

俞筱桢, 杨光琴, 丁智强, 等. 出露石牙对珍稀濒危植物四药门花分布与叶表型性状的影响[J]. 中国岩溶, 2020, 39(3): 352-358.  
DOI: 10. 11932/karst20200304

# 出露石牙对珍稀濒危植物四药门花分布与叶表型性状的影响

俞筱桢<sup>1,2</sup>, 杨光琴<sup>1,2</sup>, 丁智强<sup>3</sup>, 余瑞<sup>4</sup>, 潘成臣<sup>5</sup>

(1. 黔南民族师范学院旅游与资源环境学院, 贵州 都匀 558000; 2. 贵州省黔南景区溶洞旅游资源开发与生态环境保护工程研究中心, 贵州 都匀 558000; 3. 云南师范大学旅游与地理科学学院, 昆明 650500; 4. 贵州省都匀市第三中学, 贵州 都匀 558000; 5. 中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000)

**摘要:**喀斯特区常见的出露石牙对水分和养分的再分配影响了植物物种的分布与适应特征。为了解出露石牙对中国特有珍稀濒危植物四药门花(*Loropetalum subcordatum*)的分布与叶表型性状的影响,用样带法对贵州茂兰国家自然保护区内四药门花个体根部和周边最近石牙与土表连接处的距离进行调查,并选择距石牙不同距离的乔木植株叶片进行表型特征测量。根据四药门花植株的分布特征,将其与石牙距离分为三组(0 cm、0.1~10 cm、 $\geq 10$  cm)进行分析。结果表明:①本次共调查到四药门花个体515株,其中胸径 $\geq 1$  cm的388株(75.3%)。胸径最大值为17.5 cm,该植株距石牙7 cm。胸径 $\geq 1$  cm植株距石牙0 cm、0.1~10 cm、 $\geq 10$  cm植株数分别为89株平均胸径 $3.44 \pm 2.26$  cm, 21株平均胸径 $4.38 \pm 4.55$  cm和278株平均胸径 $3.93 \pm 2.75$  cm;幼苗和幼树距石牙0 cm有19株、0.1~10 cm有62株、 $\geq 10$  cm有46株。②茂兰四药门花种群叶长 $106.60 \pm 19.28$  mm、叶宽 $47.53 \pm 10.10$  mm、叶宽/长 $0.45 \pm 0.08$ 、叶厚 $0.32 \pm 0.05$  mm、叶柄长 $12.82 \pm 3.35$  mm、叶柄径 $1.43 \pm 0.35$  mm。距石牙0 cm组、0.1~10 cm组和 $\geq 10$  cm组四药门花的叶长、叶宽、叶柄径差异不显著( $P > 0.05$ ),叶厚、叶宽/叶长、叶柄长差异极显著( $P < 0.01$ )。石牙出露深刻影响了四药门花的分布和植物的适应特征。

**关键词:**叶表型性状;空间分布;异质性;岩溶;石牙;四药门花;珍稀濒危植物

中图分类号:Q948 文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2020)03-0352-07 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## 0 引言

植物的表型性状是物种的基因表达与所处环境交互作用的结果,能较直观的预测种群的遗传结果和适应进化水平<sup>[1]</sup>。植物的叶片是植物与环境接触面积最大、反应最敏感的器官之一。它不仅是反映植物对生境的适应和响应进而解释环境筛对物种的过滤与物种的分布格局<sup>[2]</sup>的指标,也是最直观、易测量、可操作的性状<sup>[3]</sup>,已广泛应用于珍稀濒危植物分

类与保护<sup>[4-5]</sup>、恢复物种筛选<sup>[6]</sup>、外来种入侵机制<sup>[7-8]</sup>等多方面。

土壤是植物正常生长的基础,而喀斯特地区大量的出露石牙(stone teeth)对表土的围割或反围割,通过漏斗效应(the funneling effect)<sup>[9]</sup>改变了石牙周围土壤的水分<sup>[10-11]</sup>、养分<sup>[12]</sup>的分布,不但影响树种分布<sup>[13-15]</sup>,也引起植物叶表型的变异<sup>[16-18]</sup>。目前已有一定的喀斯特区植物叶表型研究的成果,发现不同物种对喀斯特生境的适应性有很大差异,如克隆植物

基金项目:贵州省科技厅学术新苗计划(黔科合平台人才[2019]QNSYXM-08);贵州省教育厅工程中心项目黔教合KY字[2017]025

第一作者简介:俞筱桢(1980-),男,博士研究生,教授,研究方向为喀斯特植被与生态恢复。E-mail:ynxy800305@163.com。

收稿日期:2019-11-05

地果 (*Ficus tikoua*)<sup>[19]</sup> 和淡竹 (*Phyllostachys glauca*)<sup>[20]</sup>, 草本植物蝴蝶花 (*Iris japonica*)<sup>[21]</sup>、手参 (*Gymnadenia conopsea*)<sup>[22]</sup> 和甜瓜 (*Cucumis melo*)<sup>[23]</sup>, 木本植物木豆 (*Cajanus cajan*)<sup>[24]</sup> 等。探讨喀斯特生态系统中出露石牙对珍稀濒危木本植物的分布与叶表型特征的影响, 不仅能加深对植物种群分布与该种在自然环境中生态作用的认识, 还能成为石漠化治理等植被恢复中物种选择的科学依据。

四药门花 (*Loropetalum subcordatum*) 隶属于金缕梅科 (Hamamelidaceae) 榿木属 (*Loropetalum*), 是我国特有珍稀濒危植物, 该物种分布区域狭窄, 首次发现于香港<sup>[25]</sup>。该物种的花型、果型均具有一定的观赏性, 是较理想的园林绿化乡土物种<sup>[26]</sup>。贵州茂兰国家级自然保护区四药门花种群分布于典型的喀斯特地貌区, 其遗传多样性是目前发现的6个种群中最高的<sup>[27]</sup>, 该区域是研究四药门花的良好试验场; 同时, 由于该区域的植被历史上也受到较大破坏, 但出露石牙影响了部分生境的干扰可达性<sup>[28]</sup>使其残体得以保存, 但对这些残体与出露石牙的相关关系研究较少。本文以贵州茂兰喀斯特森林中的四药门花为例, 具体分析如下问题: ① 出露石牙对四药门花种群分布的影响; ② 出露石牙对四药门花叶表型性状的影响, 以揭示该物种对不同环境的适应性, 从而为该物种的保育与恢复、园林推广提供决策支持。

## 1 研究区概况

茂兰国家级自然保护区位于贵州省荔波县境内, 与广西壮族自治区环江县接壤, 毗邻木论国家级自然保护区, 地理位置为 107°52′10″~108°45′40″E, 25°09′20″~25°20′50″N, 保护区内地势高低起伏大, 山势险峻, 保护区最高海拔 1 078 m, 最低海拔 430 m, 相对高差 648 m<sup>[29]</sup>。保护区为典型的喀斯特峰丛洼地地貌; 地处中亚热带季风湿润气候区, 年平均气温 15.3 ℃, 1 月份平均气温 5.2 ℃, 7 月份平均气温 23.5 ℃, 年日照时数 1 272.8 h, 降水充沛 (多年降水量 1 750 mm); 土壤以石灰土为主, 土被不连续; 植被以典型的喀斯特常绿落叶阔叶混交林为主。

调查的四药门花群落可分为三层, 其中乔木层最大高度 8 m, 郁闭度 0.8。乔木层主要种类有香叶树 (*Lindera communis*)、九里香 (*Murraya exotica*) 和四药门花等。灌木层高度为 1.3~2.2 m, 盖度 30%, 主要种类有针齿铁仔 (*Myrsine semiserrata*)、香叶树等。草本层高度约 20 cm, 盖度 50%, 主要种类有中华薹草 (*Carex chinensis*)、深绿卷柏 (*Selaginella doederleinii*) 等。石牙在不同样带的分布具有较大差异 (表 1), 我们可以看出, 随着样带海拔升高, 出露石牙的个体数增加。

表 1 贵州茂兰四药门花群落样地出露石牙特征

Table 1 Exposed stone teeth characteristics of *Loropetalum subcordatum* communities in Maolan, Guizhou

样地	地点	经纬度	海拔/ m	石牙 数/个	平均面积/m <sup>2</sup>	平均高度/m	平均长度/m	平均宽度/m
S1	茂兰尧古	25°20′04″ N, 107°56′09″ E	815	52	2.47±6.72	0.79±0.67	2.05±2.22	0.78±0.98
S2	茂兰尧古	25°20′07″ N, 107°56′16″ E	818	18	11.64±24.54	1.60±2.18	2.81±3.47	2.11±3.28
S3	茂兰董歹	25°19′39″ N, 107°56′12″ E	872	53	2.16±6.90	0.68±0.61	1.44±1.44	0.81±0.75
S4	茂兰董歹	25°17′55″ N, 107°56′12″ E	885	38	6.73±25.83	0.96±0.56	4.14±11.61	1.02±0.90
S5	茂兰董歹	25°18′44″ N, 107°55′54″ E	844	38	3.81±9.72	0.63±0.56	2.09±2.85	0.86±0.90

## 2 研究方法

### 2.1 数据调查方法

#### 2.1.1 四药门花植株分布调查

在踏查中发现, 茂兰保护区内的四药门花主要分布在永康片区山体中部的狭长地带, 因此选择样带法进行调查。选择了5个具有代表性的四药门花分布地, 分别设置 40 m×10 m 的样带 (调查面积共

2 000 m<sup>2</sup>), 将每个样带分为4个 10 m×10 m 的样方, 调查样方中四药门花的所有植株根部和周边最近出露石牙与土表连接处的距离。为保证测量距离的准确性, 由三人经过预估并用 5 m 钢卷尺测量验证后, 由预估与测量误差最小的人员完成全部石牙与植株的距离的测量。记录中将四药门花分为三个等级, 高度 (H) < 1.3 m 为幼苗, 高度 ≥ 1.3 m, 胸径 (DBH) < 1 cm 的为幼树, DBH ≥ 1.0 cm 的为乔木。

### 2.1.2 四药门花叶片表型性状测量

石牙北方向15 cm处最适合植物栽培<sup>[10]</sup>,可以推断从石牙基部开始向外,土壤的水分、养分呈现先增后减的趋势,为了探索叶表型对这一趋势适应,按植株与石牙距离分为3组(0 cm、0.1~10 cm、≥10 cm)以便于分析,以后可以补充更多数据以消除石牙方位、石牙所处环境等的影响。

在0 cm、0.1~10 cm和≥10 cm各不少于10株四药门花植株为对象,采集树冠外层的东南西北四个方向全光照条件下完全展开、无病虫害且未遮阴的叶片,保证每株采集10片鲜叶<sup>[30]</sup>。

由于实验条件所限,选取易于直接测定的叶表型参数5个,分别为叶片长度(叶尖末端到叶柄末端的距离)、叶片宽度(叶基、叶中、叶尖三部分的平均值)、叶厚度(避开叶脉的叶基、叶中、叶尖三部分的平均值)、叶柄长、叶柄径。将采集的鲜叶擦除表面

灰尘后,使用数显游标卡尺(精度0.02 mm)进行测量。

### 2.2 数据分析

将测定的数据在Microsoft Excel 2013中进行整理,统计距石牙不同距离的植株数、计算各性状的平均值与标准偏差并用变异系数(CV)表示各叶片特征的变异程度;选用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较距离石牙不同组的叶片表型变异。统计分析在SPSS22.0中完成。

## 3 结果与分析

### 3.1 出露石牙对四药门花分布的影响

共调查到四药门花515株,其中DBH≥1 cm的388株占总植株数的75.3%。四药门花在距石牙不同距离的分布特征见表2。

表2 贵州茂兰自然保护区四药门花分布与石牙距离关系

Table 2 Relationship between the distribution of stone teeth and *Loropetalum subcordatum* in Maolan National Nature Reserve, Guizhou

个体特征	距离石牙/cm			
	0	0.1~10	≥10	
DBH≥1 cm	89	21	278	
DBH<1 cm、H≥1.3 m	9	24	18	
H<1.3 m	10	38	28	
DBH≥1 cm的植株胸径特征	最大值	10.4	17.5	12.9
	最小值	1	1.1	1
	平均胸径	3.44	4.38	3.93
变异系数/%	65.70	99.09	69.97	

四药门花植株分布与石牙的距离有较强相关性(表1),说明出露石牙对植物的萌生与幼树建成有较大的影响。乔木(DBH≥1 cm)的个体主要分布距石牙≥10 cm组,占乔木个体数的71.65%,其次为距石牙0 cm组(22.94%);幼树(DBH<1 cm、H≥1.3 m)、幼苗(H<1.3 m)则分布在距石牙0.1~10 cm组(47.06%和50.00%),其次为距石牙≥10 cm组(35.29%和36.84)。从幼苗幼树与乔木的分布来看,距石牙≥10 cm组和0 cm组较适宜该物种乔木的建成。

四药门花的生长也受到出露石牙的影响(表1)。整体而言,四药门花的平均胸径以距石牙0.1~10 cm组最大,距石牙≥10 cm次之;四药门花在距石牙不同距离组之间的变异系数均较大,反映了该物种胸径分布在距石牙不同距离具有较大的不确定性。就个体而言,本次调查的胸径最大值出现在距石牙0.1~

10 cm组,为17.5 cm,分别比距石牙0 cm组和≥10 cm的最大值胸径大7.1 cm、4.6 cm。

### 3.2 出露石牙对四药门花叶性状的影响

#### 3.2.1 距石牙不同距离的四药门花叶表型性状特征

茂兰四药门花种群叶长为106.60±19.28 mm,变异系数为18.09%;叶宽为47.53±10.10 mm,变异系数为21.24%;叶宽/叶长为0.45±0.08,变异系数为17.78%;叶厚为0.32±0.05 mm,变异系数为15.63%;叶柄长12.82±3.35 mm,变异系数为26.13%;叶柄径为1.43±0.35 mm,变异系数24.48%。

四药门花叶表型性状各指标的变异系数随距石牙距离不同而变化(图1)。叶长、叶柄径的变异系数为最大的为距石牙0 cm组,其次为距石牙≥10 cm组;

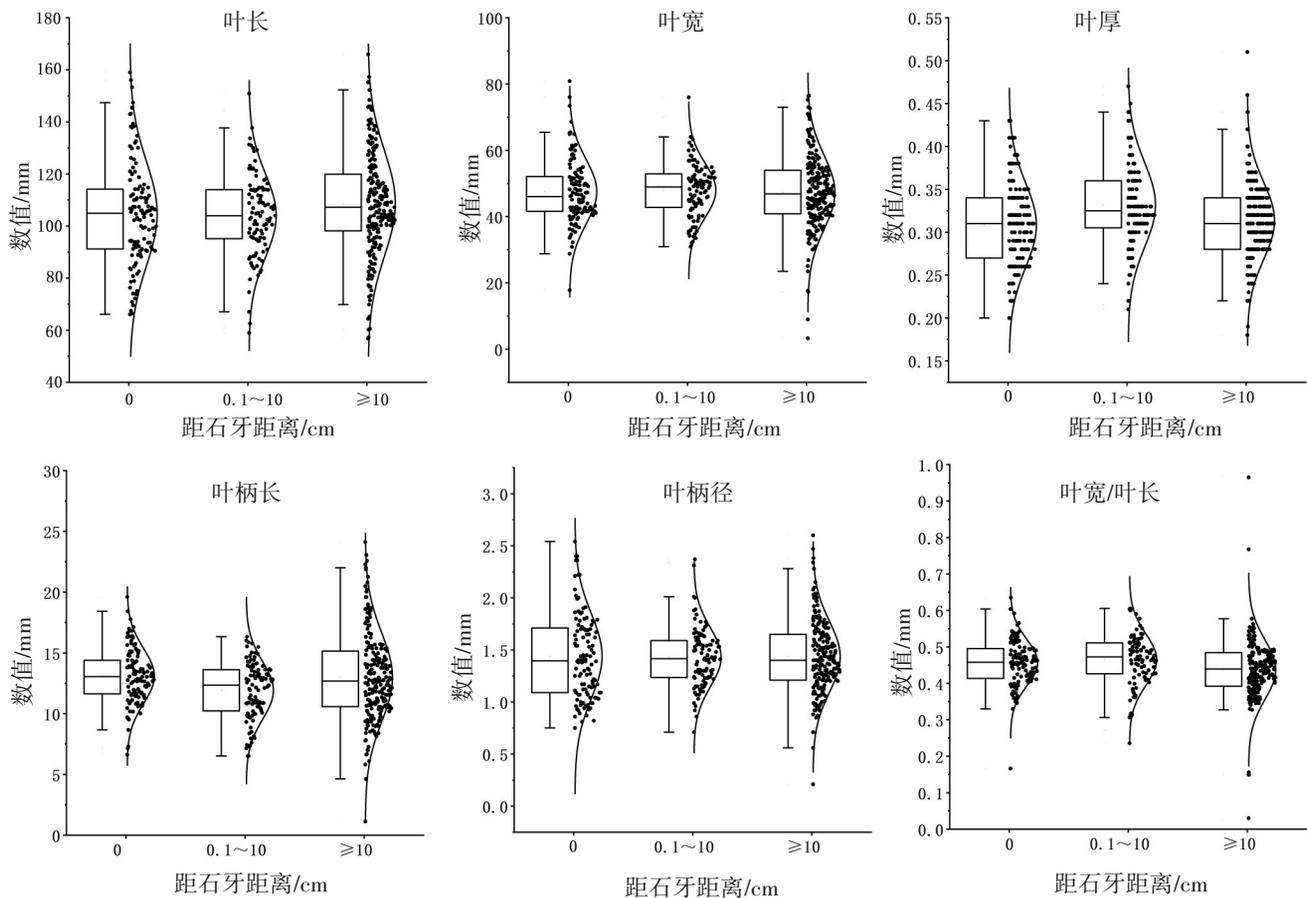


图1 贵州茂兰自然保护区四药门花叶表型性状与石牙距离关系

Fig. 1 Relationship between the leaf phenotypic characteristics of *Loropetalum subcordatum* and distance from stone teeth in Maolan National Nature Reserve, Guizhou

叶宽的变异系数为距石牙 $\geq 10$ 组最大,其次为距石牙 0 cm 组;叶宽/叶长、叶柄长的变异系数为距石牙 $\geq 10$ 组最大,其次为距石牙 0.1~10 cm 组;叶厚的变异系数为距石牙 0 cm 组最大,其次为距石牙 0.1~10 cm 组。整体而言,叶宽/叶长、叶柄长的变异系数与距石牙的远近成正相关;叶厚的变异系数则与石牙的距离成负相关;叶长、叶宽、叶柄径的变异系数无明显变化规律。

四药门花叶片表型性状的特征值也与距石牙距离密切相关(图1)。叶长平均值在距石牙 $\geq 10$  cm 组最大,叶宽、叶长/叶宽、叶厚平均值在距石牙 0.1~10 cm 组最大,叶柄长、叶柄径平均值在距石牙 0 cm 组最大。

### 3.2.2 距石牙不同距离的四药门花叶表型性状差异性

对四药门花叶表型性状距石牙 0 cm 组、0.1~10 cm 和 $\geq 10$  cm 的进行 ANOVA 检验,其叶长( $P=$

0.065 $>0.05$ )、叶宽( $P=0.896>0.05$ )、叶柄径( $P=0.972>0.05$ )差异不显著,而叶厚( $P=0.001<0.01$ )、叶宽/叶长( $P=0.004<0.01$ )、叶柄长( $P=0.008<0.01$ )差异极显著。从而反映了与石牙距离不同,对叶宽/叶长、叶厚、叶柄长等具有显著影响,而对叶长、叶宽、叶柄径等影响较小。

## 4 结论与讨论

### 4.1 出露石牙对四药门花分布的影响

物种分布是地形、土壤、光照、人为干扰等多因素综合作用的结果<sup>[31]</sup>。在喀斯特区,中等尺度的峰丛、峰林、孤峰等的陡峭山峰从山麓到山顶的明显水热差异,形成了植物组成与分布的垂直带性<sup>[32-33]</sup>;而在更小尺度上,因出露石牙围割而改变的小气候、光照、土壤和人为干扰程度而形成的多样性小生境<sup>[10,34-35]</sup>成为物种的萌发、幼树建成的基础。植物为了充分利用不同小生境的水分,往往通过根系攀岩、

表3 贵州茂兰国家自然保护区四药门花叶表型性状与石牙距离关系的方差分析

Table 3 Variance analysis of the distance to stone teeth and the leaf phenotypic in Maolan National Nature Reserve, Guizhou

叶表型参数	df值	F值	P值
叶长	2	2.754	0.065
叶宽	2	0.110	0.896
叶厚	2	7.706	0.001**
叶柄长	2	4.850	0.008**
叶柄径	2	0.029	0.972
叶宽/叶长	2	5.556	0.004**

穿梭于岩石中<sup>[36-37]</sup>,这些根系受到干扰(尤其是挖根)时难以取出<sup>[38]</sup>而以残根或残桩存在,一旦干扰退出,这些残根或残桩即可萌发新的植物个体并借助原残体积积累的养分迅速建成。在贵州茂兰四药门花群落中,DBH $\geq$ 1 cm的四药门花在距石牙0.1~10 cm组虽然个体数不多,但其胸径的平均值最大,尤其是胸径最大值远超其余两组(表2),这说明其无性繁殖体能迅速占领干扰后的空白生态位而具有较高的生长速率,暗示着出露石牙能将部分地段围割为干扰中的“孤岛”,从而为物种幸存提供庇护所<sup>[39]</sup>。距石牙 $\geq$ 10 cm组,四药门花的个体数、胸径平均值和最大值均大于距石牙0 cm组,反映了距离石牙较远( $\geq$ 10 cm)的地段,具有较良好的土肥条件<sup>[10]</sup>,但其种源为四药门花的无性繁殖体或少量“庇护所”保留下来的个体成熟后的种子萌发,因此其幼苗与幼树建成较晚;而出露石牙之上(距离石牙0 cm)则因生境严酷和建成较晚共同影响。

#### 4.2 出露石牙对四药门花叶表型特征的影响

植物表型变异程度与其对不同生境的适应程度正相关<sup>[40]</sup>。叶表型是最直观、最易测量的表型<sup>[3]</sup>,贵州茂兰四药门花叶表型性状分析发现其表型特征值较大而可塑性较小(CV均小于30%),反映了该区域现状生境扰动较少。四药门花的叶柄长的可塑性最高(CV=26.13%),反映了区域水分条件变异较大,是物种对喀斯特生境临时性干旱频发的生境相适应,也与前人<sup>[41]</sup>对缘毛太行花的研究结果相似。

出露石牙能实现对群落内土壤水肥的二次分配<sup>[10-12]</sup>,在距石牙不同距离上形成了不同的生境,从而影响四药门花的表型可塑性。叶长、叶宽、叶柄径的可塑性均表现为距石牙0 cm和距石牙 $\geq$ 10 cm大于距石牙0.1~10 cm组,表明距石牙0.1~10 cm的生境的光照条件相对稳定;叶宽/叶长、叶柄长的可塑性随

着距石牙的远近而成正相关;叶厚的可塑性则与石牙的距离成负相关,表明距石牙越远,其水分的多变性越小<sup>[10]</sup>。

#### 4.3 值得进一步研究的问题

本研究以茂兰喀斯特森林的珍稀濒危植物四药门花为例,初步研究了出露石牙对其分布和叶表型性状的影响。

出露石牙对四药门花分布的影响中发现,如果群落为次生林,则物种的胸径最大值与平均胸径经常出现在距离石牙0.1~10 cm的范围内,说明出露石牙可能存在对水肥、干扰二次分配的现象。因此,需要对距石牙不同距离的土壤理化性质、干扰类型与强度进行监测与模拟,以研究出露石牙对水肥、干扰的影响特征与机制;同时,增加物种尤其整个群落物种分布与出露石牙的关系研究,以揭示出露石牙对物种分布格局、幼苗/幼树建成等的影响。

出露石牙对四药门花的叶表型性状的影响中发现,出露石牙能显著影响四药门花的叶宽/叶长、叶厚、叶柄长等叶表型参数,而这些参数尤其是叶厚能典型反应水分条件的变化频率<sup>[10]</sup>,从而暗示出露石牙对水肥具有二次分配的作用。但由于条件限制,本次调查选定的叶表型指标较少,后续研究中将考虑增加指标如比叶面积、小枝生长、根系特征等指标,并联系土壤的理化性质,以得出更全面、系统的结论,从而为退化喀斯特森林恢复的策略、森林管理提供支持。

#### 参考文献

- [1] 张翠琴,姬志峰,林丽丽,等.五角枫种群表型多样性[J].生态学报,2015,35(16):5343-5352.
- [2] Wright I J, Ackerly D D, Bongers F, et al. Relationships among ecologically important dimensions of plant trait varia-

- tion in seven neotropical forests[J]. *Annals of Botany*, 2007, 99(5):1003-1015.
- [ 3 ] 朱弘, 朱淑霞, 李涌福, 等. 尾叶樱桃天然种群叶表型性状变异研究[J]. *植物生态学报*, 2018, 42(12):1168-1178.
- [ 4 ] 乔琦, 邢福武, 陈红锋, 等. 中国特有濒危植物伯乐树叶的结构特征[J]. *武汉植物学研究*, 2010, 28(2):229-233.
- [ 5 ] 张腾驹, 陈小红, 康喜坤, 等. 四川省珙桐天然种群叶表型多样性[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(1):35-43.
- [ 6 ] 杨锐, 张博睿, 王玲玲, 等. 元谋干热河谷植物功能性状组合的海拔梯度响应[J]. *生态环境学报*, 2015, 24(1):49-56.
- [ 7 ] 汪洋, 田玉娥, 甘小燕, 等. 湖北红椿天然居群表型变异地理趋势面研究[J]. *森林与环境学报*, 2018, 38(3):309-317.
- [ 8 ] Wang M Z, Bu X Q, Li L, et al. Constraints on the evolution of phenotypic plasticity in the clonal plant *hydrocotyle vulgaris* [J]. *Journal of Evolutionary Biology*, 2018, 31(7):1006-1017.
- [ 9 ] Göransson H, Edwards P J, Perreijn K, et al. Rocks create nitrogen hotspots and N : P heterogeneity by funnelling rain [J]. *Biogeochemistry*, 2014, 121(2):329-338.
- [10] Li S, Ren H D, Xue L, et al. Influence of bare rocks on surrounding soil moisture in the karst rocky desertification regions under drought conditions [J]. *Catena*, 2014, 116(3):157-162.
- [11] Sheng L, Birk S, Liang X, et al. Seasonal changes in the soil moisture distribution around bare rock outcrops within a karst rocky desertification area (fuyuan county, yunnan province, China) [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75 (23) : 1-10.
- [12] Wang D, Shen Y, Li Y, et al. Rock outcrops redistribute organic carbon and nutrients to nearby soil patches in three karst ecosystems in SW China [J]. *Plos One*, 2016, 11 (8) : e0160773.
- [13] 张忠华. 桂林岩溶石山阴香种群生态学研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2007.
- [14] 张忠华, 胡刚, 祝介东, 等. 喀斯特森林土壤养分的空间异质性及其对树种分布的影响[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(10): 1038-1049.
- [15] 欧祖兰, 王占军, 陈延松, 等. 鹞落坪半夏生境地主要草本种群生态位特征[J]. *华南农业大学学报*, 2016, 37(4):82-89.
- [16] 耿宇鹏, 张文驹, 李博, 等. 表型可塑性与外来植物的入侵能力[J]. *生物多样性*, 2004(4):447-455.
- [17] 谢春平, 方彦, 方炎明. 乌冈栎天然居群叶表型变异[J]. *四川农业大学学报*, 2011, 29(2):191-198.
- [18] 杨贺雨, 卫海燕, 桑满杰, 等. 华中五味子叶表型可塑性及环境因子对叶表型的影响[J]. *植物学报*, 2016, 51(3):322-334.
- [19] Liu C C, Liu Y G, Guo K, et al. Exploitation of patchy soil water resources by the clonal vine *Ficus tikoua* in karst habitats in southwestern China[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2011, 33(1):93-102.
- [20] 梁宽, 樊燕, 卜文圣, 等. 石灰岩山地优势种淡竹的表型可塑性研究[J]. *江西农业大学学报*, 2017, 39(6):1178-1186.
- [21] 何跃军, 韩文萍, 钟章成. 亚热带常绿阔叶林不同土壤和林冠环境下蝴蝶花的克隆可塑性[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(2):337-342.
- [22] Valuiskikh O E, Teteryuk L V. Phenotypic variation of *Gymnadenia conopsea* (L.) R. Br. (Orchidaceae) in marginal populations on limestones in the northeast of European Russia [J]. *Russian Journal of Ecology*, 2014, 45(1):24-32.
- [23] Yuanita Rachmawati, Budi Setiadi Daryono, Ganies Riza Ariestya. Phenotypical characters of melon (*Cucumis melo* L.) in response to karst critical land. *Biotropic*, 2018, 2(1):1-11.
- [24] 金静, 钟章成, 刘锦春, 等. 石灰岩地区土壤水分对木豆表型可塑性的影响[J]. *西南农业大学学报(自然科学版)*, 2005(1):89-92.
- [25] 邢福武, Richard. 香港的植物区系[J]. *热带亚热带植物学报*, 1999, 4(4):295-307.
- [26] 俞筱桢, 熊俊彩, 余瑞, 等. 贵州茂兰珍稀濒危植物四药门花种群特征[J]. *广西植物*, 2018, 38(7):836-842.
- [27] 李柏君. 基于SRAP分子标记的四药门花种群遗传多样性分析[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [28] 俞筱桢. 喀斯特森林木本植物无性繁殖体残存机制: I. 概念与理论框架[J]. *黔南民族师范学院学报*, 2012, 32(6):108-112.
- [29] 周政贤. 茂兰喀斯特森林科学考察集[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1987.
- [30] PérezHarguindeguy N, Diaz S, Garnier E, et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide [J]. *Australian Journal of Botany*, 2013, 61(3):167-234.
- [31] 王伟, 骆争荣, 周荣飞, 等. 百山祖常绿阔叶林木本植物的生境相关性分析[J]. *生物多样性*, 2011, 19(2):134-142.
- [32] 周运超, 潘根兴. 茂兰森林生态系统对岩溶环境的适应与调节[J]. *中国岩溶*, 2001, 20(1):47-52.
- [33] Zhang Z H, Hu G, Zhu J D, et al. Spatial patterns and interspecific associations of dominant tree species in two old-growth karst forests, SW China [J]. *Ecological Research*, 2010, 25(6):1151-1160.
- [34] 朱守谦, 何纪星, 魏鲁明, 等. 茂兰喀斯特森林小生境特征研究[A]//朱守谦 主编. 喀斯特森林生态研究 III [C]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2003:38-48.
- [35] 俞国松, 王世杰, 容丽. 茂兰喀斯特森林演替阶段不同小生境的小气候特征[J]. *地球与环境*, 2011, 39(4):469-477.
- [36] 李阳兵, 王世杰, 熊康宁. 浅议西南岩溶山地的水文生态效应研究[J]. *中国岩溶*, 2003, 22(1):24-27.
- [37] 邓晓琪, 王世杰, 容丽. 喀斯特区专属植物水分来源研究[J]. *地球与环境*, 2012, 40(2):154-160.
- [38] 刘立斌, 钟巧连, 倪健. 基于生物量回归方程估算黔中喀斯特常绿落叶阔叶混交林木本植物的根系生物量[J]. *生态学报*, 2018, 38(24):8726-8732.
- [39] 俞筱桢, 李玉辉, 马遵平. 云南石林喀斯特小生境木本植物多样性特征[J]. *山地学报*, 2007(4):438-447.
- [40] Saenger P, West P W. Phenotypic variation of the mangrove

species *Avicennia marina* (Forssk.) Vierh. from seven provenances around Australia [J]. *Aquatic Botany*, 2018, 149: 28-32.

[41] 武德昌,王彦军,贺伟丽,等.冀南辖域缘毛太行花物候特征与资源分布[J].河北林业科技,2015(5):23-27,40.

## Effects of exposed stone teeth on the distribution and leaf phenotypic variation of the endangered plant *Loropetalum subcordatum* in Maolan National Nature Reserve

YU Xiaoya<sup>1,2</sup>, YANG Guangqin<sup>1,2</sup>, DING Zhiqiang<sup>3</sup>, YU Rui<sup>4</sup>, PAN Chengchen<sup>5</sup>

(1. School of Tourism and Resources Environment, Qiannan Normal University for Nationalities, Duyun, Guizhou 558000, China; 2. Engineering Research Center of Karst Cave Tourism Resource for Development and Protection in Scenic Area, Duyun, Guizhou 558000, China; 3. College of Tourism and Geography, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China; 4. No. 3 Middle School of Duyun, Duyun, Yunnan 558000, China; 5. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract** The heterogeneous habitat plays an important role in conservation and restoration of rare and endangered plants. In karst areas, the common exposed stone teeth can cause the differentiation of soil physical and chemical properties, thus affecting the distribution and adaptation characteristics of rare and endangered plant populations. To examine the distribution and adaptation characteristics of endangered plants in heterogeneous habitat, we investigated the leaf phenotypic variation and the distance between plant and stone teeth of *Loropetalum subcordatum* population by the transect method in the Maolan National Nature Reserve, Libo county, China. We divided the distance into three groups (0 cm, 0.1–10 cm, and above 10 cm) for analysis. The results show that, (1) among 515 individual of *Loropetalum subcordatum* investigated, 388 pieces (75.3%) have  $DBH \geq 1$  cm. The maximum DBH is 17.5 cm, and the distance between it and the stone teeth is 7 cm. In the 0 cm distance group, there are 89  $DBH \geq 1$  cm individuals with average  $3.44 \pm 2.26$  cm, and seedlings and saplings are present in 19 individuals. In the 0–10 cm distance group, 21 pieces have  $DBH \geq 1$  cm with average  $4.38 \pm 4.55$  cm, and seedlings and saplings are 62 individuals. In the above 10 cm distance group, there were 278  $DBH \geq 1$  cm individuals with average  $3.93 \pm 2.75$  cm, and seedlings and saplings are 46 individuals. (2) The length of *Loropetalum subcordatum* population's leaf is  $106.60 \pm 19.28$  mm, and the width is  $47.53 \pm 10.10$  mm, the ratio of width to length is  $0.45 \pm 0.08$ , the thickness is  $0.32 \pm 0.05$  mm, respectively. The petiole length of *Loropetalum subcordatum* population is  $12.82 \pm 3.35$  mm and diameter is  $1.43 \pm 0.35$  mm, respectively. There are no significant differences in the length, width, and petiole diameter of *Loropetalum subcordatum* leaf in the distance groups 0 cm, 0.1–10 cm and  $\geq 10$  cm, but the leaf thickness, petiole length and leaf width/length are significantly different ( $P < 0.01$ ). On the whole, the stone teeth has a profound influence on the distribution and leaf characteristics of *Loropetalum subcordatum*.

**Key words** leaf phenotypic, spatial distribution, heterogeneous habitat, karst

(编辑 张玲)