叶面积的增大加以限制是有益于成树生长的。

植物的叶片体积由叶片内的空间体积,溶液体积和结构体积 3 部分组成^[18],其中液态体积反映了其代谢的活跃程度^[32],因此综合分析叶体积和叶含水量随叶干重的变化,可以更好地了解叶片的生长策略。研究中叶体积、叶含水量与叶干重体现出等速生长的关系(白桦林叶含水量与叶干重为异速生长关系)。但不同的发育阶段生长状况并不相同,这体现了它们同化产物分配的差异性。随着叶干重的增长成树叶体积与其保持同速增长,而叶面积和叶含水量的增长速度都小于叶干重的增长速度。这可能指示着随着成树叶片干重的增大,成树将会投资更多的叶生物量用于同化和支持结构的构建。如 Ishida 等^[33] 研究发现 *Macaranga gigantea* 成树叶片细胞小且排列紧密,叶肉细胞的面积占总叶面积的百分比最高。Niinemets 等^[9] 发现随叶片干重的增大,叶干重投资于中脉和叶柄部分的百分比上升了。幼苗与成树的关系正好相反,随着干重的增加,叶体积的增长速度超过了干重的增长速度,而叶面积与水分含量都与干重保持等速增长关系,那么叶体积的增大可能就意味着幼苗叶片细胞间隙和空气空间较大,也就是说随着幼苗叶片的增大其单位干重的叶内空腔将会增加。这可能是由于幼苗本身的面积较小(成树为 31.94cm²,幼树为 26.68cm²,幼苗为 22.22cm²),光合能力较弱,光合产物主要用于面积的增加,同化结构的投资较少,因此空腔会不断增多。Ishida 等^[31] 发现 *Macaranga*

gigantea 幼苗的细胞层较少,排列松散,叶内空隙较大。幼树的叶干重与叶体积,叶含水量,叶面积都保持同速生长趋势,不同于成树在单位干重上投资较少的水分含量,不同于幼苗单位干重上空腔的增多,幼树较幼苗大的叶面积使其可以增多对同化结构的投资。Roderick 等^[30]认为叶片的液态体积反映了其代谢的活跃程度,Evans^[34]研究发现叶氮含量与光合能力显著相关。本研究中幼树单位干重上较成树投资更多的水分含量,单位干重上投资的氮含量最多(成树为 12.09mg/g,幼树为 12.94mg/g,幼苗为 12.76mg/g),可能表明了幼树基于质量的代谢速率更高。Nabeshima 和 Hiura^[24]在日本北海道苦小牧实验林中对五角枫的研究表明,成树与幼树相比,单位质量的光合能力降低了。Thomas 和 Winner^[35]对落叶阔叶树种的研究也发现了相同的变化趋势。这些都表明了幼树基于质量的代谢活性与光合能力是最强的,它的生长策略是对光合面积和光合同化结构的稳步投资。

3.2 不同林型间五角枫叶性状的可塑性

不同林型间五角枫性状值沿共同主轴的位移,表征了性状值在各林型间的差异。幼苗、幼树和成树在各林型间沿共同主轴的位移趋势相似。综合分析其趋势可得出:幼苗的 4 个性状值在各林型间无显著差异;幼树叶性状值的差异表现为胡桃楸林中各性状值高于白桦林和辽东栎林;成树叶性状值的差异表现为胡桃楸林和辽东栎林的叶干重、叶面积和叶体积高于白桦林,胡桃楸林的叶含水量高于白桦林和辽东栎林。以上结果表明随着五角枫的生长,白桦林中五角枫的长势要弱于辽东栎林和胡桃楸林。对各性状间总体的异速生长趋势的分析显示,不同林型间叶干重与叶面积和叶体积间的异速指数均无显著差异,但叶干重与叶含水量的异速生长关系在不同林型间发生了变化,具体表现为白桦林叶含水量的增长速度小于叶干重的增长速度,其他两个林型中叶含水量均与叶干重表现为同速增长趋势。异速生长曲线的变化表征着植物最高程度的可塑性响应^[36],以上结果说明随叶干重的增加,叶含水量发生了真正的可塑性变化,是可塑性较高的性状之一。叶含水量在一定的程度上表征了叶片的代谢活性^[30],不同林型中叶含水量和叶干重异速关系的变化可能说明了叶片对于代谢活性投资的变化。随着五角枫的生长发育,它在白桦林中的长势变弱,可能说明白桦林中供五角枫利用的资源变动性更大。白桦林较高的海拔位置,能够满足五角枫幼年期对于光照条件的需求。但高海拔的低温和较强的风力条件,也使得五角枫成树面对着更大的阻力,在资源有限的情况下需要减少代谢活动以维持其他方面的生长需求。因此,相较于其他两个林型,在白桦林中其代谢活动的增长速度要小于叶干重的增长速度。由于研究中并没有对相关的生境条件进行测定,因此无法定量地分析生境条件对叶内异速生长关系的影响,在今后的工作中,对这方面的研究应予以关注。

致谢:感谢中国科学院北京森林生态系统定位站在野外采样时提供的后勤保障,及王发龙、赵磊、赵明在野外工作中给予的帮助。

References:

- [1] McConnaughay K D M, Coleman J S. Biomass allocation in plants: ontogeny or optimality? A test along three resource gradients. *Ecology*, 1999, 80(8): 2581-2593.
- [2] Huey R B, Gilchrist G W, Carlson M L, Berrigan D, Serra L. Rapid evolution of a geographic cline in size in an introduced fly. *Science*, 2000, 287(5451): 308-309.
- [3] Weiner J. Allocation, plasticity and allometry in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2004, 6(4): 207-215.
- [4] Gould S J. Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biological Reviews*, 1966, 41(4): 587-638.
- [5] Gedroc J J, McConnaughay K D M, Coleman J S. Plasticity in root/shoot partitioning: optimal, ontogenetic, or both? *Functional Ecology*, 1996, 10(1): 44-50.
- [6] Bertalanfy LV (Translated by Wu X J). *Problems of life: an evaluation of modern biological thought*. Beijing: The Commercial Press, 1999: 141-168.
- [7] LaBarbera M. Analyzing body size as a factor in ecology and evolution. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1989, 20: 97-117.
- [8] West G B, Brown J H. The origin of allometric scaling laws in biology from genomes to ecosystems: towards a quantitative unifying theory of biological structure and organization. *Journal of Experimental Biology*, 2005, 208: 1575-1592.
- [9] Niinemets Ü, Portsmouth A, Tena D, Tobias M, Matesanz S, Valladares F. Do we Underestimate the Importance of Leaf Size in Plant Economics? Disproportional Scaling of Support Costs Within the Spectrum of Leaf Physiognomy. *Annals of Botany*, 2007, 100(2): 283-303.
- [10] Niinemets Ü, Portsmouth A, Tobias M. Leaf size modifies support biomass distribution among stems, petioles and midribs in temperate plants. *New Phytologist*, 2006, 171(1): 91-104.

- [11] Li G Y, Yang D M, Sun S C. Allometric relationships between lamina area, lamina mass and petiole mass of 93 temperate woody species vary with leaf habit, leaf form and altitude. *Functional Ecology*, 2008, 22(4): 557-564.
- [12] Wright J, Reich P B, Westoby M, Ackerly D D, Baruch Z, Bongers F, Cavender-Bares J, Chapin T, Cornlissen J H C, Diemer M, Flexas J, Garnier E, Groom P K, Gullás 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, Poo P, Prior L, Pyankov V I, Roumet C, Thomas S C, Tjoelker M G, Veneklaas E J, Villar R. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 2004, 428: 821-827.
- [13] Zhu J D, Meng T T, Ni J, Su H X, Xie Z Q, Zhang S R, Zheng Y R, Xiao C W. Within-leaf allometric relationships of mature forests in different bioclimatic zones vary with plant functional types. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(7): 687-698.
- [14] Milla R, Reich P B. The scaling of leaf area and mass: the cost of light interception increases with leaf size. *Proceedings of the royal society B*, 2007, 274(1622): 2109-2114.
- [15] Niklas K J, Cobb E D, Niinemets Ü, Reich P B, Sellin A, Shipley B, Wright I J. "Diminishing returns" in the scaling of functional leaf traits across and within species groups. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(21): 8891-8896.
- [16] Enquist B J, Niklas K J. Global allocation rules for patterns of biomass partitioning in seed plants. *Science*, 2002, 295(5559): 1517-1520.
- [17] Weller D E. The interspecific size-density relationship among crowded plant stands and its implications for the $-3/2$ power rule of self-thinning. *The American Naturalist*, 1989, 133(1): 20-41.
- [18] Roderick M L, Berry S L, Noble I R, Farquhar G D. A theoretical approach to linking the composition and morphology with the function of leaves. *Functional Ecology*, 1999, 13(5): 683-695.
- [19] Hou J H, Huang J H, Ma K P. Eleven-year population growth dynamics of major species in a *Quercu liaotungensis* forest in the Dongling Mountains, northern China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2004, 28(5): 609-615.
- [20] Ma K P, Gao X M, Yu S L. On the characteristics of the flora of Dongling Mountain area and its relationship with a number of other mountainous floras in China. *Bulletin of Botanical Research*, 1995, 15(4): 501-515.
- [21] Lou A R. A preliminary analysis of characteristic of plant communities and their floristic composition in Dongling Mountain of Beijing. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2004, 40(4): 507-512.
- [22] Li L, Liu H F, Bai F, Zhu Y, Li G Q, Li W C, Sang W G. Species composition and community structure of four deciduous broadleaved secondary forest in Dongling Mountain. *Biodiversity Science*, 2011, 19(2): 243-251.
- [23] Liu H F, Li L, Sang W G. Species composition and community structure of the Donglingshan forest dynamic plot in a warm temperate deciduous broad-leaved secondary forest, China. *Biodiversity Science*, 2011, 19(2): 232-242.
- [24] Nabeshima E, Hiura T. Size dependency of photosynthetic water- and nitrogen-use efficiency and hydraulic limitation in *Acer mono*. *Tree Physiology*, 2004, 24(7): 745-752.
- [25] Warton D I, Wright I, Falster D S, Westoby M. Bivariate line-fitting methods for allometry. *Biological Reviews*, 2006, 81(2): 259-291.
- [26] Pitman E T G. A note on normal correlation. *Biometrika*, 1939, 31(1/2): 9-12.
- [27] Warton D I, Weber N C. Common slope tests for bivariate errors-in-variables models. *Biometrical Journal*, 2002, 44(2): 161-174.
- [28] Poorter H, Evans J R. Photosynthetic nitrogen-use efficiency of species that differ inherently in specific leaf area. *Oecologia*, 1998, 116(1/2): 26-37.
- [29] Garnier E, Salager J L, Laurent G, Sonié L. Relationships between photosynthesis, nitrogen and leaf structure in 14 grass species and their dependence on the basis of expression. *The New Phytologist*, 1999, 143(1): 119-129.
- [30] Ryan M G, Yoder B J. Hydraulic limits to tree height and tree growth. *BioScience*, 1997, 47(4): 235-242.
- [31] Niklas K J, Speck T. Evolutionary trends in safety factors against wind-induced stem failure. *American Journal of Botany*, 2001, 88(7): 1266-1278.
- [32] 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.
- [33] Ishida A, Yazaki K, Hoe A L. Ontogenetic transition of leaf physiology and anatomy from seedlings to mature trees of a rain forest pioneer tree, *Macaranga gigantea*. *Tree Physiology*, 2005, 25(5): 513-522.
- [34] Evans J R. Photosynthesis and nitrogen relationships of leaves in C3 plants. *Oecologia*, 1989, 78(1): 9-19.
- [35] Thomas S C, Winner W E. Photosynthetic differences between saplings and adult trees: an integration of field results by meta-analysis. *Tree Physiology*, 2002, 22(2/3): 117-127.
- [36] Lu X M, Zhou C F, An S Q, Fang C, Zhao H, Yang Q, Yan C. Phenotypic plasticity, allometry and invasiveness of plants. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(9): 1438-1444.

参考文献:

- [13] 祝介东, 孟婷婷, 倪健, 苏宏新, 谢宗强, 张守仁, 郑元润, 肖春旺. 不同气候带间成熟林植物叶性状间异速生长关系随功能型的变异. *植物生态学报*, 2011, 35(7): 687-698.
- [19] 侯继华, 黄建辉, 马克平. 东灵山辽东栎林主要树种种群 11 年动态变化. *植物生态学报*, 2004, 28(5): 609-615.
- [20] 马克平, 高贤明, 于顺利. 东灵山地区植物区系的基本特征与若干山区植物区系的关系. *植物研究*, 1995, 15(4): 501-515.
- [21] 娄安如. 北京东灵山地区植物群落及其组成成分特性的分析. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(4): 507-512.
- [22] 李亮, 刘海丰, 白帆, 祝燕, 李广起, 李文超, 桑卫国. 东灵山 4 种落叶阔叶次生林的物种组成与群落结构. *生物多样性*, 2011, 19(2): 243-251.
- [23] 刘海丰, 李亮, 桑卫国. 东灵山暖温带落叶阔叶次生林动态监测样地: 物种组成与群落结构. *生物多样性*, 2011, 19(2): 232-242.
- [36] 陆霞梅, 周长芳, 安树青, 方超, 赵晖, 杨茜, 颜超. 植物的表型可塑性、异速生长及其入侵能力. *生态学杂志*, 2007, 26(9): 1438-1444.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 13 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review of ecological effects of remnant trees in degraded forest ecosystems after severe disturbances MIAO Ning, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3889)
- Mechanism and application of bioremediation to heavy metal polluted soil using arbuscular mycorrhizal fungi LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LIN Shuangshuang, et al (3898)

Autecology & Fundamentals

- Changes of allometric relationships among leaf traits in different ontogenetic stages of *Acer mono* from different types of forests in Donglingshan of Beijing YAO Jing, LI Ying, WEI Liping, et al (3907)
- The combined effects of increasing CO₂ concentrations and different temperatures on the growth and chlorophyll fluorescence in *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) LIU Lu, DING Liuli, CHEN Weizhou, et al (3916)
- Research on biomass expansion factor of chinese fir forest in Zhejiang Province based on LULUCF greenhouse gas Inventory ZHU Tangjun, SHEN Chuchu, JI Biyong, et al (3925)
- Influence of soil gradual drought stress on *Acorus calamus* growth and photosynthetic fluorescence characteristics WANG Wenlin, WAN Yinjing, LIU Bo, et al (3933)
- Isolation, identification, real-time PCR investigation of an endophytic phosphate-solubilizing bacteria from *Caragana korshinskii* Kom. roots ZHANG Lizhen, FENG Lili, MENG Qixia, et al (3941)
- Plant's and soil organism's diversity across a range of *Eucalyptus grandis* plantation ages ZHANG Danju, ZHANG Jian, YANG Wanqin, et al (3947)
- Effects of diet and starvation on growth and survival of *Scapharca broughtonii* larvae WANG Qingzhi, ZHANG Ming, FU Chengdong, et al (3963)
- Multidrug-resistant bacteria in livestock feces QI Shiyue, REN Siwei, LI Xueling, et al (3970)
- Physiological regulation related to the decline of *Alexandrium catenella* MA Jinhua, MENG Xi, ZHANG Shu, et al (3978)
- Numerical simulation of water quality based on environmental fluid dynamics code for grass-algae lake in Inner Mongolia LI Xing, SHI Hongsen, ZHANG Shuli, et al (3987)

Population, Community and Ecosystem

- Influence of enclosure on *Glycyrrhiza uralensis* community and distribution pattern in arid and semi-arid areas LI Xuebin, CHEN Lin, LI Guoqi, et al (3995)
- The interannual variation of net primary productivity of three coniferous forests in Liupan Mountains of Ningxia and its responses to climatic factors WANG Yunni, XIONG Wei, WANG Yanhui, et al (4002)
- Soil water use and balance characteristics in mature forest land profile of *Caragana korshinskii* in Semiarid Loess Area MO Baoru, CAI Guojun, YANG Lei, LU Juan, et al (4011)
- Effect of simulated acid deposition on chemistry of surface runoff in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan QIU Qingyan, CHEN Xiaomei, LIANG Guohua, et al (4021)
- A space optimization model of water resource conservation forest in Dongting Lake based on improved PSO LI Jianjun, ZHANG Huiru, LIU Shuai, et al (4031)
- Allelopathic effects of aqueous extract of exotic plant *Rhus typhina* L. on soil micro-ecosystem HOU Yuping, LIU Lin, WANG Xin, et al (4041)
- The impact of natural succession process on waterbird community in a abandoned fishpond at Chongming Dongtan, China YANG Xiaoting, NIU Junying, LUO Zukui, et al (4050)
- Mercury contents in fish and its biomagnification in the food web in Three Gorges Reservoir after 175m impoundment YU Yang, WANG Yuchun, ZHOU Huaidong, et al (4059)

- Microsatellite analysis on genetic diversity of common carp, *Cyprinus carpio*, populations in Yuan River
 YUE Xingjian, ZOU Yuanchao, WANG Yongming, et al (4068)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Research on spatio-temporal change of temperature in the Northwest Arid Area HUANG Rui, XU Ligang, LIU Junmin (4078)
- Simulation of soil respiration in forests at the catchment scale in the eastern part of northeast China
 GUO Lijuan, GUO Qingxi (4090)
- The early effects of nitrogen addition on CH₄ uptake in an alpine meadow soil on the Eastern Qinghai-Tibetan Plateau
 ZHANG Peilei, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (4101)
- Analysis of water ecological footprint in Guangxi based on ecosystem services ZHANG Yi, ZHANG Heping (4111)
- The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen
 WU Jiansheng, ZHANG Liqing, PENG Jianet al (4125)
- Carbon sources and storage sinks in scenic tourist areas: a Mount Lushan case study
 ZHOU Nianxing, HUANG Zhenfang, LIANG Yanyan (4134)
- Impacts of climate change on dominant pasture growing season in Central Inner Mongolia
 LI Xiazi, HAN Guodong, GUO Chunyan (4146)
- Phenological Characteristics of Typical Herbaceous Plants (*Lris lacteal*) and Its Response to Climate Change in Minqin Desert
 HAN Fugui, XU Xianying, WANG Lide, et al (4156)
- Biomass and distribution pattern of carbon storage in *Eomecon chionantha* Hance
 TIAN Dalun, YAN Wende, LIANG Xiaocui, et al (4165)
- Temporal dynamics and influencing factors of fine roots in five Chinese temperate forest ecosystems
 LI Xiangfei, WANG Chuankuan, QUAN Xiankui (4172)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of AMF on soil improvement and maize growth in mining area under drought stress
 LI Shaopeng, BI Yinli, CHEN Peizhen, et al (4181)

Urban, Rural and Social Ecology

- Health function evaluation and exploring its mechanisms in the Shanghai Green Belt, China
 ZHANG Kaixuan, ZHANG Jianhua (4189)

Research Notes

- Time lag effects of rainfall inside a *Platycladus Orientalis* plantation forest in the Beijing Mountain Area, China
 SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jiayin (4199)
- Long-term effects of harvest residue management on soil total carbon and nitrogen concentrations of a replanted Chinese fir
 plantation HU Zhenhong, HE Zongming, FAN Shaohui, et al (4205)

《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 彭少麟

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 13 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 13 (July, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元