

周会萍, 姜金矜, 黄艳丽, 等. 两种生活型木本植物叶功能性状变异特征研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(3): 298–305.

ZHOU Huiping, JIANG Jinjin, HUANG Yanli, et al. Variation of leaf functional traits of two life forms of woody plants [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(3): 298–305.

两种生活型木本植物叶功能性状变异特征研究

周会萍, 姜金矜, 黄艳丽, 庄静静

(新乡学院 土木工程与建筑学院, 河南 新乡 453003)

摘要:以乔木和灌木两种生活型木本植物为研究对象, 研究其植物叶性状及其变异特征, 揭示两种生活型木本植物的适应机理。以新乡市 16 种木本植物: 刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、五角枫(*Acer elegantulum*)、加拿大杨(*Populus × canadensis*)、毛白杨(*Populus tomentosa*)、法桐(*Platanus orientalis*)、白蜡(*Fraxinus chinensis*)、玉兰(*Magnolia denudata*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、栾树(*Koelreuteria paniculata*)、日本晚樱(*Cerasus serrulata*)、紫荆(*Cercis chinensis*)、紫叶李(*Prunus cerasifera*)、垂丝海棠(*Malus Halliana*)、西府海棠(*Malus micromalus*)、榆叶梅(*Amygdalus triloba*)和丁香(*Syzygium aromaticum*)为试材, 对其叶面积(leaf area, LA)、叶厚度(leaf thickness, LT)、叶干物质含量(leaf dry matter content, LDMC)、比叶面积(specific leaf area, SLA)、叶鲜重(fresh leaf weight, FW)、叶干重(dry leaf weight, DW)、叶绿素含量(chlorophyll, Chl)和叶含水率(leaf moisture content, LWC)这 8 种叶功能性状进行测定和分析。结果表明: 8 种叶性状存在不同程度的变异。乔木树种的叶鲜重(90.13%)、叶干重(86.36%)和叶面积(95.13%)呈强变异, 叶干物质含量(18.79%)和叶含水率(12.81%)属于弱变异; 灌木树种的比叶面积(54.03%)、叶鲜重(60.17%)和叶面积(62.17%)属于强变异; 叶含水率(14.60%)属于弱变异。叶功能性状间关系密切, 乔木树种的叶面积与叶鲜重和叶干重呈极显著正相关关系($p < 0.01$), 与比叶面积呈显著正相关关系($p < 0.05$); 灌木树种的叶面积与叶鲜重、叶干重、比叶面积和叶含水率都呈极显著正相关关系($p < 0.01$), 与叶干物质含量呈极显著负相关关系($p < 0.01$)。主成分分析显示, 8 种叶功能性状指标中, 叶鲜重、叶干重、叶绿素含量贡献率最大, 可作为木本植物适应生境的重要指标。总体来说, 乔木树种的大多数叶功能性状的稳定性和性状间的相关性与灌木植物相比较弱, 乔木树种为适应生态环境, 在生存机制上做出的调整程度大于灌木树种。

关键词:生活型; 木本植物; 叶功能性状; 变异

中图分类号: Q948

文章编号: 1000-1700(2024)03-0298-08

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Variation of Leaf Functional Traits of Two Life Forms of Woody Plants

ZHOU Huiping, JIANG Jinjin, HUANG Yanli, ZHUANG Jingjing

(School of Civil Engineering and Architecture, Xinxiang University, Xinxiang Henan 453000, China)

Abstract: Leaf traits and their variation characteristics were investigated to reveal the adaptation strategies of two life forms woody plants. Eight leaf traits were measured and analyzed on 16 species of arbors and shrubs. The 8 leaf traits include leaf area (LA), leaf thickness (LT), leaf dry matter content (LDMC), specific leaf area (SLA), fresh leaf weight (FW), dry leaf weight (DW) and chlorophyll content (Chl), leaf moisture content (LWC). The 16 species of arbors and shrubs were *Robinia pseudoacacia*, *Acer elegantulum*, *Populus × Canadensis*, *Populus canadensis*, *Platanus orientalis*, *Fraxinus chinensis*, *Magnolia denudata*, *Ginkgo biloba*, *Koelreuteria paniculata*, *Cerasus serrulata*, *Cercis chinensis*, *Prunus cerasifera*, *Malus Halliana*, *Malus micromalus*, *Amygdalus triloba*, and *Syzygium aromaticum*. The result showed that the variation of leaf

收稿日期: 2024-02-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(32271645); 河南省科技攻关项目(222102320119)

第一作者: 周会萍(1979-), 女, 硕士, 副教授, 从事植物生态及林下植被恢复研究, E-mail: 191614780@qq.com

characters was different. The FW (90.13%), DW (86.36%) and LA (95.13%) of the arbor species were strong variation, the LDMC (18.79%) and LWC (12.81%) were weak variation. The SLA (54.03%), FW (60.17%) and LA (62.17%) of shrub species were strong variation, and LWC (14.60%) was weak variation. There was close relationship among leaf functional traits. The LA of arbor species was significant positively correlated with FW and DW ($p < 0.01$), and positively correlated with LSA ($p < 0.05$). The LA of shrub species was significant positively correlated with FW, DW, SLA and LWC ($p < 0.01$), and significant negatively correlated with LDMC ($p < 0.01$). Principal component analysis revealed that FW, DW and Chl were the top three factors that accounted for the adaptability of woody plants. Overall, the stability of most leaf functional traits of arbor species and the correlation between traits are weaker compared to shrub species. Arbor species make more adjustments to adapt to the ecological environment than shrub species.

Key words: life form; woody plant; leaf functional traits; variation

植物的生活型与生活环境相联系,是依照外貌特征来区分的生物类型,一般可以分为乔木、灌木等类型^[1-2]。植物叶片是植物与外界联系的重要部位,是植物进行光合作用和呼吸作用的主要场所,其功能性状充分展示出植物对于外界环境的适应策略^[3-4]。这些叶功能性状单独或联合适应外界环境,随着环境的变化而改变。叶厚度、叶面积、比叶面积、叶干物质含量、叶组织密度等是指示植物生长状况的关键属性^[5]。研究这些属性的变化及其相关性有助于了解植物适应环境的生存策略,反映植物对生长环境的适应能力^[6]。

近年来,植物叶功能性状逐渐成为生态研究的热点^[7-8]。一些学者研究了森林群落木本植物叶功能性状的变异特征^[9-10];也有学者对乡土树种叶功能性状的种内种间变异进行研究^[11]。庞世龙等^[12]对桂西南喀斯特主要树种的叶功能特性的分析表明比叶面积(specific leaf area, SLA)与叶干物质含量(leaf dry matter content, LDWC)之间呈极显著负相关关系。这些研究更多侧重于对天然森林群落、自然保护区优势种的叶功能性状进行研究^[13-15]。对于城市园林植物叶功能性状的研究鲜有报道^[16-17]。中原城市面临水资源日益匮乏、土地资源压力大、大气污染严重、垃圾与噪声污染严重等一系列生态问题,研究城市园林绿化树种是用何种生态策略来适应环境尤为重要。分析和研究乔木与灌木两种生活型绿化树种是以怎样的适应策略应对城市环境条件,可为更好地利用自然资源、采取合理的绿化种植策略、改善生态环境提供实践参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

以新乡市人民公园、河南师范大学、河南科技学院等生境相似的区域为研究地点,3地树木管理模式相对一致。新乡位于河南省北部(35°18'13.71"N,113°55'15.05"E)。地势北高南低,地处黄河、海河两大流域,北部主要是太行山山地和丘陵岗地,南部为黄河冲积扇平原,平原占全市土地总面积的78%。属暖温带大陆性季风气候,四季分明,年平均气温14℃,年平均降雨656.3mm,土地肥沃,光热充沛。全市有林地面积12.6万hm²,森林覆盖率22.3%,主要的绿化乔木、灌木有加拿大杨(*Populus canadensis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、毛白杨(*Populus tomentosa*)、栾树(*Koelreuteria paniculata*)、榆叶梅(*Amygdalus triloba*)、丁香(*Syzygium aromaticum*)、紫叶李(*Prunus ceraifera*)等。

1.2 材料采集

2023年8月中旬,在研究区内选择在园林绿化中应用频率较高的刺槐、栾树、毛白杨、玉兰(*Magnolia denudata*)、五角枫(*Acer elegantulum*)、榆叶梅、丁香、紫叶李等16种植物(表1)为研究对象,所选择株树龄均在10年以上。每个树种随机选取体量相近的成熟植株5株,在阳面随机选取植株下围的枝条,每株剪取无病无斑无虫害且大小相似的成熟叶片6片,共30片,放入湿润的密封袋里,带入实验室内进行相关指标测定。

1.3 叶功能性状测定

用滤纸擦拭干净待测叶片,用精确度为0.001的电子天平测量叶鲜重(fresh leaf weight, FW);使用叶面积扫描仪(LI-COR LI-3000C)测得叶面积(leaf area, LA)。在105℃条件下杀青30min,75℃下烘干

表1 两种生活型木本植物基本情况

Table 1 Basic information of two life forms of woody plants

植物名 Species	科名 Family	生活型 Life form	叶质 Leaf texture
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	豆科 <i>Leguminosae</i>	乔木 Arbor	纸质 Paper
五角枫 <i>Acer elegantulum</i>	槭树科 <i>Aceraceae</i>	乔木 Arbor	纸质 Paper
加拿大杨 <i>Populus × canadensis</i>	杨柳科 <i>Salicaceae</i>	乔木 Arbor	纸质 Paper
毛白杨 <i>Populus tomentosa</i>	杨柳科 <i>Salicaceae</i>	乔木 Arbor	纸质 Paper
法桐 <i>Platanus orientalis</i>	悬铃木科 <i>Platanus</i>	乔木 Arbor	纸质 Paper
白蜡 <i>Fraxinus chinensis</i>	木犀科 <i>Oleaceae</i>	乔木 Arbor	纸质 Paper
玉兰 <i>Magnolia denudata</i>	木兰科 <i>Magnoliaceae</i>	乔木 Arbor	纸质 Paper
银杏 <i>Ginkgo biloba</i>	银杏科 <i>Ginkgoaceae</i>	乔木 Arbor	纸质 Paper
栎树 <i>Koelreuteria paniculata</i>	无患子科 <i>Sapindaceae</i>	乔木 Arbor	纸质 Paper
日本晚樱 <i>Cerasus serrulata</i>	蔷薇科 <i>Rosaceae</i>	乔木 Arbor	纸质 Paper
紫荆 <i>Cercis chinensis</i>	蔷薇科 <i>Rosaceae</i>	灌木 Shrub	纸质 Paper
紫叶李 <i>Prunus cerasifera</i>	蔷薇科 <i>Rosaceae</i>	灌木 Shrub	纸质 Paper
垂丝海棠 <i>Malus Halliana</i>	蔷薇科 <i>Rosaceae</i>	灌木 Shrub	纸质 Paper
西府海棠 <i>Malus micromalus</i>	蔷薇科 <i>Rosaceae</i>	灌木 Shrub	纸质 Paper
榆叶梅 <i>Amygdalus triloba</i>	蔷薇科 <i>Rosaceae</i>	灌木 Shrub	纸质 Paper
丁香 <i>Syzygium aromaticum</i>	木犀科 <i>Oleaceae</i>	灌木 Shrub	纸质 Paper

24 h至恒重,测得叶干重(dry leaf weight, DW)。用游标卡尺测量5个叠加叶片的中部,取平均值,即为叶厚度(leaf thickness, LT)。根据以下公式计算相关叶功能性状。

$$\text{比叶面积(specific leaf area, SLA)}(\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}) = LA/DW$$

$$\text{叶干物质含量(leaf dry matter content, LDMC)}(\text{g} \cdot \text{g}^{-1}) = DW/FW$$

$$\text{叶含水率(leaf moisture content, LWC)}(\%) = (FW - DW)/FW \times 100$$

用乙醇提取法获得各种植物叶片叶绿素提取液,使用多功能酶标仪(PerkinElmer EnSpire)测定叶绿素提取液分别在665 nm和649 nm下的吸光度 A_{665} 和 A_{649} ,并根据以下公式得到叶绿素总含量(chlorophyll, Chl)。

$$\text{叶绿素 a 的浓度}(C_a)(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) = 13.70A_{665} - 5.76A_{649}$$

$$\text{叶绿素 b 的浓度}(C_b)(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) = 25.80A_{649} - 7.60A_{665}$$

$$\text{叶绿素总浓度}(C_T)(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}) = C_a + C_b = 6.10A_{665} + 20.04A_{649}$$

$$\text{叶绿素含量}(Chl)(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{C_T \times \text{提取液总量} \times \text{稀释倍数}}{\text{材料鲜重}}$$

1.4 数据分析方法

将每个树种所得的植物叶功能性状的各个数据取平均值,根据木本植物不同生活型进行分类,实现对同一环境下两种生活型的木本植物各个叶功能性状的比较。使用Microsoft Excel软件对数据进行统计和归档;使用IBM SPSS Statistics 26软件,进行降维叶功能性状主成分分析,以Pearson相关性分析分析植物功能性状间的相关性;用方差分析检测不同生活型乔木对植物叶功能性状的变异影响;使用SPSS箱线图呈现不同生活型植物的分布特征。

2 结果与分析

2.1 叶功能性状变异特征分析

对两种生活型木本植物叶功能性状的平均值、标准偏差、变化程度以及变异系数(coefficient of variation, CV)分析可知(表2),乔木树种的叶鲜重(90.13%)、叶干重(86.36%)和叶面积(95.13%)呈强变异($CV \geq 50\%$ 时,属强变异^[18]);叶厚度(36.97%)、叶绿素含量(42.85%)和比叶面积(34.91%)属于中等变异($20\% \leq CV < 50\%$ 时,属中等变异);叶干物质含量(18.79%)和叶含水率(12.81%)属于弱变异($CV < 20\%$ 时,属于弱变异)。不同叶功能性状的变异系数相差较大,说明叶鲜重、叶干重和叶面积受环境影响最大,而叶干物质含量和叶含水率则相对稳定。

表2 两种生活型木本植物植物叶功能性状变异特征

Table 2 Variability of leaf functional traits of two life forms of woody plants

	指标 Index	平均值 Mean	标准偏差 SD	最小值 Min.	最大值 Max.	变异系数/% CV
乔木 Arbor	叶鲜重FW	1.56	1.40	0.39	4.55	90.13
	叶干重DW	0.59	0.51	0.12	1.84	86.36
	叶厚度LT	0.35	0.13	0.01	0.61	36.97
	叶面积LA	73.81	70.22	20.06	270.51	95.13
	叶绿素含量Chl	0.60	0.20	0.20	1.21	42.85
	叶干物质含量LDMC	0.39	0.07	0.26	0.57	18.79
	比叶面积SLA	135.66	47.37	50.00	229.61	34.91
	叶含水率LWC	0.60	0.07	0.43	0.74	12.81
灌木 Shrub	叶鲜重FW	0.79	0.47	0.43	1.77	60.17
	叶干重DW	0.26	0.12	0.17	0.56	47.54
	叶厚度LT	0.45	0.18	0.28	0.79	41.68
	叶面积LA	47.25	29.37	20.67	93.17	62.17
	叶绿素含量Chl	0.60	0.20	0.30	1.00	33.84
	叶干物质含量LDMC	0.36	0.09	0.20	0.46	24.93
	比叶面积SLA	179.23	96.85	97.71	393.11	54.03
	叶含水率LWC	0.63	0.09	0.54	0.80	14.60

灌木树种的比叶面积(54.03%)、叶鲜重(60.17%)和叶面积(62.17%)属于强变异;叶干重(47.54%)、叶厚度(41.68%)、叶绿素含量(33.84%)和叶干物质含量(24.93%)属于中等变异;叶含水率(14.60%)属于弱变异。说明灌木的比叶面积、叶鲜重和叶面积受环境影响较大,叶含水率则相对稳定。

2.2 两种生活型植物叶功能性状的分布特征

观察两种不同生活型木本植物叶功能性状分布特征(图1),通过对中位数的比较可知,乔木的叶鲜重、叶干物质含量、叶面积明显高于灌木,而灌木的叶绿素含量明显高于乔木。通过对平均值的比较可知,乔木的叶鲜重、叶干重、叶面积明显高于灌木,而灌木的叶绿素含量、比叶面积明显高于乔木。根据箱图的长短可知,乔木的叶鲜重、叶干重、叶面积、叶绿素含量相对于灌木来说较分散,而灌木的叶厚度相对于乔木来说更分散。

2.3 叶功能性状相关性分析

由表3可知,乔木树种的叶厚度和叶含水率极显著正相关($p < 0.01$),和叶干物质含量显著正相关($p < 0.05$);叶面积与叶鲜重和叶干重呈极显著正相关关系($p < 0.01$),与比叶面积呈显著正相关关系($p < 0.05$);比叶面积与叶干物质含量呈显著负相关关系($p < 0.05$),与叶绿素含量呈显著正相关关系($p < 0.05$)。叶干物质含量与叶含水率之间呈极显著负相关关系($p < 0.01$)。

灌木树种的叶厚度与叶绿素含量极显著正相关($p < 0.01$);叶面积与叶鲜重、叶干重、比叶面积和叶含水率都呈极显著正相关关系($p < 0.01$),与叶干物质含量呈极显著负相关关系($p < 0.01$)。叶鲜重与叶干重和叶含水率呈极显著正相关关系($p < 0.01$),与叶干物质含量呈极显著负相关关系($p < 0.01$)。比叶面积与叶干物质含量呈极显著负相关关系($p < 0.01$),与叶含水率呈极显著正相关关系($p < 0.01$)。叶干物质含量与叶含水率呈极显著负相关关系($p < 0.01$)。

2.4 叶功能性状主成分分析

通过主成分分析可知,主成分1,2,3分别解释了8个植物叶功能性状总方差的38.5%、30.2%和16.1%,总计84.8%。因此可以分析原始8个叶功能性状84.8%的方差变异。主成分1中叶鲜重的载荷最大;叶干重在主成分2中的载荷最大;主成分3中载荷最大的为叶绿素含量(图2)。

3 讨论与结论

叶鲜重主要与叶片的含水率有关,受树种所处环境(空气湿度、土壤湿度等)、所处的垂直高度等多种因素的影响。通过比较叶功能性状变异系数可知,乔木树种和灌木树种的叶鲜重均属于强变异,乔木树种相对于灌木树种而言叶鲜重的变化范围更大,最大值是最小值的10倍以上,表明不同生活型乔木不仅在遗传特征上有很大差别,对类似环境的适应性差异也很大。比叶面积是评价植物叶功能

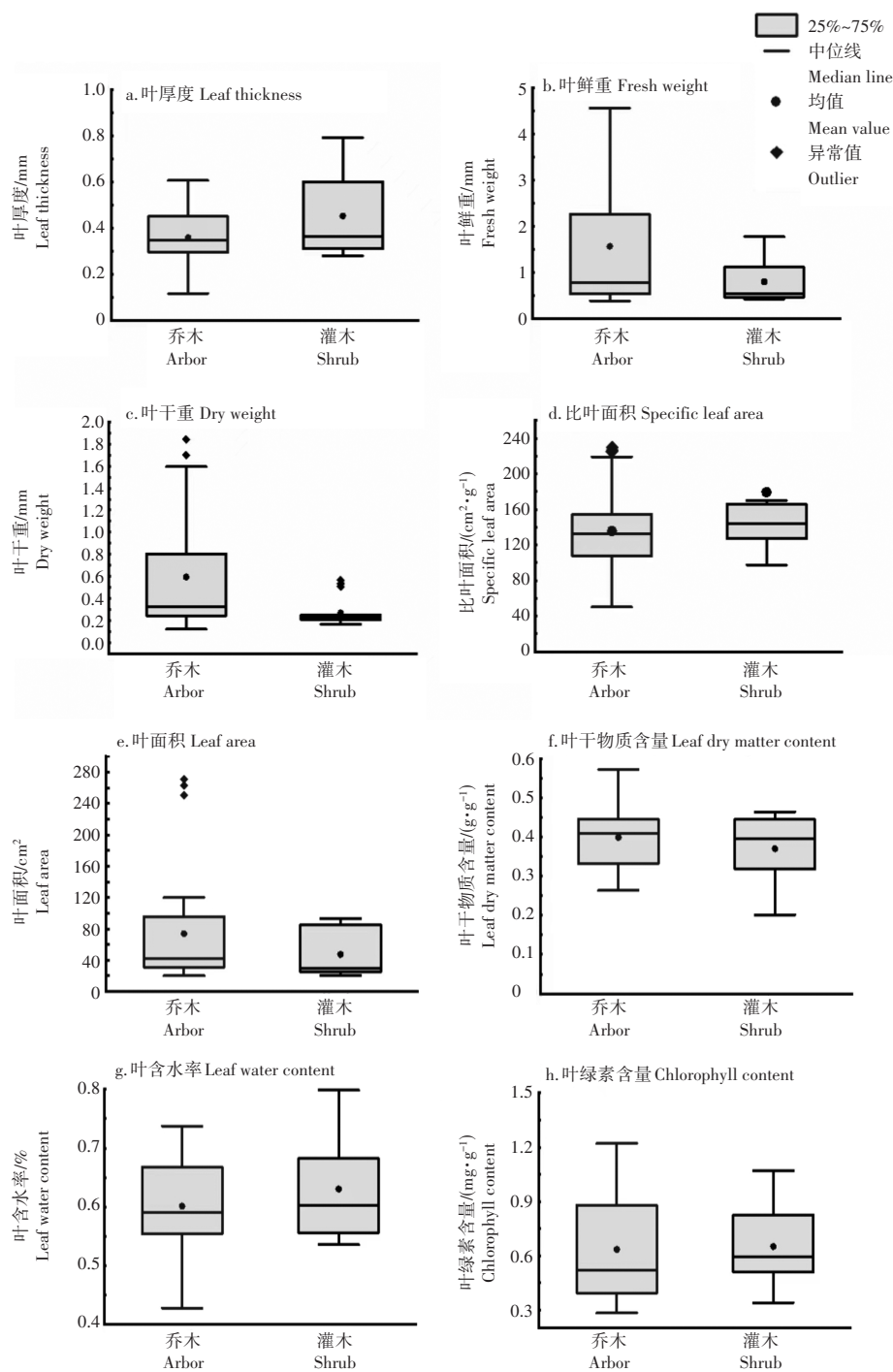


图1 两种不同生活型木本植物叶功能性状分布特征

Figure 1 Distribution characteristics of leaf functional traits on two life forms of woody plants

性状、植物生长发育和高产性能的重要生理指标^[19]。它在一定程度上可以反映植物获取光能的能力,以及应对强光照环境的应激能力,表征植物对环境资源的利用能力以及对资源获得和储存的能力^[20]。比叶面积较大,有利于增加叶片内光合有效氮的比例,提高光合作用效率^[21-22]。研究区内的乔木树种与灌木树种的比叶面积平均值分别为 $135.66 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $179.23 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,与一些学者的研究结果相当^[23-24],亦反映出比叶面积与垂直高度呈负相关的规律^[25]。相对较小的比叶面积表明乔木树种对叶器官的投资较低,构建叶片成本较高,其叶边缘厚度大或组织密度大,更易在营养条件不良、水分不足的环境中维持生存生长^[26-27]。

表3 两种生活型木本植物叶功能性状Pearson相关性分析

Table 3 Pearson correlation between leaf functional traits of two life forms of woody plants

指标 Index	叶厚度 LT	叶鲜重 FW	叶干重 DW	比叶面积 SLA	叶面积 LA	叶干物质含量 LDMC	叶含水率 LWC	叶绿素含量 Chl	
乔木 Arbor	1	0.065	-0.222	0.402	0.340	0.437*	0.738**	0.187	
	叶厚度 LT	1							
	叶鲜重 FW	0.065	1						
	叶干重 DW	-0.222	0.951**	1					
	比叶面积 SLA	0.402	-0.112	-0.274	1				
	叶面积 LA	0.340	0.823**	0.691**	0.373*	1			
	叶干物质含量 LDMC	0.437*	-0.271	-0.013	-0.271*	-0.245	1		
	叶含水率 LWC	0.738**	0.245	0.021	0.272	0.245	-0.987**	1	
	叶绿素含量 Chl	0.187	-0.214	-0.293	0.391*	0.013	0.132	-0.131	1
灌木 Shrub	1	-0.539*	-0.418*	-0.259	0.486*	0.480*	-0.481*	0.721**	
	叶厚度 LT	1							
	叶鲜重 FW	-0.539*	1						
	叶干重 DW	-0.418*	0.893**	1					
	比叶面积 SLA	-0.259	0.426	-0.037	1				
	叶面积 LA	0.486*	0.936**	0.672**	0.711**	1			
	叶干物质含量 LDMC	0.480*	-0.692**	-0.283	-0.914**	-0.872**	1		
	叶含水率 LWC	-0.481*	0.695**	0.294	0.901**	0.866**	-0.994**	1	
	叶绿素含量 Chl	0.721**	-0.445	-0.393	-0.085	-0.343	-0.304	1	

注:*表示在 0.05 水平上显著;**表示在 0.01 水平上显著。

Note: * indicates significant at the 0.05 level; ** indicates significant at the 0.01 level.

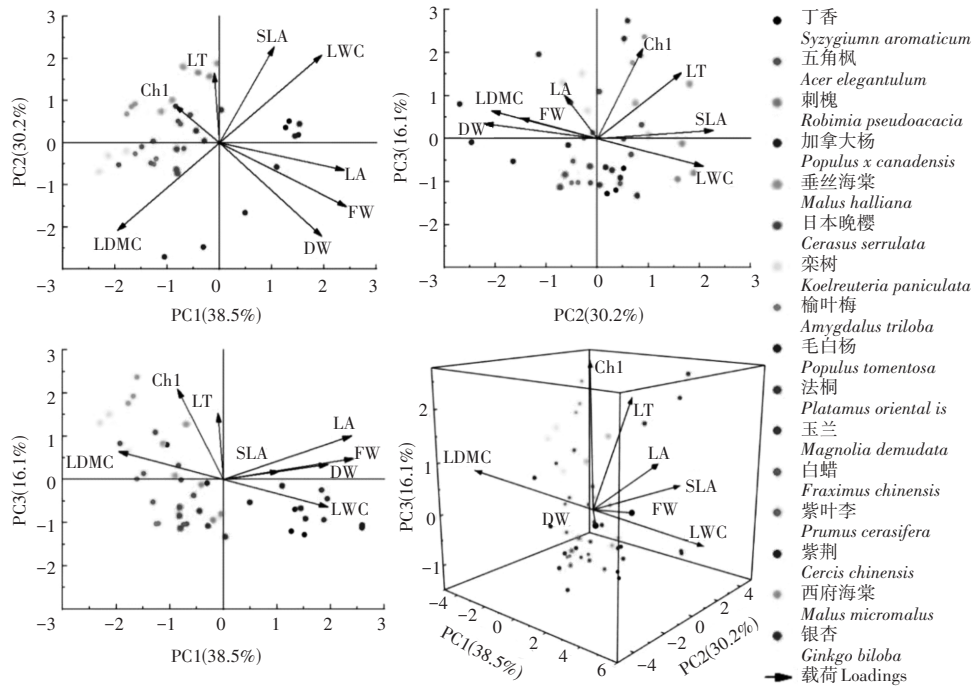


图2 植物叶功能性状主成分分析

Figure 2 Principal component analysis of leaf functional traits

植物叶片吸收光能的主要物质是叶绿素,叶绿素含量直接影响植物光合作用的效能与水平,是生态系统活力的重要体现。同时,叶绿素含量是反应植物光合能力强弱以及衰老进程的主要指标^[28]。本研究中乔木树种与灌木树种的叶绿素总含量的变异系数均属于中等变异水平,而乔木树种的叶绿素含量的变化范围和变异系数均大于灌木树种。叶干物质含量可以反映植物对环境资源的获取和效率,表征植物对营养物质的保有能力,叶面积大小直接决定着植物获取光能的能力^[29-30]。由变异特征分析可知乔木树种的叶干物质含量和叶面积的平均值、变化范围均高于灌木树种,反映出乔木树种为了获取更多资源存在的竞争大于灌木树种,因此植物通过提高叶干物质含量、增大叶面积的生存策略来适应环境。

总体来说,两种生活型木本植物叶功能性状属性值的变异有相似之处,均表现为叶面积、叶鲜重属于强变异,叶厚度、叶绿素含量属于中等变异,叶含水率属于弱变异的特征,说明总体上为适应环境条件,两种生活型木本植物有相似的适应策略;但是从变异程度来看,乔木树种叶功能性状的变异程度总体更高,反映出在相同的气候条件和地理环境下,乔木树种为适应局部小环境做出了更大的性状特征调整^[31-32]。乔木树种的叶面积、叶鲜重、叶干重、比叶面积和叶绿素含量的数值与灌木树种的数值相比更为分散,而灌木树种的叶厚度、叶干物质含量和叶含水率的数值与乔木树种相比更为分散。数值分布较分散的各个数值表明这些叶功能性状更容易受到环境的影响,这与叶功能性状的变异分析所得的变化范围基本吻合^[33]。以上分析表明乔木树种与灌木树种具有不同的叶功能性状特征,分别采用不同的叶功能性状策略适应生境。

在主成分分析中,植物叶功能性状的载荷越大,则该性状对植物生长的贡献率越高^[34]。研究显示木本植物叶功能性状中叶鲜重、叶干重、叶绿素总含量在性状症候群中占主要地位。植物各叶功能性状之间通过相互协作来适应环境、更好地获取资源^[35]。本研究中,乔木树种和灌木树种各叶功能性状之间密切相关,但灌木树种的叶功能性之间的相互作用比乔木树种更强,也说明植物通过灵活多变的性状间权衡机制来应对环境的变化。

通过对两种生活型的木本植物叶功能性状的研究可以看出,两种生活型木本植物叶性状存在不同程度的变异,乔木树种的叶鲜重、叶干重和叶面积呈强变异,叶干物质含量和叶含水率属于弱变异。灌木树种的比叶面积、叶鲜重和叶面积属于强变异;叶含水率属于弱变异。乔木树种的叶面积、叶鲜重、叶干重、比叶面积和叶绿素含量的数值与灌木树种的数值相比更为分散,而灌木树种的叶厚度、叶干物质含量和叶含水率的数值与乔木树种相比更为分散,总体上灌木树种的大多指标稳定性高于乔木树种。两种生活型木本植物叶功能性状指标间关系密切,叶鲜重、叶干重、叶绿素含量贡献率最大,可作为木本植物适应生境的重要指标。总的来说,乔木树种的大多叶功能性状的稳定性和指标间的相关性与灌木植物相比较弱,但是乔木树种对环境的适应性比灌木树种强,乔木树种为适应生态环境,在生存机制上做出的调整程度大于灌木树种。

参考文献:

- [1] 朱晓旭,温仲明,郑 诚,等.延河流域不同生活型植物功能性状特征及其对环境变化的响应[J].水土保持研究,2023,30(6):328-336.
- [2] 覃张芬,汤松波,旷远文,等.热带珊瑚岛不同生活型植物叶片性状及其生态适应性意义[J].热带亚热带植物学报,2022,30(6):855-862.
- [3] 欧芷阳,庞世龙,何 峰,等.猫儿山主峰常见植物叶功能性状的变异与关联[J].广西林业科学,2021,50(5):557-562.
- [4] 李雨桐,张 兴,曲彦婷,等.苏州市常见行道树叶功能性状对空气质量的响应策略研究[J].东北农业大学学报,2022,53(7):16-27.
- [5] 孙 梅,田 昆,张 贇,等.植物叶片功能性状及其环境适应研究[J].植物科学学报,2017,35(6):940-949.
- [6] 熊 玲,龙翠玲,廖全兰,等.茂兰喀斯特森林木本植物叶的功能性状及其相互关系[J].应用与环境生物学报,2022,28(1):152-159.
- [7] GONZALEZ-PALEO L,RAVETTA D A.Relationship between photosynthetic rate,water use and leaf structure in desert annual and perennial forbs differing in their growth[J].Photosynthetica,2018,56(4):1177-1187.
- [8] 刘 利,孙鹤铭,王 赫,等.辽河流域河岸带植被多样性特征与空间分布规律研究[J].辽宁大学学报(自然科学版),2023,50(2):119-125.
- [9] 何 靖,田 青,何桂萍,等.岷山摩天岭北坡木本植物功能性状的变异特征[J].甘肃农业大学学报,2019,54(6):131-141.
- [10] 何 雁,姚玉萍,姚义鹏,等.桂林岩溶石山青冈群落植物功能性状的种间和种内变异研究[J].生态学报,2021,41(20):8237-8245.
- [11] 刘朝阳,罗应华,于 瀛,等.四种乡土珍贵阔叶树种叶功能性状的种内和种间变异[J].广西植物,2022,42(2):257-266.
- [12] 庞世龙,欧芷阳,申文辉,等.桂西南喀斯特地区优势木本经济植物叶功能性状变异及其适应策略[J].广西植物,2021,41(5):707-714.

- [13] 宋海彬,武富庆,于翠芳.面向城市空气污染的森林生态功能评估研究[J].辽宁大学学报(自然科学版),2022,49(4):325-332.
- [14] 王超,卢杰,姚慧芳,等.急尖长苞冷杉叶功能性状特征及其环境响应[J].森林与环境学报,2022,42(2):123-130.
- [15] 何雅琴,史晓洁,陈国杰,等.滨桉叶功能性状对环境因子的响应[J].生态学报,2022,42(6):2418-2429.
- [16] 李娟霞,何靖,孙一梅,等.10种园林植物功能性状对大气污染的生理生态响应[J].生态环境学报,2020,29(6):1205-1214.
- [17] 杨芷毓,张兴,张洪运,等.苏州市城市公园常见植物叶功能性状对热环境的响应机制研究[J].东北农业大学学报,2023,54(7):14-24.
- [18] 熊玲.茂兰喀斯特森林木本植物叶片功能性状的地形差异性研究[D].贵阳:贵州师范大学,2022.
- [19] ROCHE P,DÍAZ-BURLINSON N,GACHET S.Congruency analysis of species ranking based on leaf traits:Which traits are the more reliable?[J].Plant Ecology,2004,174(1):37-48.
- [20] 胡耀升,么旭阳,刘艳红.长白山森林不同演替阶段比叶面积及其影响因子[J].生态学报,2015,35(5):1480-1487.
- [21] 钟巧连,刘立斌,许鑫,等.黔中喀斯特木本植物功能性状变异及其适应策略[J].植物生态学报,2018,42(5):562-572.
- [22] MA J M,CHEN T,LIANG S C.Leaf traits of 14 dominant arbuscle and *Liana* species in Karst hills of Guilin[C]//2011 International Conference on Remote Sensing,Environment and Transportation Engineering.Nanjing.IEEE,2011:7653-7655.
- [23] 程雯,喻阳华,熊康宁,等.喀斯特高原峡谷优势种叶片功能性状分析[J].广西植物,2019,39(8):1039-1049.
- [24] 杨杰,田永超,姚霞,等.水稻上部叶片叶绿素含量的高光谱估算模型[J].生态学报,2009,29(12):6561-6571.
- [25] 周欣,左小安,赵学勇,等.科尔沁沙地中南部34种植物叶功能性状及其相互关系[J].中国沙漠,2015,35(6):1489-1495.
- [26] 王梦洁,容丽,李婷婷,等.黔中喀斯特9种木质藤本叶功能性状研究[J].热带亚热带植物学报,2021,29(5):455-464.
- [27] WRIGHT I J,REICH P B,WESTOBY M,et al.The worldwide leaf economics spectrum[J].Nature,2004,428:821-827.
- [28] 祁建,马克明,张育新.北京东灵山不同坡位辽东栎(*Quercus liaotungensis*)叶属性的比较[J].生态学报,2008,28(1):122-128.
- [29] 冯秋红,史作民,董莉莉,等.南北样带落叶乔木功能性状及其与气象因子的关系[J].中国农业气象,2009,30(1):79-83.
- [30] 刘贵峰,刘玉平,达福白乙拉,等.大青沟自然保护区主要森林群落优势种的叶性状[J].生态学报,2017,37(14):4646-4655.
- [31] 李玉霖,崔建垣,苏永中.不同沙丘生境主要植物比叶面积和叶干物质含量的比较[J].生态学报,2005,25(2):304-311.
- [32] GEDAN K B,BERTNESS M D.Experimental warming causes rapid loss of plant diversity in New England salt marshes[J].Ecology Letters,2009,12(8):842-848.
- [33] 张秀芳,穆振北,林美娇,等.琅岐岛4种优势植物叶功能性状及其影响因子[J].应用与环境生物学报,2020,26(3):667-673.
- [34] 黄庆阳,谢立红,曹宏杰,等.五大连池火山山杨叶功能性状的变异特征[J].北京林业大学学报,2021,43(2):81-89.
- [35] 谭一波,申文辉,田红灯,等.猫儿山不同海拔植物群落树木构型差异及其影响因子[J].应用生态学报,2019,30(8):2614-2620.

[责任编辑 李薇]