

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第1期 Vol.32 No.1 **2012**

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



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 1 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

局域种群的 Allee 效应和集合种群的同步性	刘志广, 赵雪, 张丰盘, 等 (1)
叶片毛尖对齿肋赤藓结皮凝结水形成及蒸发的影响	陶冶, 张元明 (7)
长江口锋面附近咸淡水混合对浮游植物生长影响的现场培养	王奎, 陈建芳, 李宏亮, 等 (17)
河流流量对流域下垫面特性的响应	田迪, 李叙勇, Donald E. Weller (27)
中国中东部平原亚热带湿润区湖泊营养物生态分区	柯新利, 刘曼, 邓祥征 (38)
基于氮磷比解析太湖苕溪水体营养现状及应对策略	聂泽宇, 梁新强, 邢波, 等 (48)
滇池外海蓝藻水华爆发反演及规律探讨	盛虎, 郭怀成, 刘慧, 等 (56)
采伐干扰对华北落叶松细根生物量空间异质性的影响	杨秀云, 韩有志, 张芸香, 等 (64)
松嫩草原榆树疏林对不同干扰的响应	刘利, 王赫, 林长存, 等 (74)
天山北坡不同海拔梯度山地草原生态系统地上净初级生产力对气候变化及放牧的响应	周德成, 罗格平, 韩其飞, 等 (81)
草原化荒漠草本植物对人工施加磷素的响应	苏洁琼, 李新荣, 冯丽, 等 (93)
自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异	张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (101)
晋、陕、宁、蒙柠条锦鸡儿群落物种多样性对放牧干扰和气象因子的响应	周伶, 上官铁梁, 郭东罡, 等 (111)
华南地区 6 种阔叶幼苗叶片形态特征的季节变化	薛立, 张柔, 奚如春, 等 (123)
河西走廊不同红砂天然群体种子活性相关性	苏世平, 李毅, 种培芳 (135)
江西中南部红壤丘陵区主要造林树种碳固定估算	吴丹, 邵全琴, 李佳, 等 (142)
酸雨和采食模拟胁迫下克隆整合对空心莲子草生长的影响	郭伟, 李钧敏, 胡正华 (151)
棉铃虫在 4 个辣椒品种上的寄主适合度	贾月丽, 程晓东, 蔡永萍, 等 (159)
烟草叶面积指数的高光谱估算模型	张正杨, 马新明, 贾方方, 等 (168)
不同作物田烟粉虱发生的时空动态	崔洪莹, 戈峰 (176)
长期施肥对稻田土壤固碳功能菌群落结构和数量的影响	袁红朝, 秦红灵, 刘守龙, 等 (183)
新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用	郭甜, 何丙辉, 蒋先军, 等 (190)
一株产漆酶土壤真菌 F-5 的分离及土壤修复潜力	茆婷, 潘澄, 徐婷婷, 等 (198)
木论喀斯特自然保护区土壤微生物生物量的空间格局	刘璐, 宋同清, 彭晚霞, 等 (207)
岷江干旱河谷 25 种植物一年生植株根系功能性状及相互关系	徐琨, 李芳兰, 苟水燕, 等 (215)
黄土高原草地植被碳密度的空间分布特征	程积民, 程杰, 杨晓梅, 等 (226)
棉铃发育期棉花源库活性对棉铃对位叶氮浓度的响应	高相彬, 王友华, 陈兵林, 等 (238)
耕作方式对紫色水稻土有机碳和微生物生物量碳的影响	李辉, 张军科, 江长胜, 等 (247)
外源钙对黑藻抗镉胁迫能力的影响	闵海丽, 蔡三娟, 徐勤松, 等 (256)
强筋与弱筋小麦籽粒蛋白质组分与加工品质对灌浆期弱光的响应	李文阳, 闫素辉, 王振林 (265)
专论与综述	
蛋白质组学研究揭示的植物根盐胁迫响应机制	赵琪, 戴绍军 (274)
流域生态风险评价研究进展	许妍, 高俊峰, 赵家虎, 等 (284)
土壤和沉积物中黑碳的环境行为及效应研究进展	汪青 (293)
研究简报	
青藏高原紫穗槐主要形态特征变异分析	梁坤伦, 姜文清, 周志宇, 等 (311)
菊属与蒿属植物苗期抗蚜虫性鉴定	孙娅, 管志勇, 陈素梅, 等 (319)
滨海泥质盐碱地衬膜造林技术	景峰, 朱金兆, 张学培, 等 (326)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 332 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-01



封面图说: 白鹭展翅为梳妆, 玉树临风巧打扮——这是大白鹭繁殖期时的美丽体态。大白鹭体羽全白, 身长 94—104cm, 寿命 20 多年。是白鹭中体型最大的。繁殖期的大白鹭常常在湿地附近的大树上筑巢, 翩翩飞舞吸引异性, 其繁殖期背部披有蓑羽, 脸颊皮肤从黄色变成兰绿色, 嘴由黄色变成绿黑色。大白鹭是一个全世界都有它踪迹的广布种, 一般单独或成小群, 在湿地觅食, 以小鱼、虾、软体动物、甲壳动物、水生昆虫为主, 也食蛙、蝌蚪等。

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

DOI: 10.5846/stxb201011291691

薛立,张柔,奚如春,郭淑红,杨振意,刘斌,韦如萍. 华南地区 6 种阔叶幼苗叶片形态特征的季节变化. 生态学报, 2012, 32(1): 0123-0134.

Xue L, Zhang R, Xi R C, Guo S H, Yang Z Y, Liu B, Wei R P. Seasonal change of leaf morphological traits of six broadleaf seedlings in South China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 0123-0134.

华南地区 6 种阔叶幼苗叶片形态特征的季节变化

薛立^{1,*}, 张柔¹, 奚如春¹, 郭淑红¹, 杨振意¹, 刘斌¹, 韦如萍^{1,2}

(1. 华南农业大学林学院, 广州 510642; 2. 广东省林业科学研究院, 广州 510520)

摘要: 为了了解 6 种阔叶幼苗叶形态的季节变化规律和气候对其的影响, 对山杜英、米老排、樟树、海南红豆、红花油茶和红锥 6 种幼苗叶长和叶宽的相关性和叶片的比叶重变化和其与气候的关系进行了研究, 结果表明: 幼苗各月份的叶长和叶宽呈极显著正相关。根据相关系数把 6 种幼苗分为: a), 叶长和叶宽的相关性随季节变化型, 包括山杜英、红花油茶、海南红豆、红锥; b), 叶长和叶宽的相关性稳定型, 有樟树和米老排。6 种幼苗的叶长和叶宽相关系数与月降雨量成线性关系, 与月平均气温及光照时间呈二项式关系。6 种幼苗叶片的比叶重随幼苗种类和季节而变化, 新叶的比叶重上半年比下半年变化大, 老叶全年变化较小, 上半年新叶的比叶重比老叶低, 下半年两者相近。红花油茶新叶和老叶的平均比叶重明显大于其余 5 种幼苗。6 种幼苗的比叶重与降雨量、平均气温和光照时间存在二项式关系。

关键词: 阔叶树种; 叶片性状; 相关关系; 比叶重; 季节变化; 气候影响

Seasonal change of leaf morphological traits of six broadleaf seedlings in South China

XUE Li^{1,*}, ZHANG Rou¹, XI Ruchun¹, GUO Shuhong¹, YANG Zhenyi¹, LIU Bin¹, WEI Ruping^{1,2}

1 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2 Academy of Guangdong Forestry, Guangzhou 510520, China

Abstract: Leaf traits reflect use-efficiency strategies in plants. The manner in which leaf traits change within or across species can profoundly affect plant growth, reproduction and ecosystem function. The morphological characteristics of plant leaves are greatly influenced by environmental factors associated with climate and light. Morphological plasticity plays an important role in resource acquisition of plants and variations in leaf trait is of major importance for plant adjustment to resource availability. Changes in temperature and rainfall patterns are predicted to significantly influence morphological plasticity of plant leaves. Leaf morphology of native vegetation has often been interpreted as a sensitive indicator of environmental conditions. The relationship between climate and leaf plasticity is universal and particularly important in certain ecosystems, because of their enormous size and correspondingly vast stores of carbon. Tree ecologists with an interest in leaf dynamics have typically concentrated on assessing a limited number of variables, such as leaf length and width, leaf area and leaf weight. However, assessing the leaf dynamics of forest trees is especially challenging since turnover is often high and there is abundant variation in leaf phenotypic characteristics between and within individuals, populations and species. The correlation between leaf length and leaf width and changes of leaf mass per area (LMA) were studied in seedlings of *Elaeocarpus sylvestris*, *Mytilaria laosensis*, *Cinnamomum camphora*, *Camellia semiserata*, *Ormosia pinnata* and *Castanopsis hystrix*, in order to understand change of leaf shape of the six broadleaf seedlings and climate effects on their

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30872052); 广东省林业局资助项目(F09054)

收稿日期: 2010-11-29; 修订日期: 2011-05-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: forxue@scau.edu.cn

leaf changes. The very significant correlation existed between leaf length and leaf width of the six seedlings. The month changes of correlative coefficients of most seedlings were intimate with season change. The six seedlings were divided into two types according to leaf similarity change: a), correlation change with season including *E. sylvestris*, *C. semiserata*, *O. pinnata* and *C. hystrix*; b), steady correlation including *C. camphora* and *M. laosensis*. The correlation between leaf length and leaf width changed with rainfall amount according to a linear relationship, and there was a binomial relationship between the correlation and mean temperature as well as between the correlation and illumination time. The LMA changed with seedling species and season and the change was great in the first half year and small in the second half year. The LMA of young leaf was greater than old leaf in the first half year whereas it was close to that of old leaf in the second half year. The change in LMA of old leaf for the six seedlings was small throughout whole year whereas that of young leaf in the first half year was greater than in the second half year. In the first half year the LMA of young leaf for the same seedling was greater than old leaf, whereas they were the similar to each other in the second half year. The LMA of young and old leaves of *C. semiserata* seedlings was significantly greater than that of other seedlings. The LMA of the six seedlings changed with rainfall amount, mean temperature and illumination time according to a binomial relationship.

Key Words: broadleaf tree species; leaf traits; correlation; leaf mass per area; seasonal change; climate effect

叶片是植物主要组成部分,也是植物进行生理活动和发挥生态功能作用的主要器官。叶片受水分、温度、光照等条件的影响^[1-2],主要表现出叶形态的变化、叶厚度变化和叶内部结构的变化^[3]。这些表现型的可塑性被认为是植物适应生境在时间和空间上的异质性的一个重要机制^[4]。高的可塑性常与对环境有高的潜在适应性有关^[5]。大多数植物生态学家认为,在众多的植物性状中,植物的一些叶片性状与植物的生长对策及植物利用资源的能力紧密联系,能够反应植物适应环境变化所形成的生存对策^[6-7]。叶片性状特征直接影响到植物的基本行为和功能^[8],其变化方式能对植物生长和生态系统的功能产生深刻影响^[9],所以叶性状的研究逐渐成为生态学领域研究的新热点^[10-15],然而目前对叶片形态结构随季节变化而表现出的发育可塑性研究较少。

近年来随着生态公益林的蓬勃发展,大力推广用乡土阔叶树种造林,因而其生物学特性的研究受到重视。山杜英(*Elaeocarpus sylvestris*)、米老排(*Mytilaria laosensis*)、樟树(*Cinnamomum camphora*)、红花油茶(*Camellia semiserata*)、海南红豆(*Ormosia pinnata*)和红锥(*Castanopsis hystrix*)等阔叶树种是华南地区优良乡土阔叶树种,可作道路树、庭荫树,营造风景林和防护林,用于城乡绿化,具有重要的经济价值和生态价值,是广东营造生态公益林的主要树种,目前未见其叶片生长节律的报道。作者通过调查以上6个树种幼苗的叶长和叶宽的生长情况、叶比重的月变化及其与气候的关系,研究其生长节律,可以了解叶片形态变化的规律和气候对其叶片发育可塑性的影响。

1 材料和方法

1.1 试验地和试验幼苗

试验地设在华南农业大学林学院六号楼北面的教学苗圃 113°18'E, 20°6'N,属于南亚热带季风气候,温暖多雨,夏长冬短。年平均温度、最冷月(1月)和最热月温度分别为 21.8、13.3℃和 28.1℃。年降雨量 1714.4 mm,4—9月降雨量占年降雨量的 82%,年均相对湿度 79%。试验树种为华南农业大学苗圃的 1年生幼苗。除了供给充足水分,未对幼苗进行任何栽培措施。试验开始时各种幼苗的概况如表 1。

1.2 研究方法

1.2.1 叶片形态数据的获取和分析

2002年1—12月,每树种分上中下层选择 50片完整健康的叶并挂上标签,以后每月定期测量每片叶的叶长(X)和叶宽(Y)。将每个月叶长和叶宽的相关性进行回归拟合,建立以叶宽为因变量 Y 的回归模型,分析相关性。

表 1 试验幼苗概况

Table 1 General characteristics of the experimental seedlings

树种 Tree species	科名 Family name	平均地径 Mean ground diameter /cm	平均树高 Mean tree height/cm	平均冠幅 Mean crown width/cm
山杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i>	杜英科	0.7	90	127
米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	金缕梅科	1.0	115	113
樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	樟科	0.6	60	118
红花油茶 <i>Camellia semiserata</i>	山茶科	0.5	48	69
海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	蝶形花科	0.6	38	109
红锥 <i>Castanopsis hystrix</i>	壳斗科	0.3	42	74

1.2.2 叶片干鲜重和叶面积数据获取和处理

每月分别采摘每树种具有完整叶片、叶色正常和生长健康的老叶(>1年生叶)和新叶(当年生叶)5枚,测量叶片鲜重并装入保鲜薄膜袋带回实验室用叶面积测量仪测量叶面积,然后将叶放在烘箱在80℃下烘到恒重并测干重,分别计算新叶和老叶的比叶重(叶干重(g)/总叶面积(m²)),分析比叶重的月变化。

1.2.3 广州市气象资料的获取

通过广州市气象中心获取广州市2002年的气象资料如表2。

表 2 广州市 2002 年的气象资料

Table 2 Meteorological data in Guangzhou City in 2002

项目 Item	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月降水量 Monthly rainfall/mm	44	5	94	34	312	238	326	299	300	123	35	50
月平均气温 Monthly mean air temperature/℃	14.7	17.5	20.7	24.5	27.1	28.9	28.4	28.5	26.4	23.8	19.4	15.8
月日照时数 Illumination time/h	136	113	78	120	152	166	143	170	115	121	147	106

2 结果与分析

2.1 幼苗叶片长和宽相关性分析

2.1.1 山杜幼苗的叶长和叶宽关系

山杜英幼苗叶片各月长和宽的相关系数在0.584—0.924之间,均为极显著相关($P < 0.01$)(表3)。相关系数变化较大,全年呈现冬春高夏秋降低,这可能是因为冬春的光照弱和温度低,叶片对环境因子不是很敏感,故叶片相似性高;4、5月份是生长初期,6、7、8月份是生长高峰期,生理活动活跃,叶片对环境变化敏感,由其引起的变异性性和可塑性变大,相关系数也很低。

表 3 山杜英叶长和叶宽相关性

Table 3 Correlation between leaf length and leaf width of seedlings of *E. sylvestris*

月份 Month	样本数 Sample number	回归方程 Regression equation	R	P
1	50	$y = 0.2207x + 0.8023$	0.900	<0.01
2	50	$y = 0.2444x + 0.6181$	0.924	<0.01
3	50	$y = 0.2355x + 0.7275$	0.917	<0.01
4	50	$y = 0.2325x + 0.5327$	0.809	<0.01
5	50	$y = 0.2327x + 0.7187$	0.780	<0.01
6	50	$y = 0.1842x + 1.4392$	0.705	<0.01
7	50	$y = 0.1862x + 1.5984$	0.644	<0.01
8	50	$y = 0.2196x + 1.4469$	0.584	<0.01
9	50	$y = 0.2771x + 0.1700$	0.773	<0.01
10	50	$y = 0.2215x + 0.6617$	0.773	<0.01
11	50	$y = 0.2229x + 0.7373$	0.869	<0.01
12	50	$y = 0.2245x + 0.7547$	0.871	<0.01

2.1.2 米老排幼苗的叶长和叶宽关系

米老排幼苗叶长和叶宽相关系数各月均在 0.8 以上,均呈显著相关($P < 0.01$)(表 4),各月的相关系数变化不大,其中 9 月最高,8 月最低,表明其叶片形态主要由遗传决定,气候和环境变化对其影响不大,全年各月叶片的相似性高,相关系数接近。

表 4 米老排叶长和宽相关性

Table 4 Correlation between leaf length and leaf width of seedlings of *M. laosensis*

月份 Month	样本数 Sample number	回归方程 Regression equation	<i>R</i>	<i>P</i>
1	50	$y = 1.0333x + 1.9262$	0.890	<0.01
2	50	$y = 0.9667x + 2.8067$	0.880	<0.01
3	50	$y = 0.8894x + 3.5445$	0.878	<0.01
4	50	$y = 1.1269x + 1.3126$	0.900	<0.01
5	50	$y = 1.0959x + 1.4350$	0.873	<0.01
6	50	$y = 1.1042x + 1.1438$	0.836	<0.01
7	50	$y = 1.0852x + 1.7914$	0.900	<0.01
8	50	$y = 0.9430x + 2.9921$	0.819	<0.01
9	50	$y = 1.0526x + 1.7752$	0.913	<0.01
10	50	$y = 1.0401x + 1.8501$	0.888	<0.01
11	45	$y = 1.0512x + 1.7834$	0.890	<0.01
12	50	$y = 1.0623x + 1.7645$	0.871	<0.01

2.1.3 樟树幼苗的叶长和叶宽关系

樟树幼苗各月叶长和叶宽相关系数在 0.735—0.921 之间,均呈极显著相关($P < 0.01$)(表 5)。除 8 月相关系数为 0.735,其余都在 0.8 以上,前 4 个月份最高。表明一般生长慢的冬春季节叶的相似性高,生长速度略快的夏秋季节叶变异略大。整体看樟树叶全年各月形态相似性高,季节气候影响不大,表现出比较稳定的遗传性状。

表 5 樟树叶长和叶宽相关性

Table 5 Correlation between leaf length and leaf width of seedlings of *C. camphora*

月份 Month	样本数 Sample number	回归方程 Regression equation	<i>R</i>	<i>P</i>
1	50	$y = 0.3352x + 0.9533$	0.910	<0.01
2	50	$y = 0.3470x + 0.8618$	0.921	<0.01
3	50	$y = 0.3393x + 0.9368$	0.913	<0.01
4	50	$y = 0.3922x + 0.4786$	0.905	<0.01
5	50	$y = 0.4366x + 0.1586$	0.885	<0.01
6	50	$y = 0.4198x + 0.5068$	0.851	<0.01
7	50	$y = 0.4152x + 0.6599$	0.854	<0.01
8	50	$y = 0.4310x + 0.6204$	0.735	<0.01
9	50	$y = 0.4631x - 0.0253$	0.886	<0.01
10	50	$y = 0.3368x + 1.0344$	0.882	<0.01
11	50	$y = 0.3370x + 0.9816$	0.894	<0.01
12	50	$y = 0.3381x + 0.9658$	0.888	<0.01

2.1.4 红花油茶幼苗的叶长和叶宽关系

红花油茶幼苗各月叶长和叶宽相关系数在 0.629—0.823 之间,均呈极显著相关($P < 0.01$)(表 6)。全年 4—9 月份相关系数较小,表明生长慢的冬春季节叶片的相似性大,雨热集中的夏秋季节的叶片相似性下降,

这可能是叶片生理活跃期对环境变化敏感所致。光照和降雨是导致叶片形态存在发育可塑性的主导因子。光照弱的月份,各叶片获得的光照均匀,叶的相似性高,而在 4 到 9 月光照增强,各叶片获得的光照差异也大,相关性因而降低,叶片的变异可塑性增大。

表 6 红花油茶叶长和宽相关性

Table 6 Correlation between leaf length and leaf width of seedlings of *C. semiserata*

月份 Month	样本数 Sample number	回归方程 Regression equation	<i>R</i>	<i>P</i>
1	50	$y = 0.3688x + 1.2284$	0.793	<0.01
2	50	$y = 0.3762x + 1.1629$	0.823	<0.01
3	50	$y = 0.3733x + 1.2167$	0.809	<0.01
4	50	$y = 0.3455x + 1.0395$	0.732	<0.01
5	50	$y = 0.3263x + 1.5054$	0.747	<0.01
6	50	$y = 0.2913x + 2.2328$	0.672	<0.01
7	50	$y = 0.3045x + 2.2858$	0.746	<0.01
8	50	$y = 0.2835x + 2.7903$	0.716	<0.01
9	50	$y = 0.2114x + 3.9681$	0.629	<0.01
10	50	$y = 0.3797x + 1.0355$	0.823	<0.01
11	50	$y = 0.3657x + 1.2559$	0.789	<0.01
12	50	$y = 0.3641x + 1.2134$	0.810	<0.01

2.1.5 海南红豆幼苗的叶长和叶宽关系

海南红豆幼苗各月叶长和叶宽相关系数在 0.549—0.905 之间,均呈极显著相关($P < 0.01$)(表 7)。全年相关系数变化显著,其中 1—3 月和 10—12 月相关系数较低。表明气候温暖和炎热的季节叶子的相似水平高,温度低的秋冬季相似水平低。这可能因为海南红豆是热带树种,对高温高热季节适应性强,对低温弱光季节敏感,导致叶片形态在较冷的秋冬有很大的变化。

表 7 海南红豆叶长和宽相关性

Table 7 Correlation between leaf length and leaf width of seedlings of *O. pinnata*

月份 Month	样本数 Sample number	回归方程 Regression equation	<i>R</i>	<i>P</i>
1	50	$y = 0.1874x + 1.5031$	0.549	<0.01
2	50	$y = 0.1863x + 1.5214$	0.558	<0.01
3	50	$y = 0.2181x + 1.1618$	0.683	<0.01
4	50	$y = 0.3893x - 0.3415$	0.905	<0.01
5	50	$y = 0.3813x - 0.2422$	0.875	<0.01
6	50	$y = 0.3864x - 0.1427$	0.867	<0.01
7	50	$y = 0.3751x + 0.0976$	0.848	<0.01
8	50	$y = 0.3649x + 0.3406$	0.817	<0.01
9	50	$y = 0.4394x - 0.6059$	0.846	<0.01
10	50	$y = 0.2505x + 0.9181$	0.678	<0.01
11	50	$y = 0.2546x + 0.9290$	0.684	<0.01
12	50	$y = 0.2523x + 0.9121$	0.693	<0.01

3.1.6 红锥幼苗叶片长和叶宽分析

红锥幼苗各月叶长和叶宽的相关系数变化范围在 0.407—0.927,均呈极显著相关($P < 0.01$)(表 8),其中生长速度慢的 1—3,9—12 月相关性很高,4 月到 8 月生长速度逐渐加大,相关性急剧降到 0.52 以下。表明红锥叶片的形态与季节气候变化有密切关系,夏秋季叶片的形态受环境影响大,可塑性也大。

表 8 红锥叶长和叶宽的相关性

Table 8 Correlation between leaf length and leaf width of seedlings of *C. hystrix*

月份 Month	样本数 Sample number	回归方程 Regression equation	R	P
1	50	$y = 0.2937x - 0.0485$	0.927	<0.01
2	50	$y = 0.3022x - 0.0711$	0.829	<0.01
3	50	$y = 0.2736x + 0.1223$	0.885	<0.01
4	50	$y = 0.1242x + 1.4495$	0.494	<0.01
5	50	$y = 0.1086x + 1.6411$	0.450	<0.01
6	50	$y = 0.1191x + 1.8071$	0.423	<0.01
7	50	$y = 0.1277x + 1.8166$	0.514	<0.01
8	50	$y = 0.1029x + 2.2754$	0.407	<0.01
9	50	$y = 0.2488x + 0.6360$	0.828	<0.01
10	50	$y = 0.2739x + 0.0462$	0.851	<0.01
11	50	$y = 0.2469x + 0.2417$	0.861	<0.01
12	50	$y = 0.2588x + 0.2313$	0.842	<0.01

2.2 气候对幼苗叶片长和宽相关性的影响

6 种幼苗的叶长和叶宽相关系数与月降雨量成线性相关关系,其中山杜英随月降雨量的增加极显著下降 ($P<0.01$),樟树、红花油茶和红锥显著下降 ($P<0.05$),海南红豆显著上升 ($P<0.05$),米老排相关不显著 (图 1)。

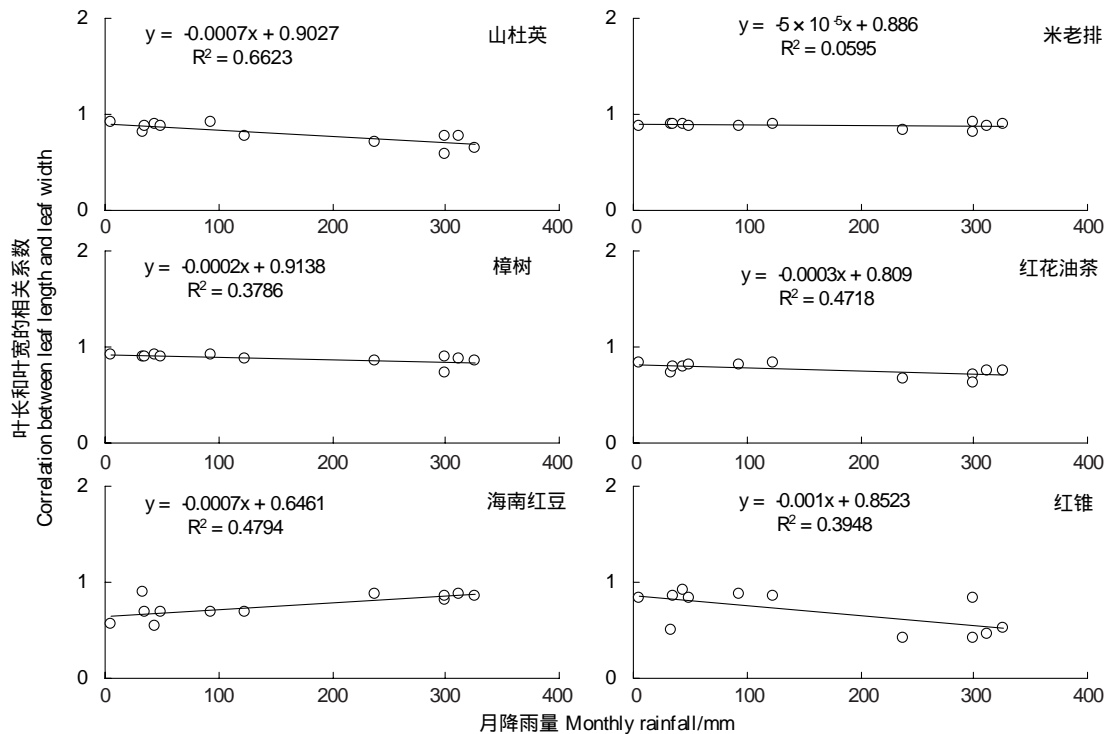


图 1 降雨量对叶长和叶宽相关系数的影响

Fig. 1 Effect of rainfall on correlative coefficient between leaf length and leaf width

6 种幼苗的叶长和叶宽相关系数与月平均气温呈二项式相关关系,除了米老排外,其余幼苗均为极显著相关 ($P<0.01$) (图 2)。山杜英、樟树、红花油茶和红锥随月降雨量的增加极显著下降 ($P<0.01$),而海南红豆极显著上升 ($P<0.01$)。

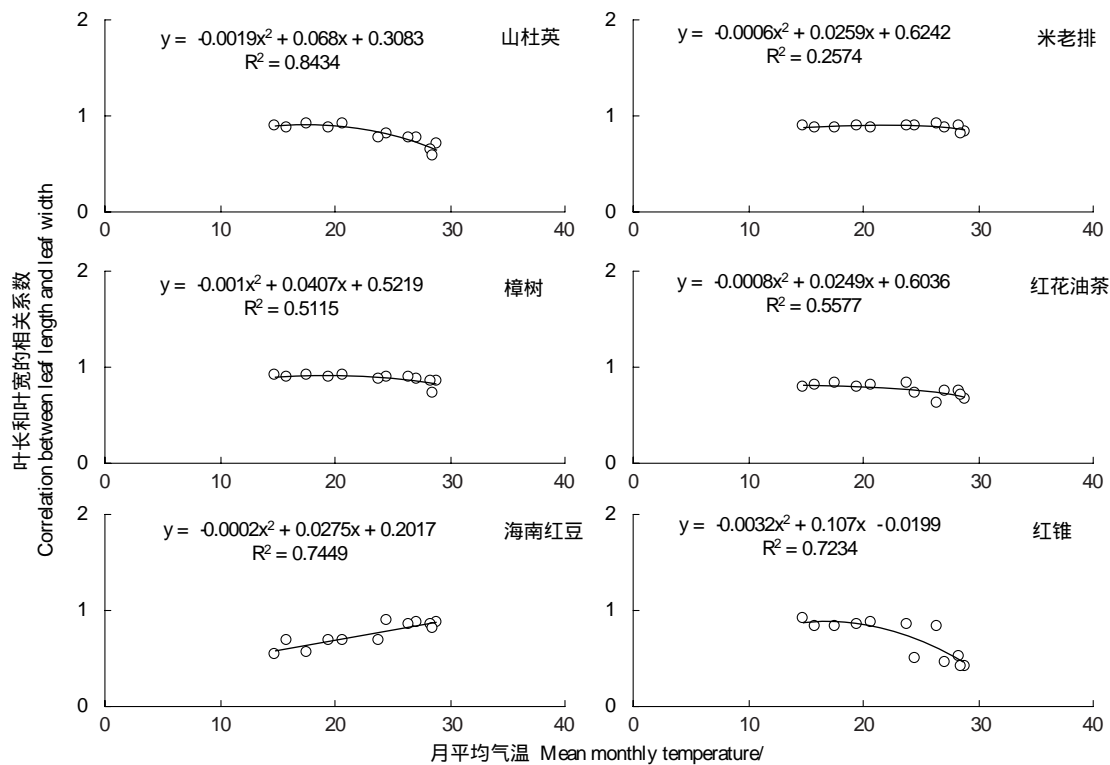


图 2 平均气温对叶长和叶宽相关系数的影响

Fig. 2 Effect of mean temperature on correlative coefficient between leaf length and leaf width

6 种幼苗的叶长和叶宽相关系数与光照时间也呈二项式相关关系,其中山杜英、米老排、樟树和红锥为极显著相关($P < 0.01$),红花油茶和海南红豆相关不显著(图 3)。

2.3 阔叶幼苗比叶重的月变化

比叶重(leaf mass per area, LMA)指单位叶面积的叶干重与其单位叶面积之比(叶干重(g)/叶面积(m^2))^[16],是重要的植物叶片性状之一和衡量叶片光合作用性能的一个参数。因其测定方法简便、精确,农业上常被用作品种或品系间的比较测定。叶片是光合作用的主要器官,研究幼苗叶片的比叶重有助于了解幼苗的基本生物学特性和光合能力与比叶重的关系^[17]。

6 种幼苗比叶重的月变化见图 4。山杜英新叶的比叶重 1、2 月份最高,3 月急剧下降后逐渐上升。老叶的比叶重 1 月份开始下降,3 月份达最小值,然后逐渐上升,下半年与新叶水平相近;米老排新叶上半年的比叶重变化不大,6 月份开始上升,8 月份达到最大值后呈下降趋势。老叶的比叶重呈波动性变化,上半年各月大于新叶,下半年与新叶相近;樟树新叶 2—6 月份的比叶重小于老叶,2—4 月为最低值,6 月份较低。老叶的比叶重 5 月最高,其次为 4 月,其他各月变化不大;下半年各月与新叶相近;红花油茶新叶上半年的比叶重 1 月份急剧下降,2 月份达最低值后上升,5 月份达到较大值后下降。下半年的比叶重上升后下降,在 9 月份达到全年最大值。老叶 3—5 月的比叶重高,其他各月差异不大,上半年各月份均比新叶高,下半年各月与新叶相近。海南红豆新叶 1—11 月的比叶重呈上升后下降趋势,11 月急剧上升,12 月达到最大值。老叶上半年的比叶重变化和缓,下半年呈上升趋势,各月均比新叶水平高;红锥新叶的比叶重 2—4 月份低,其他各月差异不大;上半年总体水平比下半年低。老叶的比叶重 5 月最高,其他各月变化不大,2—4 月份大于同期新叶,其余月份与新叶接近。

6 种幼苗的全年平均比叶重见表 9。所有幼苗老叶比叶重大于新叶。其中红花油茶老叶和新叶的平均比叶重远高于其他幼苗,海南红豆新叶的比叶重较小,其余幼苗差异不大。

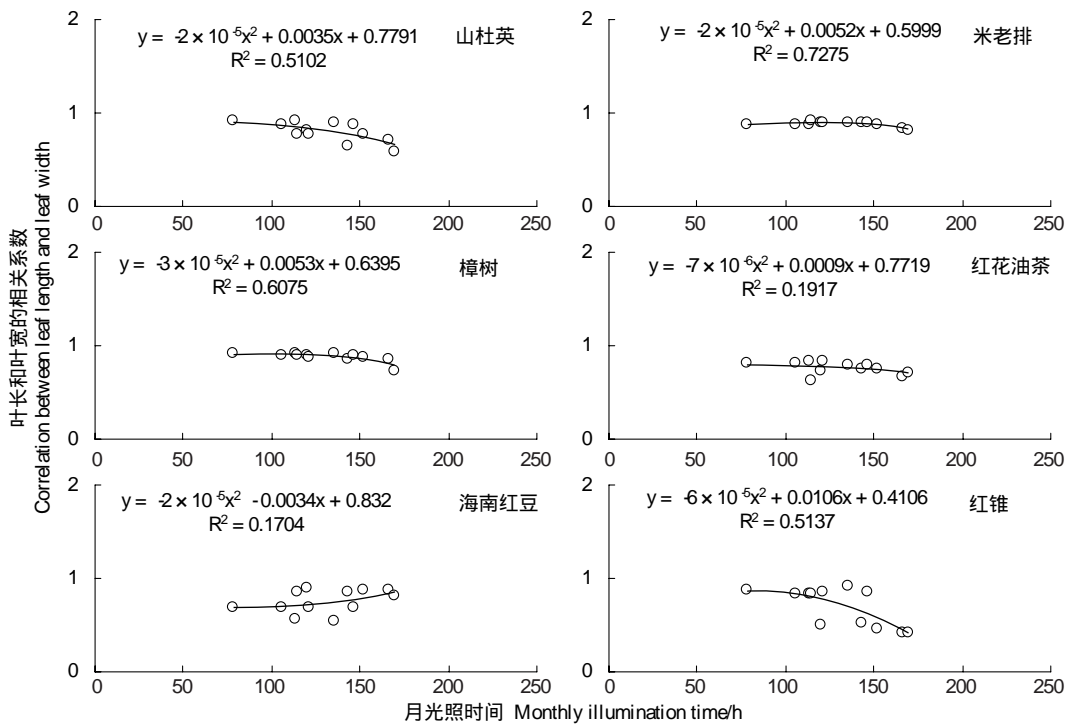


图3 光照时间对叶长和叶宽相关系数的影响

Fig. 3 Effect of illumination time on correlative coefficient between leaf length and leaf width

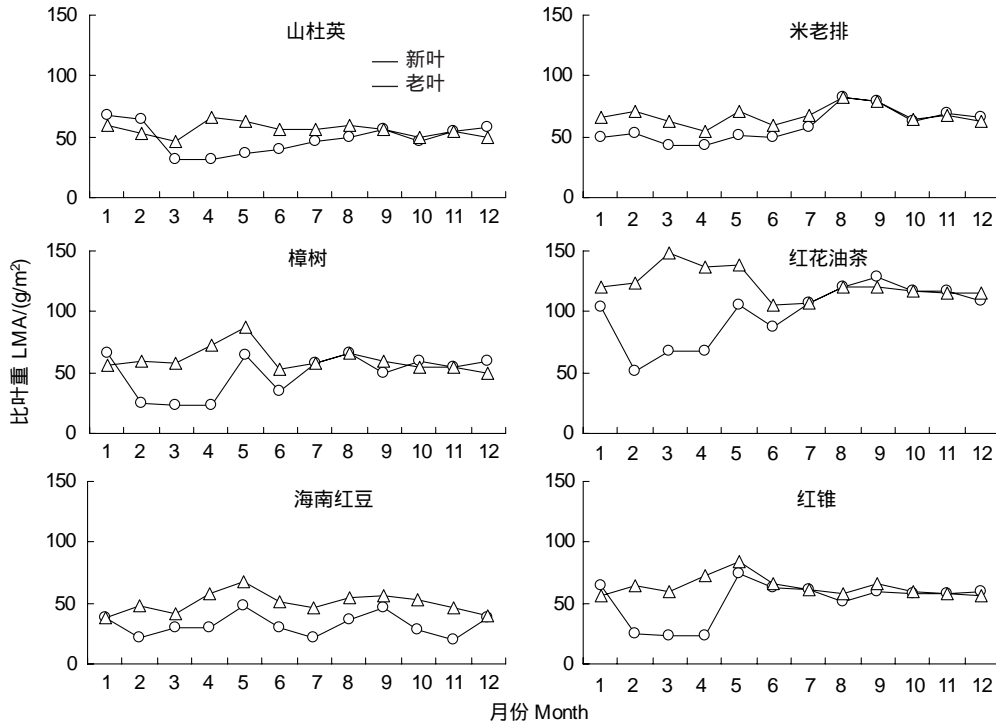


图4 比叶重的季节动态

Fig. 4 Seasonal changes of LMA

2.4 气候对幼苗比叶重的影响

6 种幼苗的比叶重随着月降雨量呈二项式变化,其中山杜英、米老排和红花油茶的新叶和老叶,樟树的老

叶及海南红豆和红锥的新叶为显著相关($P<0.05$)或极显著相关($P<0.01$)(表 10)。

表 9 幼苗年平均比叶重/(g/m²)

Table 9 Mean annual LMA of the seedlings

	山杜英 <i>Elaeocarpus sylvestris</i>	米老排 <i>Mytilaria laosensis</i>	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	红花油茶 <i>Camellia semiserata</i>	海南红豆 <i>Ormosia pinnata</i>	红锥 <i>Castanopsis hystrix</i>
新叶	48	59	48	98	33	51
老叶	56	67	61	124	51	63

表 10 降雨量对苗木比叶重的影响

Table 10 Effect of rainfall amount on LMA of seedlings

树种 Tree species	叶类型 Type of leaf shape	样本数 Sample number	回归方程 Regression equation	<i>R</i>	<i>P</i>
山杜英	新叶	60	$y = 0.0011x^2 - 0.3645x + 62.725$	0.603	<0.01
	老叶	60	$y = 0.0004x^2 - 0.1447x + 59.962$	0.329	<0.05
米老排	新叶	60	$y = 3 \times 10^{-5}x^2 + 0.0401x + 50.931$	0.255	<0.05
	老叶	60	$y = 0.0005x^2 - 0.1419x + 68.712$	0.361	<0.01
樟树	新叶	60	$y = -0.0002x^2 + 0.0736x + 39.577$	0.118	>0.05
	老叶	60	$y = 0.0005x^2 - 0.1483x + 65.461$	0.276	<0.05
红花油茶	新叶	60	$y = 0.0007x^2 - 0.1704x + 83.896$	0.259	<0.05
	老叶	60	$y = 0.0003x^2 - 0.0731x + 119.38$	0.404	<0.01
海南红豆	新叶	60	$y = -7 \times 10^{-5}x^2 + 0.0524x + 27.182$	0.324	<0.05
	老叶	60	$y = 0.0001x^2 - 0.0191x + 48.103$	0.170	>0.05
红锥	新叶	60	$y = 0.0007x^2 - 0.244x + 64.18$	0.346	<0.01
	老叶	60	$y = 0.0002x^2 - 0.0432x + 63.584$	0.207	>0.05

6 种幼苗的比叶重也随着月平均气温呈二项式变化,其中山杜英、米老排和海南红豆的新叶,红花油茶和红锥的新叶和老叶为显著相关($P<0.05$)或极显著相关($P<0.01$)(表 11)。

表 11 平均气温对苗木比叶重的影响

Table 11 Effect of mean temperature on LMA of seedlings

树种 Tree species	叶类型 Type of leaf shape	样本数 Sample number	回归方程 Regression equation	<i>R</i>	<i>P</i>
山杜英	新叶	60	$y = 0.2808x^2 - 12.86x + 190.21$	0.361	<0.01
	老叶	60	$y = -0.0089x^2 + 0.2359x + 52.891$	0.077	>0.05
米老排	新叶	60	$y = -0.1161x^2 + 6.3004x - 21.997$	0.237	<0.05
	老叶	60	$y = 0.0264x^2 - 1.0327x + 75.463$	0.063	>0.05
樟树	新叶	60	$y = -0.0359x^2 + 1.7579x + 23.331$	0.055	>0.05
	老叶	60	$y = -0.073x^2 + 3.8681x + 12.493$	0.212	>0.05
红花油茶	新叶	60	$y = 0.3975x^2 - 16.606x + 245.62$	0.270	<0.05
	老叶	60	$y = -0.1073x^2 + 4.7537x + 68.458$	0.527	<0.01
海南红豆	新叶	60	$y = 0.2018x^2 - 8.96x + 127.39$	0.341	<0.01
	老叶	60	$y = -0.0985x^2 + 5.3695x - 18.674$	0.118	>0.05
红锥	新叶	60	$y = 0.1947x^2 - 9.0427x + 152.99$	0.247	<0.05
	老叶	60	$y = -0.0246x^2 + 1.6801x + 38.6$	0.230	<0.05

6 种幼苗的比叶重与光照时间存在二项式关系,其中山杜英的新叶和老叶、米老排、樟树和海南红豆的新叶,红花油茶的老叶为显著相关($P<0.05$)或极显著相关($P<0.01$)(表 12)。

表 12 光照时间对苗木比叶重的影响

Table 12 Effect of illumination time on LMA of seedlings

树种 Tree species	叶类型 Type of leaf shape	样本数 Sample number	回归方程 Regression equation	<i>R</i>	<i>P</i>
山杜英	新叶	60	$y = -0.0063x^2 + 1.6823x - 59.803$	0.400	<0.01
	老叶	60	$y = -0.0034x^2 + 0.8876x - 2.4069$	0.288	<0.05
米老排	新叶	60	$y = -0.0094x^2 + 2.5191x - 118.5$	0.412	<0.01
	老叶	60	$y = 0.001x^2 - 0.1548x + 69.581$	0.167	>0.05
樟树	新叶	60	$y = -0.0094x^2 + 2.5191x - 118.5$	0.483	<0.01
	老叶	60	$y = -0.0006x^2 + 0.2415x + 40.565$	0.152	>0.05
红花油茶	新叶	60	$y = -0.0061x^2 + 1.6875x - 28.304$	0.089	>0.05
	老叶	60	$y = -0.0002x^2 - 0.008x + 123.99$	0.307	<0.05
海南红豆	新叶	60	$y = -0.0006x^2 + 0.1995x + 17.536$	0.228	<0.05
	老叶	60	$y = -0.0014x^2 + 0.4631x + 15.363$	0.110	>0.05
红锥	新叶	60	$y = -0.005x^2 + 1.4464x - 47.629$	0.374	>0.05
	老叶	60	$y = -0.001x^2 + 0.3013x + 41.728$	0.130	>0.05

3 讨论

植物的表型可塑性是指个体通过改变自身的形态结构和生理结构而对环境变化做出反应的能力^[18-20]。叶是植物进化过程中可塑性最大的器官,其形态结构能反映环境因子的影响以及植物自身对环境的适应。种内和种间的叶片性状变化方式深刻影响着植物生长和生态系统的功能^[21-22]。生态学家在全球和生物群落范围内研究了气候对叶片性状的影响^[23-25]。然而,由于叶片的生命周期短及个体、群落和种间的叶片表型特点变化大,评价森林树种的叶片动态特征是一个特殊的挑战^[26]。由于几乎没有华南乡土阔叶树种叶片特性季节动态的研究,限制了对这些树种生物学特性的了解。

本研究中 6 种幼苗叶片的叶长和叶宽的相关性随季节发生的变化程度不同:(1)随季节变化型,包括变异性夏秋大冬春小的山杜英、红花油茶和红锥,夏秋小冬春大的海南红豆,表现出叶片的相关性随季节变化较大。这些幼苗叶片形态随季节变化和发育期表现一定的可塑性。高的可塑性常常与对环境具有高的潜在适应能力相关^[6],因此这些幼苗有高的潜在适应能力。光照、温度、水分等环境因子应该是这些幼苗叶片形态发生变化的主导因子;(2)稳定型,有樟树和米老排,这两个幼苗叶片的变异性小,表现出很高的遗传稳定性,环境和气候的变化对其影响不大。本研究表明,遗传因子和环境因子对不同幼苗的叶片形态的影响随树种及其所处的环境而异。

叶在不同的生态系统中产生性状变化以适应环境^[27],阔叶幼苗叶变异性的变化与气候有一定关系。6 种幼苗的叶长和叶宽相关系数与气候的关系可以分为 3 种类型:①山杜英和樟树的叶型变化与降雨量、气温和光照均显著相关,叶长和叶宽相关系数随着降雨量、气温和光照的增加显著下降,表明在降雨量大、气温高和光照充足的夏秋季叶型变化大;②米老排的叶型变化仅与光照显著相关。由于全年各月的光照时间差异较小,米老排各月的相关系数变化不大,叶型变化小;③红花油茶、海南红豆和红锥的叶型变化与降雨量和气温显著相关。红花油茶和红锥的叶型在水热充沛的夏秋季变化大,导致其叶长和叶宽相关系数随着降雨量和气温的增加显著下降,而海南红豆的叶型在气候温暖和炎热的季节叶子的相似水平高,所以其叶长和叶宽相关系数随着降雨量和气温的增加显著增加。夏季气温高、降雨量大,有利于叶片生长,山杜英、樟树、红花油茶和红锥的叶片在叶长和叶宽生长速度上的差异引起叶片的相似性下降,变异性增加。海南红豆叶片炎热的季节的相似水平高,温度低的秋冬季相似水平低,可能因为其是热带树种,对高温高热季节适应性强,对低温弱光和干旱敏感,导致叶片形态在秋冬变幅变大。

山杜英新叶的比叶重低值出现在 3 月份,米老排出现在 3 和 4 月份,樟树、红花油茶和红锥出现在 2 到 4 月份,海南红豆出现在 1 到月份。以上月份为各树种长新叶的时期,而主要新叶是伸展生长,细胞壁薄,细胞

液多,所以叶片水分含量高,干物质含量低,造成其比叶重小。除了年初的个别月份,6种幼苗新叶的比叶重均为上半年较低,下半年的比叶重高而稳定,原因可能是新叶生长过程中,上半年有机物质积累量逐渐积累,下半年达到稳定状态,同时栅栏组织越来越发达。上半年新叶的比叶重小于老叶是因为前者水分含量高,干物质含量低,而老叶的寿命较长,叶片的栅栏组织发达,叶片水分低,干物质含量高。6种幼苗中,红花油茶新叶和老叶的平均比叶重远高于其他幼苗,原因是红花油茶的叶片倾向于旱生状态,表皮细胞的细胞壁和角质层厚,栅栏组织和机械组织发达,为厚革质叶片,所以单位叶面积重量高^[28]。叶片加厚有利于减少水分损失^[29-30]和保持养分,因而这种比叶重高的植物能更好的适应资源贫瘠和干旱的环境,获取资源的能力高,保持体内营养的能力较强^[31-33]。

除了樟树的新叶及海南红豆和红锥的老叶外,比叶重与降雨量显著相关,表明降雨有利于幼苗的光合作用和碳水化合物的积累。部分幼苗的比叶重与气温和光照显著相关,这些幼苗在适宜的高温气温的环境下,能通过提高光合速率而增加干物质的积累。强光照环境下,表皮细胞层数多且体积减小,叶肉栅栏组织发达、细胞长柱形及海绵组织排列紧密^[34],叶片加厚,有利于比叶重增加。但过高温可以通过降低光合速率和提高呼吸作用强度而对一些幼苗有抑制作用。光照过强,高光辐射使叶片温度过高,从而影响正常的生理活动,产生光抑制,导致 CO₂ 固定的减少^[35],因而部分幼苗叶片的比叶重与气温和光照无显著相关关系。

6种幼苗的叶片形态在个体水平上随气候变化而表现出一定的发育可塑性,但是个体水平上的研究难以替代叶片形态在种群和群落冠层水平上随气候变化的可塑性。今后需要将个体叶片水平的研究扩展到种群和群落冠层水平,从而在大尺度上对森林的叶片形态变化进行研究,进而从整体上反映森林对气候变化的响应。华南地区水热条件好,森林面积大,生长快,对该地区环境有举足轻重的影响。加强对华南主要森林树种的叶性状变化与气候因子数量关系的研究,可以了解这些树种叶片形态响应气候的机制,为预测复杂多变气候下的树种生物学特性提供参考。

References:

- [1] Wang X L, Wang J. Plant Morphological Structure and Environmental. Lanzhou: Lanzhou University Press, 1989: 1-90.
- [2] Mott K A, Michaelson O. Amphistomy as an adaptation to high light intensity in *Ambrosia cordifolia* (Compositae). American Journal of Botany, 1991, 78(1): 76-29.
- [3] Guo Y H, Cai Z Q, Cao K F, Wang W L. Leaf photosynthetic and anatomic acclimation of four tropical rainforest tree species to different growth light conditions. Journal of Wuhan Botanical Research, 2004, 22(3): 240-244.
- [4] Shi G R, Wang X M, Zhang Z. Lamina morphological and structural plasticity of *Schisandra sphenanthera*. Journal of Huaibei Coal Industry Teachers College(Natural Science Edition), 2006, 27(1): 44-48.
- [5] Strauss-Debenedetti S, Bazzaz F A. Plasticity and acclimation to light in tropical Moraceae of different successional positions. Oecologia, 1991, 87(3): 377-387.
- [6] Vendramini F, Diaz 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.
- [7] Westoby M, Falster D S, Moles A T, Vesk P A, Wright I J. Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. Annual Review of Ecology and Systematics, 2002, 33: 125-159.
- [8] Xue L, Cao H. Changes of leaf traits of plants under stress resistance. Ecology and Environment, 2010, 19(8): 2004-2009.
- [9] Díaz S, Lavorel S, De Bello F, Quétier F, Grigulis K, Robson T M. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. The Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104(52): 20684-20689.
- [10] Wright I J, Reich P B, Westoby M, Ackerly D D, Baruch Z, Bongers F, Cavender-Bares J, Chapin T, Cornelissen J H C, Diemer M, Flexas J, Garnier E, Groom P K, Gulias J, Hikosaka K, Lamont B B, Lee T, Lee W, Lusk C, Midgley J J, Navas M L, Niinemets Ü, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Poot P, Prior L, Pyankov V I, Roumet C, Thomas S C, Tjoelker M G, Veneklaas E J, Villar R. The worldwide leaf economics spectrum. Nature, 2004, 428(6985): 821-827.
- [11] Norby R J, Luo Y Q. Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO₂ and global warming in a multi-factor world. New Phytologist, 2004, 162(2): 281-293.
- [12] Luo T X, Luo J, Pan Y. Leaf traits and associated ecosystem characteristics across subtropical and timberline forests in the Gongga Mountains, eastern Tibetan Plateau. Oecologia, 2005, 142(2): 261-273.
- [13] Zhang L, Luo T X. Advances in ecological studies on leaf lifespan and associated leaf traits. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(6): 844-852
- [14] Shi G R, Tang Y, Zhang Z. Leaf anatomy of dominant plant species in the successional communities of Xiangshan Mountain, Huaibei, China. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(2): 314-322.
- [15] Ogawa K, Furukawa A, Hagihara A, Makmom A, Awang M. Morphological and Phenological characteristics of leaf development of *Durio zibethinus*

- Murray (Bombacaceae). *Journal of Plant Research*, 1995, 108(4): 511-515.
- [16] Lu J L, Chen R K, Zhang M Q, Li C M, Liao J F. Seasonal change of the net photosynthesis rate, chlorophyll content and specific weight of leaf of sugarcane and their relationships. *Journal of Fujian Agricultural University*, 1998, 27(3): 285-290.
- [17] Fan J, Zhao H X, Li M. The specific leaf weight and its relationship with photosynthetic capacity. *Journal of Northeast Forestry University*, 2003, 31(5): 37-39.
- [18] Chai Z Q, Qi X, Cao K F. Response of stomatal characteristics and its plasticity to different light intensities in leaves of seven tropical woody seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(2): 201-204.
- [19] Macdonald S E, Chinnappa C C. Population differentiation for phenotypic plasticity in the *Stellaria longipes* complex. *American Journal of Botany*, 1989, 76(11): 1627-1637.
- [20] Colema J S, McConnaughay K D M, Ackerly D D. Interpreting phenotypic variation in plants. *Trends in Ecology and Evolution*, 1994, 9(5): 187-191.
- [21] 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.
- [22] Díaz S, Lavorel S, De Bello F, Quétier F, Grigulis K, Robson T M. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceeding of the Natural Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(52): 20684-20689.
- [23] Townsend A R, Cleveland C C, Asner G P, Bustamante M M C. Controls over foliar N:P ratios in tropical rain forests. *Ecology*, 2007, 88(1): 107-118.
- [24] Ordóñez J C, van Bodegom P M, Witte J P M, Wright I J, Reich P B, Aerts R. A global study of relationships between leaf traits, climate and soil measures of nutrient fertility. *Global Ecology and Biogeography*, 2009, 18(2): 137-149.
- [25] Yuan Z Y, Chen H Y H. Global trends in senesced-leaf nitrogen and phosphorus. *Global Ecology and Biogeography*, 2009, 18(5): 532-542.
- [26] Malhado A C M, Costa M H, de Lima F Z, Portilho K C, Figueiredo D N. Seasonal leaf dynamics in an Amazonian tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(7): 1161-1165.
- [27] Wright I J, Ackerly D D, Bongers F, Harms K E, Ibarra-Manriquez G, Martinez-Ramos M, Mazer S J, Mullaer-Landau H C, Paz H, Pitman N C A, Poorter L, Silman M R, Vriesendorp C F, Webb C O, Westoby M, Wright S J. Relationships among ecologically important dimensions of plant trait variation in seven Neotropical forest. *Annals of Botany*, 2007, 99(5): 1003-1015.
- [28] Xue L, Wei R P, Tan T Y, Kuang L G, Wei M M. Nutrient characteristics in leaves of broadleaved seedlings in south China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1820-1824.
- [29] Lambrecht S C, Dawson T E. Correlated variation of floral and leaf traits along a moisture availability gradient. *Oecologia*, 2007, 151(4): 574-583.
- [30] Santiago L S, Kitajima K, Wright S J, Mulkey S S. Coordinated changes in photosynthesis, water relations and leaf nutritional traits of canopy trees along a precipitation gradient in lowland tropical forest. *Oecologia*, 2004, 139(4): 495-502.
- [31] Lambers H, Poorter H. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. *Advances in Ecological Research*, 1992, 23: 187-261.
- [32] Grime J P, Thompson K, Hunt R, Hodgson J G, Cornelissen J H C, Rorison I H, Hendry G A F, Ashenden T W, Askew A P, Band S R, Booth R E, Bossard C C, Campbell B D, Cooper J E L, Davison A W, Gupta P L, Hall W, Hand D W, Hannah M A, Hillier S H, Hodgkinson D J, Jalili A, Liu Z, Machey J M L, Matthews N, Mowforth M A, Neal A M, Reader R J, Reiling K, Ross-Fraser W, Spencer R E, Sutton F, Tasker D E, Thorpe P C, Whitehouse J. Integrated screening validates primary axes of specialization in plants. *Oikos*, 1997, 79(2): 259-281.
- [33] 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.
- [34] Mendes M M, Gazarini L C, Rodrigues M L. Acclimation of *Myrtus communis* to contrasting Mediterranean light environments-effects on structure and chemical composition of foliage and plant water relations. *Environmental and Experimental Botany*, 2001, 45(2): 165-178.
- [35] González-Rodríguez A M, Tausz M, Wonisch A, Jiménez M S, Grill D, Morales D. The significance of xanthophylls and tocopherols in photo-oxidative stress and photoprotection of three Canarian laurel forest tree species on a high radiation day. *Journal of Plant Physiology*, 2001, 158(12): 1547-1554.

参考文献:

- [1] 王勋陵, 王静. 植物的形态结构与环境. 兰州: 兰州大学出版社, 1989: 1-90.
- [3] 郭玉华, 蔡志全, 曹坤芳, 王渭玲. 四种热带雨林树种光合和形态解剖特征对不同生长光强的适应. *武汉植物学研究*, 2004, 22(3): 240-244.
- [4] 史刚荣, 王旭明, 张铮. 华中五味子叶片形态结构的可塑性研究. *淮北煤炭师范学院学报(自然科学版)*, 2006, 27(1): 44-48.
- [8] 薛立, 曹鹤. 逆境下植物叶性状变化的研究进展. *生态环境学报*, 2010, 19(8): 2004-2009.
- [13] 张林, 罗天祥. 植物叶寿命及其相关叶性状的生态学研究进展. *植物生态学报*, 2004, 28(6): 844-852.
- [14] 史刚荣, 汤盈, 张铮. 淮北相山恢复演替群落优势树种叶片的生态解剖. *植物生态学报*, 2006, 30(2): 314-322.
- [16] 吕建林, 陈如凯, 张木清, 李才明, 廖建峰. 甘蔗净光合速率、叶绿素和比叶重的季节变化及其关系. *福建农业大学学报*, 1998, 27(3): 285-290.
- [17] 范晶, 赵惠勋, 李敏. 比叶重及其与光合能力的关系. *东北林业大学学报*, 2003, 31(5): 37-39.
- [18] 蔡志全, 齐欣, 曹坤芳. 七种热带雨林树苗叶片气孔特征及其可塑性对不同光照强度的响应. *应用生态学报*, 2004, 15(2): 201-204.
- [28] 薛立, 韦如萍, 谭天泳, 邝立刚, 韦美满. 华南阔叶树种幼苗叶片的养分特征. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 1820-1824.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 1 January, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Allee effects of local populations and the synchrony of metapopulation	LIU Zhiguang, ZHAO Xue, ZHANG Fengpan, et al (1)
Effects of leaf hair points on dew deposition and rainfall evaporation rates in moss crusts dominated by <i>Syntrichia caninervis</i> , Gurbantunggut Desert, northwestern China	TAO Ye, ZHANG Yuanming (7)
The influence of freshwater-saline water mixing on phytoplankton growth in Changjiang Estuary	WANG Kui, CHEN Jianfang, LI Hongliang, et al (17)
The responses of hydrological indicators to watershed characteristics	TIAN Di, LI Xuyong, Donald E. Weller (27)
Lake nutrient ecosystems in the east-central moist subtropical plain of China	KE Xinli, LIU Man, DENG Xiangzheng (38)
The current water trophic status in Tiaoxi River of Taihu Lake watershed and corresponding coping strategy based on N/P ratio analysis	NIE Zeyu, LIANG Xinqiang, XING Bo, et al (48)
Reversion and analysis on cyanobacteria bloom in Waihai of Lake Dianchi	SHENG Hu, GUO Huaicheng, LIU Hui, et al (56)
Effects of cutting disturbance on spatial heterogeneity of fine root biomass of <i>Larix principis-rupprechtii</i>	YANG Xiuyun, HAN Youzhi, ZHANG Yunxiang, et al (64)
Responses of elm (<i>Ulmus pumila</i>) woodland to different disturbances in northeastern China	LIU Li, WANG He, LIN Changcun, et al (74)
Impacts of grazing and climate change on the aboveground net primary productivity of mountainous grassland ecosystems along altitudinal gradients over the Northern Tianshan Mountains, China	ZHOU Decheng, LUO Geping, HAN Qifei, et al (81)
Response of herbaceous vegetation to phosphorus fertilizer in steppe desert	SU Jieqiong, LI Xinrong, FENG Li, et al (93)
Spatiotemporal characteristics of landscape change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities	ZHANG Huabing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (101)
Response of species diversity in <i>Caragana Korshinskii</i> communities to climate factors and grazing disturbance in Shanxi, Shaanxi, Ningxia and Inner Mongolia	ZHOU Ling, SHANGGUAN Tieliang, GUO Donggang, et al (111)
Seasonal change of leaf morphological traits of six broadleaf seedlings in South China	XUE Li, ZHANG Rou, XI Ruchun, GUO Shuhong, et al (123)
Correlation analysis on <i>Reaumuria soongorica</i> seed traits of different natural populations in Gansu Corridor	SU Shiping, LI Yi, CHONG Peifang (135)
Carbon fixation estimation for the main plantation forest species in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province, China	WU Dan, SHAO Quanqin, LI Jia, et al (142)
Effects of clonal integration on growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i> under simulated acid rain and herbivory	GUO Wei, LI Junmin, HU Zhenghua (151)
Difference of the fitness of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) fed with different pepper varieties	JIA Yueli, CHENG Xiaodong, CAI Yongping, et al (159)
Hyperspectral estimating models of tobacco leaf area index	ZHANG Zhengyang, MA Xinming, JIA Fangfang, et al (168)
Temporal and spatial distribution of <i>Bemisia tabaci</i> on different host plants	CUI Hongying, GE Feng (176)
Abundance and composition of CO ₂ fixating bacteria in relation to long-term fertilization of paddy soils	YUAN Hongzhao, QIN Hongling, LIU Shoulong, et al (183)
Effect of <i>Leucaena leucocephala</i> on soil organic carbon conservation on slope in the purple soil area	GUO Tian, HE Binghui, JIANG Xianjun, et al (190)
Isolation and the remediation potential of a Laccase-producing Soil Fungus F-5	MAO Ting, PAN Cheng, XU Tingting, et al (198)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass in Mulun National Nature Reserve in Karst area	LIU Lu, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al (207)
Root functional traits and trade-offs in one-year-old plants of 25 species from the arid valley of Minjiang River	XU Kun, LI Fanglan, GOU Shuiyan, et al (215)
Spatial distribution of carbon density in grassland vegetation of the Loess Plateau of China	CHENG Jimin, CHENG Jie, YANG Xiaomei, et al (226)
Effect of nitrogen concentration in the subtending leaves of cotton bolls on the strength of source and sink during boll development	GAO Xiangbin, WANG Youhua, CHEN Binglin, et al (238)
Long-term tillage effects on soil organic carbon and microbial biomass carbon in a purple paddy soil	LI Hui, ZHANG Junke, JIANG Changsheng, et al (247)
Effects of exogenous calcium on resistance of <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle to cadmium stress	MIN Haili, CAI Sanjuan, XU Qinsong, et al (256)
Comparison of grain protein components and processing quality in responses to dim light during grain filling between strong and weak gluten wheat cultivars	LI Wenyang, YAN Suhui, WANG Zhenlin (265)
Review and Monograph	
Salt-responsive mechanisms in the plant root revealed by proteomic analyses	ZHAO Qi, DAI Shaojun (274)
The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment	XU Yan, GAO Junfeng, ZHAO Jiahu, et al (284)
A review of the environmental behavior and effects of black carbon in soils and sediments	WANG Qing (293)
Scientific Note	
Variation in main morphological characteristics of <i>Amorpha fruticosa</i> plants in the Qinghai-Tibet Plateau	LIANG Kunlun, JIANG Wenqing, ZHOU Zhiyu, et al (311)
Identification of aphid resistance in eleven species from <i>Dendranthema</i> and <i>Artemisia</i> at seedling stage	SUN Ya, GUAN Zhiyong, CHEN Sumei, et al (319)
Research of padded film for afforestation in coastal argillaceous saline-alkali land	JING Feng, ZHU Jinzhao, ZHANG Xuepei, et al (326)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 1 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 1 2012

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	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 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