

## ◆特邀栏目◆

两种生长基质下降香黄檀叶片形态解剖表型可塑性比较<sup>\*</sup>韦耀妮<sup>1</sup>,杨振德<sup>1,2</sup>,文黎<sup>1</sup>,席英卓<sup>1</sup>,覃桂丽<sup>1</sup>,玉舒中<sup>1\*\*</sup>

(1. 广西大学林学院,广西南宁 530004;2. 广西森林生态与保育重点实验室,广西南宁 530004)

**摘要:**为研究不同生长基质对降香黄檀(*Dalbergia odorifera*)叶片表型可塑性(Phenotypic plasticity)的影响,为降香黄檀在石漠化地区的栽培提供依据,以全壤土和全石砾生长基质栽培下的降香黄檀幼苗为研究对象,采用石蜡切片法对叶片的形态解剖参数可塑性进行研究。结果表明:雨季(6月)取样的降香黄檀叶片形态解剖参数可塑性在不同生长基质间差异不显著( $P>0.05$ );而在旱季(11月)取样的叶片形态解剖参数可塑性在不同生长基质间差异显著( $P<0.05$ ),在全石砾基质生长的降香黄檀叶片形态解剖参数可塑性显著高于在全壤土基质生长的降香黄檀叶片。其中,叶面积(LA)对生长基质和季节旱湿度的变化最敏感,可作为降香黄檀生长环境适应性评价的重要指标。

**关键词:**降香黄檀 生长基质 叶片 形态解剖 表型可塑性

中图分类号:Q945.11 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2021)02-0189-07

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20210610.004

## 0 引言

表型可塑性(Phenotypic plasticity)是同一个基因型的生物个体通过调节外部形态特征和内部生理功能等来适应异质生境的生态适应行为<sup>[1,2]</sup>。在植物与环境相互作用过程中,植物通过表型可塑性策略更好地适应环境<sup>[3]</sup>。叶片作为植物与环境接触面积最大的营养器官,在环境因子(如水分、温度和光照等)发生变化的过程中具有较大的可塑性<sup>[4]</sup>。因此,叶片形态解剖表型可塑性指数是评价植物适应异质

性环境的重要指标。目前已有许多学者从植物功能性状角度去探讨石漠化地区植物的适应策略<sup>[5-8]</sup>,如叶经济谱<sup>[9,10]</sup>、光合特性<sup>[11-15]</sup>、生长特性<sup>[16,17]</sup>或形态解剖等生理特征<sup>[18-21]</sup>。

降香黄檀(*Dalbergia odorifera*),属豆科(Leguminosae)蝶形花亚科(Papilionaceae)黄檀属(*Dalbergia*)常绿半落叶乔木,被列为国家二级保护植物<sup>[22]</sup>,原产于我国海南岛,在广东、福建等华南地区多有分布<sup>[23]</sup>。降香黄檀对陡坡、岩石裸露和干旱瘦瘠地等贫瘠生境适应性强,因其自身具根瘤固氮、抗

\* 国家自然科学基金项目(31760058)资助。

## 【作者简介】

韦耀妮(1995-),女,在读硕士研究生,主要从事森林培育研究。

## 【\*\*通信作者】

玉舒中(1980-),男,高级实验师,主要从事植物生理生态研究,E-mail:1047918014@qq.com。

## 【引用本文】

韦耀妮,杨振德,文黎,等.两种生长基质下降香黄檀叶片形态解剖表型可塑性比较[J].广西科学,2021,28(2):189-195.

WEI Y N, YANG Z D, WEN L, et al. Comparison of Morphological and Anatomical Phenotypic Plasticity of *Dalbergia odorifera* Leaves under Two Growth Substrates [J]. Guangxi Sciences, 2021, 28(2): 189-195.

旱和耐贫瘠等能力多被用作喀斯特石漠化地区造林的先锋树种<sup>[24]</sup>。但是关于降香黄檀如何通过叶片表型可塑性策略适应石漠化环境, 还未见有关研究报告。因此, 本研究以全壤土和全石砾生长基质(模拟极端石漠化土壤基质)栽培下的降香黄檀幼苗为研究对象, 研究不同生长基质下叶片形态解剖参数及其表型可塑性变化, 旨在阐明降香黄檀的石漠化适应机制, 为降香黄檀在石漠化地区的推广栽培提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于广西大学林学院林学苗圃实验基地(108°22'E, 22°48'N), 气候为典型亚热带季风气候, 年均气温 21.6℃, 极端最高气温 40.4℃, 极端最低气温 -2.4℃, 年均降雨量达 1 304.2 mm, 降水日数 116-181 d, 平均相对湿度 79%。其中 4-9 月为雨季, 高温多雨, 降水量占年降水量的 70%-85%; 10 月至次年 3 月为旱季, 干旱少雨, 降水量仅占年降水量的 15%-30%<sup>[25]</sup>。

### 1.2 材料

生长基质: 生长基质全壤土基质(赤红壤)和全石砾基质(石灰岩碎石)均采自广西壮族自治区南宁市马山县石漠化地区, 其中全壤土基质 pH 值 5.34, 相对含水量为 19.63%, 全磷含量 0.145 g·kg<sup>-1</sup>, 全钾 5.745 g·kg<sup>-1</sup>, 全氮 1.753 g·kg<sup>-1</sup>; 全石砾基质粒径约 0.51 cm, pH 值 8.21, 相对含水量为 2.89%, 全磷含量 0.002 g·kg<sup>-1</sup>, 全钾 0.105 g·kg<sup>-1</sup>, 而全氮含量极低。

降香黄檀幼苗: 试验材料为长势较一致的两年生降香黄檀幼苗(苗高 54.0-56.0 cm, 地径 0.7-0.9 cm), 于 2019 年 11 月分别栽种在 65 cm×100 cm 装有全壤土和全石砾的塑料桶中(底部带有排水孔), 一桶一株, 全壤土和全石砾基质各栽植 10 株。为保证幼苗正常生长, 自栽苗后, 每隔 20 min 进行一次滴灌, 每次滴灌 5 min, 持续 5 个月。从 2020 年 4 月 1 日起, 每日早上 6:00、晚上 18:00 各滴灌 10 min, 11 月 1 日起停止滴灌至采样结束。试验期间采用一致的田间管理, 定期除去杂草, 无额外人工施肥等营养措施。

### 1.3 指标测定方法

分别于 2020 年 6 月中旬和 11 月中旬进行采样。每种生长基质下随机选出 3 株无病虫害、长势良好的

降香黄檀幼苗采集叶片, 每株在降香黄檀向阳面生长的树冠中上部位选取完整成熟叶片 30 片, 装袋标记好后置于冰盒中带回室内分别进行叶片形态与解剖参数测定。

使用便携式 CI-203 叶面积测定仪测量样叶叶长、叶宽和叶面积。测量结束后, 将叶片置于烘箱内 105℃ 杀青处理 30 min 后于 75℃ 烘干至恒重, 同时称量叶片干重, 并计算叶面积与叶干重之比(SLA)。

另外, 在室内把采摘的新鲜叶片立即用标准固定液(70%酒精:38%甲醛:冰醋酸=90:5:5, V:V:V)进行固定, 固定好后, 沿着主脉, 在叶片中部剪出 0.5 cm×0.5 cm 叶块, 按照常规石蜡切片流程操作后, 用 LEICARM2245 石蜡切片机切片, 切片厚度为 8 μm, 番红-固绿双重染色后, 用加拿大中性树胶进行封片, 置于 LEICA 显微镜下观察并拍照, 并使用 Image J 软件测量叶片总厚度、叶表皮厚度、栅栏组织厚度和海绵组织厚度, 每个处理测量 3 个样本, 每个样本测量 10 个视野, 求平均值, 并参照李娟霞等<sup>[26]</sup>的方法计算栅海比(P/S)、叶片结构紧实度(CTR)和疏松度(SR)。

### 1.4 数据处理

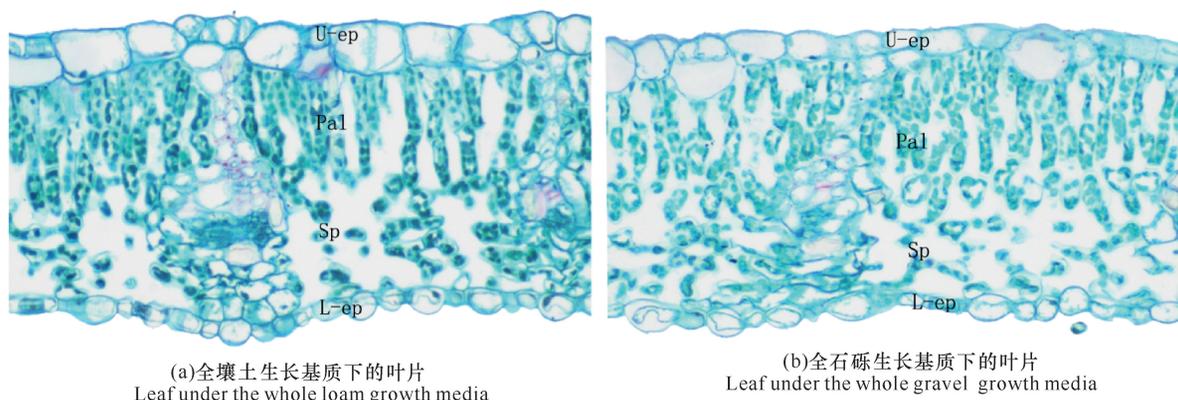
所有数据使用 Excel 2010 和 SPSS20.0 进行分析, 比较两种生长基质下降香黄檀叶片形态解剖特征的差异。参照 Valladares 等<sup>[27]</sup>的方法计算出可塑性指数(PI)来评价两种生长基质下叶片形态解剖表型可塑性。

## 2 结果与分析

### 2.1 形态解剖特征

两种生长基质下降香黄檀叶片均属于异面叶, 包括上表皮、下表皮、栅栏组织和海绵组织。与全壤土基质相比, 全石砾基质下叶片上表皮细胞个体较小, 多呈扁长状; 下表皮细胞个体变化差异较大, 多为近圆或椭圆形; 栅栏组织排列相对疏松, 且上表皮和海绵组织的厚度相对较大, 栅栏组织厚度相对较小(图 1)。

在同一月份, 除叶片结构疏松度(SR)无显著差异外, 不同生长基质下降香黄檀叶片形态解剖结构指标差异显著( $P < 0.05$ ) (表 1), 全石砾基质下叶片海绵组织厚度显著大于全壤土基质, 叶长、叶面积、叶厚度和栅栏组织等形态解剖结构指标显著小于全壤土基质。



(a)全壤土生长基质下的叶片  
Leaf under the whole loam growth media

(b)全石砾生长基质下的叶片  
Leaf under the whole gravel growth media

U-ep:上表皮;L-ep:下表皮;Pal:栅栏组织;Sp:海绵组织

U-ep: Upper epidermis; L-ep: Lower epidermis; Pal: Palisade tissue; Sp: Spongy tissue

图1 不同生长基质下降香黄檀幼苗叶片解剖结构(200X)

Fig. 1 Leaf anatomical structure of *D. odorifera* seedlings under different growth media (200X)

表1 不同生长基质下不同月份降香黄檀叶片形态解剖特征

Table 1 Morphological and anatomical characteristics of *D. odorifera* leaves in different growth media in different months

月份 Month	生长基 质类型 Growth media type	指标 Index						
		叶长 Leaf length (cm)	叶宽 Leaf width (cm)	叶面积 leaf area (cm <sup>2</sup> )	叶干重 Leaf dry weight (g)	比叶面积 SLA(cm <sup>2</sup> · g <sup>-1</sup> )	叶厚度 Leaf thick- ness (μm)	上表皮厚度 Upper epi- dermis thick- ness (μm)
6月 June	全壤土 Whole loam	7.52 ± 0.11 <sup>Ba</sup>	3.12 ± 0.06 <sup>Ba</sup>	12.81 ± 0.33 <sup>Ba</sup>	1.09 ± 0.05 <sup>Ba</sup>	195.02 ± 1.70 <sup>Aa</sup>	191.80 ± 8.61 <sup>Aa</sup>	21.17 ± 0.27 <sup>Ba</sup>
	全石砾 Whole gravel	6.10 ± 0.10 <sup>Bb</sup>	2.71 ± 0.04 <sup>Bb</sup>	10.68 ± 0.33 <sup>Bb</sup>	0.86 ± 0.03 <sup>Bb</sup>	185.72 ± 1.15 <sup>Ab</sup>	167.64 ± 5.41 <sup>Ab</sup>	20.56 ± 0.08 <sup>Bb</sup>
11月 Nov.	全壤土 Whole loam	8.65 ± 0.14 <sup>Aa</sup>	3.51 ± 0.04 <sup>Aa</sup>	16.85 ± 0.27 <sup>Aa</sup>	1.46 ± 0.05 <sup>Aa</sup>	178.22 ± 1.52 <sup>Ba</sup>	191.21 ± 2.40 <sup>Aa</sup>	23.15 ± 0.63 <sup>Aa</sup>
	全石砾 Whole gravel	6.86 ± 0.12 <sup>Ab</sup>	2.97 ± 0.05 <sup>Ab</sup>	14.06 ± 0.59 <sup>Ab</sup>	1.11 ± 0.09 <sup>Ab</sup>	172.91 ± 1.20 <sup>Bb</sup>	154.43 ± 4.57 <sup>Bb</sup>	22.20 ± 0.64 <sup>Ab</sup>

月份 Month	生长基 质类型 Growth media type	指标 Index					
		下表皮厚度 Lower epi- dermis thickness (μm)	栅栏组织厚度 Palisade tissue thickness (μm)	海绵组织厚度 Spongy tissue thickness (μm)	栅海比 (P/S)	叶片结构紧 实度(CTR)	叶片结构疏 松度(SR)
6月 June	全壤土 Whole loam	14.48 ± 0.45 <sup>Aa</sup>	81.99 ± 0.76 <sup>Aa</sup>	64.84 ± 0.23 <sup>Ba</sup>	0.46 ± 0.02 <sup>Aa</sup>	0.46 ± 0.02 <sup>Aa</sup>	0.44 ± 0.02 <sup>Aa</sup>
	全石砾 Whole gravel	12.13 ± 0.55 <sup>Ab</sup>	56.22 ± 0.43 <sup>Ab</sup>	75.38 ± 0.67 <sup>Ba</sup>	0.36 ± 0.01 <sup>Ab</sup>	0.36 ± 0.01 <sup>Ab</sup>	0.41 ± 0.01 <sup>Ba</sup>
11月 Nov.	全壤土 Whole loam	14.56 ± 0.11 <sup>Aa</sup>	78.00 ± 0.16 <sup>Ba</sup>	80.17 ± 0.41 <sup>Ab</sup>	0.46 ± 0.03 <sup>Aa</sup>	0.38 ± 0.01 <sup>Ba</sup>	0.46 ± 0.03 <sup>Ba</sup>
	全石砾 Whole gravel	12.85 ± 0.42 <sup>Ab</sup>	51.03 ± 0.42 <sup>Bb</sup>	87.51 ± 2.15 <sup>Aa</sup>	0.32 ± 0.02 <sup>Ab</sup>	0.30 ± 0.01 <sup>Bb</sup>	0.46 ± 0.01 <sup>Aa</sup>

注:表中数据为平均值±标准误,同一列大写字母A、B表示同一生长基质不同月份各指标的差异显著性,同一列小写字母a、b表示同一月份不同基质各指标的差异显著性( $P < 0.05$ )

Note: The data in the figure is the mean value ± SE, the capital letters A and B of the same line represent the significant differences in each index of the same growth media in different months, and the lowercase letters a and b in the same line indicate the significant difference in each index of different growth media in the same month ( $P < 0.05$ )

在全壤土基质下,除叶厚度、下表皮厚度和栅海比(P/S)无显著差异外,11月份降香黄檀叶长、叶宽、叶面积、叶干重、上表皮厚度、海绵组织厚度和SR显著大于6月份,比叶面积(SLA)、栅栏组织厚度和CTR显著小于6月份。在全石砾基质下,除下表皮厚度和栅海比(P/S)无显著差异外,11月份降香黄檀

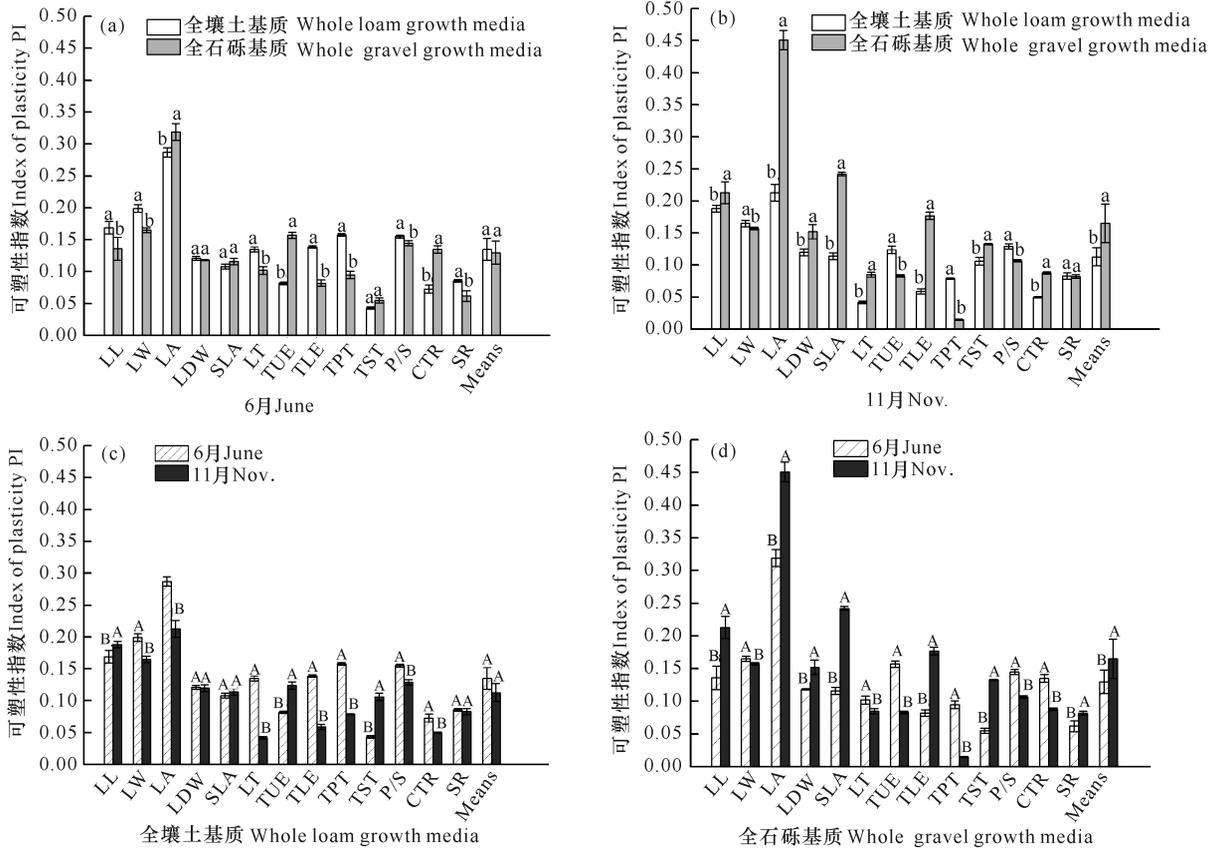
叶长、叶宽、叶面积、叶干重、上表皮厚度、海绵组织厚度和SR显著大于6月份,SLA、叶厚度、栅栏组织厚度和CTR显著小于6月份。

由此可知,与6月相比,全石砾基质下降香黄檀叶片厚度在11月份显著减小,而全壤土基质下降香黄檀叶片叶厚度则无显著差异。

## 2.2 形态解剖结构指标的可塑性指数

由图2可知,在6月份,全壤土基质和全石砾基质下生长的降香黄檀叶片形态解剖结构指标可塑性指数(PI)整体均值分别为0.135,0.130,除叶干重、SLA和海绵组织厚度的PI及叶片PI整体均值无显著差异外,全石砾基下降香黄檀叶面积的PI显著

大于全壤土基质( $P < 0.05$ ),上表皮厚度和CTR的PI极显著大于全壤土基质( $P < 0.01$ ),而叶长、叶宽、叶厚度、P/S和SR的PI显著小于全壤土基质,下表皮厚度和栅栏组织厚度的PI则极显著小于全壤土基质。



LL:叶长;LW:叶宽;LA:叶面积;LDW:叶干重;SLA:比叶面积;LT:叶厚度;TUE:上表皮厚度;TLE:下表皮厚度;TPT:栅栏组织厚度;TST:海绵组织厚度;P/S:栅海比;CTR:叶片结构紧实度;SR:叶片结构疏松度;Means:所有指标可塑性指数的均值;图中数据为平均值±标准差,大写字母A、B表示同一生长基质不同月份各指标的差异显著性,小写字母a、b表示同一月份不同基质各指标的差异显著性( $P < 0.05$ )

LL: Leaf length; LW: Leaf width; LA: Leaf area; LDW: Leaf dry weight; SLA: Specific leaf area; LT: Leaf thickness; TUE: Thickness of upper epidermis; TLE: Thickness of lower epidermis; TPT: Thickness of palisade tissue; TST: Thickness of spongy tissue; P/S: The ratio of palisade tissue thickness to spongy tissue thickness; CTR: Cell tense ratio; SR: Spongy ratio; Means: The mean value of plasticity index of all indexes; The data in the figure is the mean value  $\pm$  standard error, the capital letters A and B represent the significant difference of each index of the same growth media in different months, and the lowercase letters a and b represent the significant difference in each index of different growth media in the same month ( $P < 0.05$ )

图2 不同生长基质下不同月份降香黄檀叶片形态解剖的可塑性指数

Fig. 2 Plasticity index of leaf morphology and anatomy of *D. odorifera* in different months under different growth substrates

在11月份,全壤土基质和全石砾基质下生长的叶片PI整体均值分别为0.113,0.165,除SR的PI无显著差异外,全石砾基下降香黄檀叶宽、上表皮厚度和P/S的PI显著小于全壤土基质( $P < 0.05$ ),

栅栏组织厚度的PI极显著小于全壤土基质( $P < 0.01$ ),而叶面积、比叶面积、叶厚度和下表皮厚度的PI极显著大于全壤土基质,其余指标的PI和叶片PI均值则显著大于全壤土基质。

同理,在全壤土基质下,除叶干重、SLA 和 SR 的 PI 及叶片 PI 整体均值无显著差异外,11 月份降香黄檀叶长和上表皮厚度的 PI 显著大于 6 月份,海绵组织厚度的 PI 极显著大于 6 月份,而叶宽、叶面积、P/S 和 CTR 的 PI 显著小于 6 月份,叶厚度、下表皮厚度、栅栏组织厚度的 PI 则极显著小于 6 月份。

在全石砾基质下,6 月和 11 月的叶片 PI 整体均值差异显著,11 月份降香黄檀叶干重和 SR 的 PI 及叶片 PI 整体均值显著大于 6 月份,叶长、叶面积、SLA、下表皮厚度和海绵组织厚度的 PI 极显著大于 6 月份,而叶宽、叶厚度、P/S 和 CTR 的 PI 显著小于 6 月份,上表皮厚度和栅栏组织厚度的 PI 则极显著小于 6 月份。

由此可知,在所有指标中,不同月份、不同生长基质下叶面积的 PI 最高,全石砾基质下叶片 PI 整体均值在 11 月份最大。

### 3 讨论

生长在环境差异程度不大的不同种植物,其形态解剖结构往往表现出趋同变化;而生长在环境条件不一致的同种植物,其形态结构解剖结构表现出明显的趋异现象<sup>[28-30]</sup>。矿质元素作为重要的环境因素在植物生长过程中不可或缺,养分的缺失会严重限制植物正常生长发育<sup>[31]</sup>。喀斯特地区岩石裸露面积大,土壤水分和养分亏缺,植物通过降低叶面积和提高叶干物质含量来增强其耐干旱、耐贫瘠的能力<sup>[5,32]</sup>。叶面积 LA 和比叶面积 SLA 是反映植物获取光照资源和光合能力的两个重要指标,LA 越大,叶片光合能力越强,而低 SLA 的植物可以更好地适应资源贫瘠和干旱的环境<sup>[1,33-35]</sup>。本研究发现,全石砾基质下降香黄檀叶面积和比叶面积显著小于全壤土基质,推测降香黄檀可通过减小叶面积及比叶面积来适应干旱、高温和贫瘠的全石砾生长基质,这与其他学者对唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)<sup>[36]</sup>和白刺花(*Sophora davidii*)<sup>[37]</sup>的研究结果一致。

随着干旱胁迫加剧,植物呈叶片变薄、栅栏组织缩短变紧密等变化趋势<sup>[38,39]</sup>。从雨季到旱季,全石砾基质下降香黄檀叶片变薄、疏松度显著增大,而全壤土基质下降香黄檀叶片厚度变化无显著差异,疏松度显著减少。全石砾基质下降香黄檀叶片变薄的原因可能是降香黄檀受到养分和水分亏缺的影响,叶片细胞分裂受阻,生长速率受限。另外,叶片组织结构疏松度越高,从侧面也反映出叶片海绵组织发达或者

叶片较薄,此结果与其他学者对三叶木通(*Akebia trifoliata*)<sup>[39]</sup>和野生葡萄(*Vitis quinquangularis* Rehd)<sup>[40]</sup>的研究结果一致。

表型可塑性是植物适应环境的重要机制之一,可塑性指数是对可塑性大小的数值量化,可以直观地表达出植株形态、生理生态性状对环境资源变异的响应程度<sup>[41,42]</sup>。在雨季,全石砾基质下降香黄檀叶长、叶厚度和下表皮厚度的 PI 显著小于全壤土基质,而上表皮厚度的 PI 极显著大于全壤土基质。在旱季,全石砾基质下降香黄檀叶长、叶厚度和下表皮厚度的 PI 显著大于全壤土基质,而上表皮厚度的 PI 则显著小于全壤土基质,表明降香黄檀叶长、叶厚度、上表皮厚度和下表皮厚度在应对生长季节旱湿度起着重要作用。

从雨季到旱季,降香黄檀叶面积和下表皮厚度的 PI 在全石砾基质下极显著增大,在全壤土基质下显著减小;而上表皮厚度的 PI 在全石砾基质下极显著减小,在全壤土基质下则显著增大,表明降香黄檀叶片上、下表皮厚度和叶面积的表型可塑性强,并在适应不同生长环境过程中起着主导作用。而降香黄檀叶片上表皮较为光滑、无气孔,下表皮密被表皮毛且分布大量气孔,表皮毛和气孔的密度、大小对下表皮厚度是否有影响还有待进一步研究。

综合来看,在旱季中全石砾生长基质下叶片表型可塑性最大,说明降香黄檀叶片在干旱环境中适应能力强,并能较好地适应高温、干旱且贫瘠的石漠化环境,此结果与钟悦鸣等<sup>[43]</sup>对胡杨(*Populus euphratica*)的研究结果一致。不同月份、不同生长基质下叶面积的 PI 最高,说明降香黄檀叶片的叶面积在应对生长季节旱湿度和生长基质的变化时最敏感,在适应不同生长环境和不同生长季节时叶面积起着重要作用,可作为降香黄檀生长环境适应性评价的重要指标。

### 4 结论

综上所述,降香黄檀叶片形态解剖结构在两种生长基质下表现出明显的趋异现象。其形态解剖结构表型可塑性在雨旱两季的差异性不同;其中,在旱季,全石砾生长基质下的降香黄檀叶片形态解剖参数可塑性显著高于在全壤土基质生长的降香黄檀叶片形态解剖参数可塑性。在本研究各项指标中,叶面积对生长基质和季节旱湿度变化的可塑性指数最大,可作为降香黄檀生长环境适应性评价的重要指标。

## 参考文献

- [1] 朱润军, 杨巧, 李仕杰, 等. 植物表型可塑性对环境因子的响应研究进展[J]. 西南林业大学学报, 2021, 41(1): 183-187.
- [2] 孙嘉伟, 罗丽莹, 李淑英, 等. 闽楠叶片功能性状及表型可塑性对其与杉木混交响应[J]. 生态学报, 2021, 41(7): 2855-2866.
- [3] 王玉萍, 高会会, 张峰, 等. 珠芽蓼叶片对海拔变化的表型可塑性[J/OL]. 应用生态学报. (2021-03-05) [2021-05-08]. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202106.001>.
- [4] 王姝, 周道玮. 植物表型可塑性研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8161-8169.
- [5] 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.
- [6] 庞世龙, 欧芷阳, 申文辉, 等. 桂西南喀斯特地区主要木本经济植物叶功能性状变异及其适应策略[J/OL]. 广西植物. (2020-07-01) [2021-05-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20200701.0729.004.html>.
- [7] 严令斌. 土壤微生物群落与植物功能性状对喀斯特小生境水热的响应机制[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
- [8] 闵小莹, 熊康宁, 申小云, 等. 喀斯特石漠化地区植物对干旱胁迫的适应性研究进展[J]. 世界林业研究, 2020, 33(3): 7-12.
- [9] 张雪妮, 李岩, 杨晓东, 等. 荒漠植物叶片化学性状及其经济谱对水盐变化的响应[J]. 生态学杂志, 2018, 37(5): 1299-1306.
- [10] 喻阳华, 钟欣平, 程雯, 等. 黔西北地区优势树种叶片功能性状与经济谱分析[J]. 森林与环境学报, 2018, 38(2): 196-201.
- [11] 欧芷阳, 曹艳云, 谭长强, 等. 干旱胁迫对喀斯特生境蚬木幼苗光合特性及抗性生理的影响[J]. 生态学杂志, 2018, 37(11): 3270-3276.
- [12] 吴俊文, 刘珊, 李吉跃, 等. 干旱胁迫下广东石漠化地区造林树种光合和耗水特性[J]. 生态学报, 2016, 36(11): 3429-3440.
- [13] 谭代军, 熊康宁, 张俞, 等. 喀斯特石漠化地区不同退化程度花椒光合日动态及其与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2019, 38(7): 2057-2064.
- [14] 杭红涛, 吴沿友, 张开艳, 等. 模拟喀斯特不同土壤生境胁迫对刺槐幼苗光合特性及干物质分配的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(9): 2648-2654.
- [15] 邢德科, 吴沿友, 吴沿胜, 等. 麻疯树和枫杨幼苗对5种模拟喀斯特逆境的光合生理响应[J]. 中国岩溶, 2016, 35(6): 649-656.
- [16] 庞世龙, 欧芷阳, 申文辉, 等. 干旱胁迫对蚬木幼苗表型可塑性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(5): 21-25.
- [17] 欧芷阳, 庞世龙, 蒙芳, 等. 模拟喀斯特生境土壤干旱胁迫对蚬木苗木的影响[J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(12): 16-21.
- [18] 滕尧, 李安定, 郝自远, 等. 西番莲解剖结构特征及低温胁迫下叶片结构与抗寒性的关系[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(11): 1849-1858.
- [19] 韦小丽. 喀斯特地区3个榆科树种整体抗旱性研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.
- [20] 黄丽华. 贵州喀斯特适生经济植物黄褐毛忍冬生物学特性研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2005.
- [21] 张仕豪, 熊康宁, 张俞, 等. 典型石漠化生态系统演替过程优势植物种叶片功能性状特征及影响因素[J]. 生态环境学报, 2019, 28(11): 2165-2175.
- [22] 李湘阳, 曾炳山, 徐大平, 等. 不同基质对降香黄檀组培苗移植成活率及生长的影响[J]. 种子, 2019, 38(8): 16-20.
- [23] 杨昌儒. 降香黄檀荚果和种子生长发育动态的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2018.
- [24] 孙洁, 刘俊, 郁培义, 等. 不同基质配方对降香黄檀幼苗生长生理的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(7): 45-49.
- [25] 广西壮族自治区气象局, 广西壮族自治区气候中心. 广西2018年气候公报[EB/OL]. (2019-03-13) [2021-05-08]. [http://gx.cma.gov.cn/qxfw/qxgb/201903/t20190313\\_182876.html](http://gx.cma.gov.cn/qxfw/qxgb/201903/t20190313_182876.html).
- [26] 李娟霞, 田青, 李娇珍, 等. 兰州市不同空气环境下9种园林植物叶片解剖结构特征[J]. 生态环境学报, 2020, 29(11): 2189-2198.
- [27] VALLADARES F, LASSO E, WRIGHT S J, et al. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest [J]. Ecology, 2000, 81(7): 1925-1936.
- [28] 李芳兰, 包维楷. 植物叶片形态解剖结构对环境变化的响应与适应[J]. 植物学通报, 2005, 22(增刊): 118-127.
- [29] 张进友. 优良的草坪地被植物沿阶草[J]. 草业科学, 2003, 20(2): 69-70.
- [30] 胡营, 楚海家, 李建强, 等. 4个花苜蓿居群叶片解剖结构特征及其可塑性对不同水分处理的响应[J]. 植物科学学报, 2011, 29(2): 218-225.
- [31] 徐高峰, 申时才, 张付斗, 等. 异质环境下入侵植物薇甘菊的适应性及繁殖特性[J]. 生态环境学报, 2014, 23(8): 1258-1264.
- [32] 李晓玲, 温浩然, 王雪松, 等. 三峡库区不同生境下中华

- 蚊母树叶片表型可塑性及其与土壤环境因子的关系[J]. 生态学报, 2018, 38(10): 3581-3591.
- [33] KIHACHIRO K, DAVID A. Significance of leaf longevity in plants [J]. *Plant Species Biology*, 2002, 14(1): 39-45.
- [34] 李红, 喻阳华, 龙健, 等. 顶坛花椒叶片功能性状对早衰的响应[J/OL]. 生态学杂志. (2021-03-08) [2021-05-08]. <https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.202106.028>.
- [35] MUNIER-JOLAIN N M, COLLARD A, BUSSET H, et al. Investigating and modelling the morphological plasticity of weeds [J]. *Field Crops Research*, 2014, 155: 90-98.
- [36] 白潇, 李毅, 苏世平, 等. 不同居群唐古特白刺叶片解剖特征对生境的响应研究[J]. 西北植物学报, 2013, 33(10): 1986-1993.
- [37] 李芳兰, 包维楷, 刘俊华, 等. 岷江上游干旱河谷海拔梯度上白刺花叶片生态解剖特征研究[J]. 应用生态学报, 2006, 17(1): 5-10.
- [38] BOUGHALLEB F, ABDELLAOUI R, BEN-BRAHIM N, et al. Anatomical adaptations of *Astragalus gombiformis* Pomel. under drought stress [J]. *Central European Journal of Biology*, 2014, 9(12): 1215-1225.
- [39] 吴正花, 喻理飞, 严令斌, 等. 三叶木通叶片解剖结构和光合特征对干旱胁迫的响应[J]. 南方农业学报, 2018, 49(6): 1156-1163.
- [40] 潘学军, 张文娥, 杨秀永, 等. 喀斯特山区野生葡萄实生苗叶片解剖结构与抗旱性的关系[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(9): 176-178.
- [41] 杨克彤, 陈国鹏, 李广, 等. 兰州市区主要阔叶绿化树种叶表型可塑性特征[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(1): 126-131, 155.
- [42] 全国明, 谢俊芳, 章家恩, 等. 氮、磷养分对飞机草营养器官表型可塑性的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(10): 2625-2632.
- [43] 钟悦鸣, 董芳宇, 王文娟, 等. 不同生境胡杨叶片解剖特征及其适应可塑性[J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(10): 53-61.

## Comparison of Morphological and Anatomical Phenotypic Plasticity of *Dalbergia odorifera* Leaves under Two Growth Substrates

WEI Yaoni<sup>1</sup>, YANG Zhende<sup>1,2</sup>, WEN Li<sup>1</sup>, XI Yingzhuo<sup>1</sup>, QIN Guili<sup>1</sup>, YU Shuzhong<sup>1</sup>

(1. Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Forestry Ecology and Conservatuin, Nanning, Guangxi, 530004, China)

**Abstract:** To explore the effects of different growth substrates on the phenotypic plasticity of *Dalbergia odorifera* leaves and provide the basis for the cultivation of *D. odorifera* in rocky desertification areas, the seedlings of *D. odorifera* cultivated in the whole loam and whole gravel growth substrates were taken as the research object, the plasticity of morphological and anatomical parameters were studied by a paraffin section method. The results showed that the plasticity of leaf morphological and anatomical parameters of *D. odorifera* collected in the rainy season (June) had no significant difference among different growth substrates ( $P > 0.05$ ). In the dry season (November), there were significant differences in the plasticity of leaf morphological and anatomical parameters among different growth substrates ( $P < 0.05$ ). And the plasticity of leaf morphological and anatomical parameters of *D. odorifera* grown in the whole gravel substrate was significantly higher than those grown in the whole loam substrate. Among them, leaf area (LA) was the most sensitive to the changes of growth substrate and seasonal drought and humidity, which could be used as an important index for the evaluation of growth environment adaptability of *D. odorifera*.

**Key words:** *Dalbergia odorifera*, growth substrate, leaf, morphological anatomical, phenotypic plasticity

责任编辑: 陆雁