

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201612011

引文格式: 刘合霞, 李博, 胡兴华, 等. 三种苦苣苔对石灰土和红壤的适应性分析 [J]. 广西植物, 2017, 37(10):1261-1269

LIU HX, LI B, HU XH, et al. Adaptation of three species of gesneriaceae in limestone soil and red soil [J]. *Guihaia*, 2017, 37(10):1261-1269

## 三种苦苣苔对石灰土和红壤的适应性分析

刘合霞<sup>1</sup>, 李博<sup>2</sup>, 胡兴华<sup>1</sup>, 邓涛<sup>1</sup>, 黄仕训<sup>1\*</sup>, 邹伶俐<sup>1</sup>

(1. 广西壮族自治区广西植物研究所, 广西 桂林 541006; 2. 桂林师范高等专科学校, 广西 桂林 541001)

**摘要:**为探讨苦苣苔科植物对其岩溶生境的适应性,该研究选取黄花牛耳朵(*Primulina lutea*)、紫花报春苣苔(*Pri. purpurea*)和桂林蛛毛苣苔(*Paraboea guilinensis*)三种苦苣苔科植物,将其栽种在石灰土及红壤两种不同类型的土壤中,观测记录其生长性状并对其叶片元素含量进行测定和比较。植株采集过程中,同时采集自然生境中三种苦苣苔科植物叶片及取样植物基部土壤,并对叶片及土壤元素的含量进行测定,作为今后苗圃试验的参照。结果表明:三种苦苣苔科植物在两种土壤上的生长状况及适应性具有差异,其在石灰土上生长良好,在红壤上生长较差;在两种不同土壤中,除N外,桂林蛛毛苣苔的叶片其他元素(P、K、Mn、Mg、Ca、Zn、Cu)差异极显著( $P<0.01$ );除P外,紫花报春苣苔的叶片其他元素(N、K、Mn、Mg、Ca、Zn、Cu)差异极显著( $P<0.01$ );除N、Cu、Ca外,黄花牛耳朵的叶片元素(P、K、Mn、Mg、Zn)差异极显著( $P<0.01$ );三种植物的叶片元素比值,除少数值没有差异外,大部分指标差异都极显著;对叶片元素与栽培土壤元素的相关性分析,发现植物叶片Mn元素与土壤中N、Ca、Mg、Zn、Mn、有机质含量等呈正相关,土壤P元素与叶片中N、P元素呈正相关,而与叶片中Zn元素呈负相关关系。在其他栽培条件一致的情况下,土壤因素及物种差别是造成黄花牛耳朵、紫花报春苣苔和桂林蛛毛苣苔适应性产生差异的主要原因。

**关键词:** 黄花牛耳朵, 紫花报春苣苔, 桂林蛛毛苣苔, 叶片元素, 石灰土, 红壤

**中图分类号:** Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2017)10-1261-09

## Adaptation of three species of Gesneriaceae in limestone soil and red soil

LIU He-Xia<sup>1</sup>, LI Bo<sup>2</sup>, HU Xing-Hua<sup>1</sup>, DENG Tao<sup>1</sup>, HUANG Shi-Xun<sup>1\*</sup>, ZOU Ling-Li<sup>1</sup>

(1. *Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, Guangxi, China;* 2. *Guilin Normal College, Guilin 541001, Guangxi, China*)

**Abstract:** To explore the adaptation of plants of Gesneriaceae on high calcium and lava environment, *Primulina lutea*, *P. purpurea* and *Paraboea guilinensis*, three kinds of plants of Gesneriaceae were cultivated in limestone soil and red

收稿日期: 2017-03-26 修回日期: 2017-04-18

**基金项目:** 国家科技部科技基础资源调查专项 (2017FY100100); 广西植物研究所基本科研业务费项目 (桂植业 14003, 14008, 16015, 15013); 广西自然科学基金 (2013GXNFBA019078); 桂林师范高等专科学校 2017 年度桂北特色药资源研究中心科研项目 (KYA201705) [Supported by Fundamental Research Fund of Guangxi Institute of Botany (14003, 14008, 16015, 15013); Special Foundation of Science and Technology Resources Survey from Ministry of Science and Technology (2017FY100100); Guangxi Natural Science Foundation (2013GXNFBA019078); Program of Research Centre of Feature Medicine Resource North in Guangxi from Guilin Normal School (KYA201705)]。

**作者简介:** 刘合霞 (1984-), 女, 山东滕州人, 博士, 助理研究员, 植物迁地保护研究方向, (E-mail) liuhexia2010@163.com。

\***通信作者:** 黄仕训, 研究员, 硕士研究生导师, 植物迁地保护研究方向, (E-mail) 252540060@qq.com。

soil. Morphological characters of these plants were discussed, the chemical elemental contents of plant leaves were tested and compared in two soils. At the same time, the leaves and soil were collected in the sampling sites, and the leaf elements and soil elements were measured as a reference of nursery test. The results showed that the growth and adaptability of three species of Gesneriaceae had differences in two kinds of soils. They grew well in the limestone soil, but not well in red soil. Except for N, the other elements in leaves of *Paraboea guilinensis* such as P, K, Mn, Mg, Ca, Zn and Cu had extremely significant differences ( $P < 0.01$ ). Except for P, the other elements in leaves of *Primulina purpurea* such as N, K, Mn, Mg, Ca, Zn and Cu had extremely significant differences in these two kinds of soils ( $P < 0.01$ ). Except for N, Cu, Ca, the other elements in leaves of *P. lutea* such as P, K, Mn, Mg, Zn had extremely significant differences in these two kinds of soils ( $P < 0.01$ ). Except that some of the leaf element ratios had no difference, most of the leaf element ratios of these three species had extremely significant differences in these two kinds of soils. The correlation analysis of leaf element and cultivated soil element showed that the content of leaf element, like Mn, was positively correlated with the contents of elements in soil such as N, Ca, Mg, Zn, Mn and organic matter. The soil element content, like P, was positively correlated with the content of leaf element such as N, P, and it was negatively related with leaf element like Zn. In the same cultivated conditions, soil and genetic factors were the main causes of different adaptations of *P. lutea*, *P. purpurea* and *Paraboea guilinensis*.

**Key words:** *Primulina lutea*, *P. purpurea*, *Paraboea guilinensis*, leaf element, limestone soil, red soil

我国岩溶地貌分布广泛,岩溶地区上蕴含丰富的植物资源,分布在岩溶区的植物具有喜钙性、旱生性、石生性的特点(曹建华等,2005)。岩溶地质在广西广泛分布,岩溶地貌构成了广西的主要地貌特征,因此广西具有的岩溶植物资源极其丰富(李树刚和梁畴芬,1990)。苦苣苔科植物大多数种类属于岩溶植物,广西地区是其分布最为集中的区域之一(韦毅刚,2004)。苦苣苔科植物形态多样,花朵色彩绚丽,观赏性独特,因此深受国内外花卉爱好者的青睐,且该科许多种类在我国南方是传统的民间草药,历代本草都有所记载,尤其在广西少数民族地区广泛使用;该科植物的主要药用成分为黄酮类化合物,多具有清热、止咳平喘、活血、滋补的功能,具有很高的研究价值(李江陵,1994)。因此,我国野生苦苣苔科植物资源蕴含了巨大的经济效应。

目前,国内外学者对苦苣苔科植物的研究主要集中在苦苣苔科的资源调查(王辉,2011;Chen et al, 2014)、生物学特征(温放等,2012;Alexandre et al, 2015)、栽培繁殖技术(唐文秀等,2009;Lin et al, 2014)、化学成分含量(白贞芳等,2012;Luo et al, 2016)、系统进化(Van de Paer,2016;Qiu et al,2015)及分子生物学(Ishikawa et al,2017;Nishii et al,2017)等方面,而苦苣苔科植物适应岩溶环境机理方面的研究则相对较少(邓馨,2014;Tao,2016),且其对于不同

土壤的适应方式与机制的报道也并不多见。此外,苦苣苔科植物对于不同土壤的适应情况比较复杂,是开展喀斯特地区植物对土壤环境适应方式与适应性机制研究的理想材料(温放等,2012;齐清文等,2013)。

针对于此,本研究选取了分布范围不同,且在引种实验中适应性表现有所区别的三种苦苣苔科植物黄花牛耳朵、紫花报春苣苔和桂林蛛毛苣苔,将其栽种在石灰土及红壤两种不同类型的土壤中,观测记录其生长性状并对其叶片元素含量进行测定比较,分析其对两种土壤的适应性,对影响它们分布的可能原因进行探讨,对三种苦苣苔科植物适应不同类型土壤的机理进行初步研究,以期为今后深入研究苦苣苔科植物适应岩溶环境的调控机理提供基础,为苦苣苔科植物的开发利用及岩溶区植被恢复提供理论和实践依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

2010年春季,从野外岩溶石山采挖桂林蛛毛苣苔、紫花报春苣苔、黄花牛耳朵植株进行引种。紫花报春苣苔和黄花牛耳朵均采自广西贺州市钟山县十里画廊风景区。其中,紫花报春苣苔采集地的地理位置为  $24^{\circ}27'41.40''$  N,  $111^{\circ}09'31.34''$  E,海拔为 182 m;

黄花牛耳朵采集地的地理位置为  $24^{\circ}27'32.60''$  N,  $111^{\circ}09'30.38''$  E, 海拔为 178 m; 桂林蛛毛苣苔产自广西桂林市临桂区铁岭底中村, 其经纬度为  $25^{\circ}01'47.62''$  N,  $111^{\circ}11'53.13''$  E, 海拔为 182 m; 三种苦苣苔科植物全部引种到广西植物研究所苗圃内, 其地理位置为  $25^{\circ}04'47.26''$  N,  $110^{\circ}18'01.46''$  E, 海拔为 171 m。

在植株采集过程中, 同时采集自然生境中三种苦苣苔科植物的叶片及取样植物基部 0~10 cm 的土壤, 并对叶片及土壤元素的含量进行了测定, 作为今后苗圃试验的参照。三种土壤经鉴定, 都属于石灰土类型。植物样品采集地及试验地点都位于桂东北地区, 属中亚热带气候。

将三种植物分别栽植在石灰土(采自广西桂林市雁山区草底村坦克山山脚表层土壤)和红壤(采自广西桂林市植物所土山, 为第四纪红土发育而来的酸性土)上, 设置 2 个处理, 每个处理 3 次重复, 每个重复 5~8 株植物。2014 年 9 月, 观测其生长情况, 记录株高、冠幅、叶宽、叶长等生长指标, 并采集生长良好植株近顶部当年生叶片进行元素分析。另外, 用四分法采集取样植物基部 0~10 cm 的土壤 1 kg, 室内风干研磨制样。分别取不同栽培基质下的叶片经洗涤、杀菌、烘干、粉碎、过筛处理, 进行元素含量测定。

### 1.2 元素分析方法

叶片元素指标测定均参照鲍士旦(2002)的方法: 全氮采用硫酸—双氧水消解—蒸馏滴定法, 全磷采用钼锑钨比色法, 全钾采用火焰光度法, Ca、Mg 采用 EDTA 容量法; Mn 采用高碘酸钾比色法; 铜、锌采用火焰原子吸收分光光度法(Lu, 1999)。

测定土壤中 N、K、P、Mg、Mn、Zn、Ca、Cu、B、有机质、pH 值的含量, 测量分析方法如下。K: 火焰光度法; P: 钼锑钨比色法; Mg: EDTA 容量法; Fe: 邻菲罗啉比色法; Mn: 高碘酸钾比色法; Zn: 原子吸收分光光度法; Ca: EDTA 容量法; B: 姜黄素比色法; pH: 电位法, 各元素均测定 3 次(师春娟等, 2013)。

### 1.3 数据分析方法

所得数据使用 SPSS 软件进行分析统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 石灰土与红壤的元素含量

对土壤的元素含量进行测定和分析, 表 1 结果

表明, 桂林蛛毛苣苔及紫花报春苣苔采样点土壤的大量元素 N、Ca, 微量元素 Mn、Zn 及有机质含量要比红壤中同类元素含量高 3 倍以上, 差别较大; 而黄花牛耳朵采样点土壤微量元素含量与红壤微量元素含量差别不大; 3 个采样点土壤都为石灰土, 其在某些元素上有差别, 但相比于红壤, 还是与实验所用石灰土性质比较接近。除 N 以外, 石灰土中其他元素的测定值都大于红壤的对应元素; 两种土壤所含的大量元素, 其中 P、K 元素差异不显著, N 元素差异显著( $P<0.05$ ), Mg、Ca 元素差异极显著( $P<0.01$ ); 两种土壤所含的微量元素, 其中 Cu、B 和 Mn 元素差异不显著, Zn 元素差异极显著( $P<0.01$ ); 另外, 有机质含量差异显著( $P<0.01$ ), 且两种土壤的 pH 值差异极显著( $P<0.01$ )。

### 2.2 两种土壤中三种苦苣苔科植物的生长差异

研究表明, 在石灰土上, 黄花牛耳朵、紫花报春苣苔和桂林蛛毛苣苔的生长状况较好, 平均株高、平均冠幅、平均叶片数、平均叶长、平均叶宽这 5 个性状指标都大于其在红壤上的生长性状指标(具体结果见图 1~5)。其中, 黄花牛耳朵的生长状况最好, 优于紫花报春苣苔及桂林蛛毛苣苔。另外对两种土壤中的三种植物的形态指标进行方差分析, 其中桂林蛛毛苣苔的平均叶片数及平均叶宽差异显著( $P<0.05$ ); 紫花报春苣苔的平均株高差异显著( $P<0.05$ ), 而其他生长指标具有一定的差异但没有达到显著差异水平(表 2)。在两种土壤上, 实验表明三种苦苣苔科植物的适应性存在一定的差异, 并且在石灰土上它们表现出较好的适应性, 因其原生环境中的土壤与石灰土的元素含量比较相似。

### 2.3 两种土壤中三种苦苣苔科植物叶片元素的差异

植物叶片是植物代谢活动最活跃的器官, 其营养元素组成和含量是对矿质元素选择吸收与积累的结果, 也是其代谢类型和所处环境情况的反映, 植物叶片营养元素含量能较好地反映植物生长过程中所出现的营养问题(林植芳等, 1989; 管东生等, 2003)。通过对石灰土及红壤上黄花牛耳朵、紫花报春苣苔及桂林蛛毛苣苔, 三种植物叶片元素含量分析, 结果见表 3、表 4。

表 3 和表 4 的结果表明, 石灰土、红壤、采样点土壤上三种植物叶片元素含量的变异系数, 除了 Zn 元素的变异系数较大外, 总体差别不大。除了桂林

表 1 采样点土壤、石灰土、红壤元素含量及两种实验土壤的方差分析结果  
Table 1 Element contents of sampling soil, limestone soil, red soil and ANOVA of element contents between soils in sampling plots

项目 Item	土壤元素含量 Soil element content									有机质 Organic matter (mg · kg <sup>-1</sup> )	pH
	N (mg · kg <sup>-1</sup> )	P (mg · kg <sup>-1</sup> )	K (mg · kg <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (cmol · kg <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (cmol · kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg · kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg · kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg · kg <sup>-1</sup> )	B (mg · kg <sup>-1</sup> )		
桂林蛛毛苣苔采样点土壤 Soil of sampling <i>Paraboea guilinensis</i>	681.42	7.4	138	46	14.4	1.07	9.34	12.52	0.13	185	7.72
黄花牛耳朵采样点土壤 Soil of sampling <i>Primulina lutea</i>	245.92	3.8	94	75.8	1.5	0.5	0.91	6.93	0.06	79.7	8.04
紫花报春苣苔采样点土壤 Soil of sampling <i>Pri. purpurea</i>	447.12	8.2	116	106.8	1.8	0.7	3.63	14.35	0.1	146	7.99
红壤平均值 Red soil average	87.46	14.57	110.00	6.167	1.433	0.337	1.950	1.620	0.123	24.433	6.290
石灰土平均值 Limestone soil average	231.13	12.13	139.67	29.68	2.59	0.398	4.298	6.032	0.136	58.906	7.753
相伴概率显著性 Level of significance test	0.011 *	0.099N	0.108N	0.00 **	0.001 **	0.200N	0.002 **	0.104N	0.398N	0.016 *	0.003 **

注: \* 处理在 0.05 水平上有显著差异; \*\* 处理在 0.01 水平上有显著差异; N. 处理间没有差异。下同。

Note: \* Significant differences at the 0.05 level; \*\* Significant difference at 0.01 level; N. No difference. The same below.

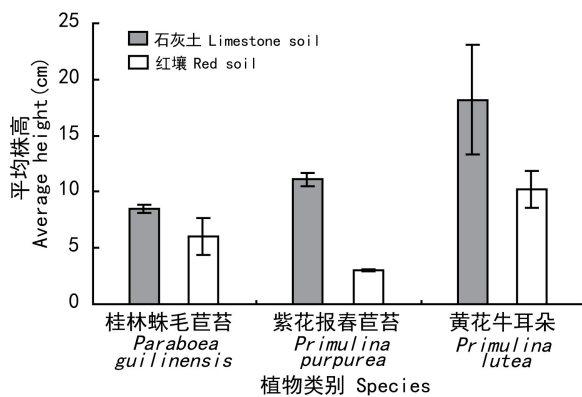


图 1 三种苦苣苔科植物的平均株高

Fig. 1 Average height of three species between two kinds of soils

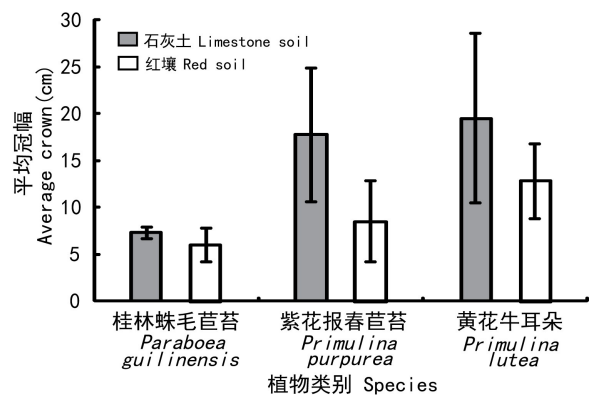


图 2 三种苦苣苔科植物的平均冠幅

Fig. 2 Average crown of three species between two kinds of soils

蛛毛苣苔叶片 Ca 和 Mg 元素,紫花报春苣苔叶片 Ca 元素以外,在红壤条件下生长的三种植物,其叶片中大量元素的含量都大于在石灰土上植物叶片所对应的大量元素;而在石灰土上,三种苦苣苔科植物的叶片 Zn 元素的量则大于其在酸性条件下对应的值。另外,研究还发现,在两种不同土壤上的桂

林蛛毛苣苔的叶片元素,除了 N 差异不显著,其他如 P、K、Mn、Mg、Ca、Zn、Cu 等元素的差异都极其显著 ( $P < 0.01$ );在两种不同土壤上的黄花牛耳朵的叶片元素,除了 N、Cu 及 Ca 差异不显著,其他如 P、K、Mn、Mg、Zn 等元素的差异都极其显著 ( $P < 0.01$ );在两种不同土壤上的紫花报春苣苔的叶片元素,除了

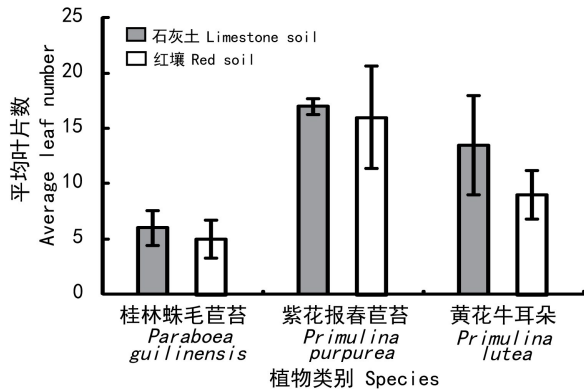


图3 三种苦苣苔科植物的平均叶片数  
Fig. 3 Average leaf number of three species between two kinds of soils

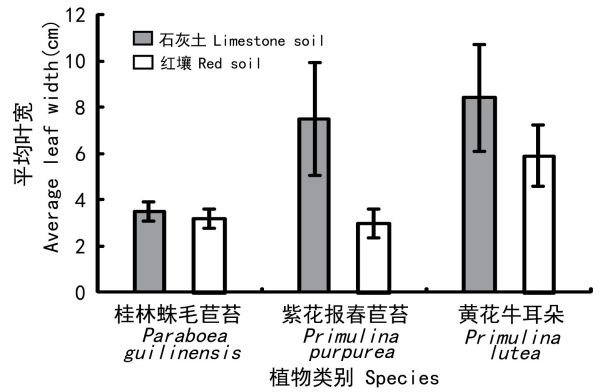


图5 三种苦苣苔科植物的平均叶宽  
Fig. 5 Average leaf width of three species between two kinds of soils

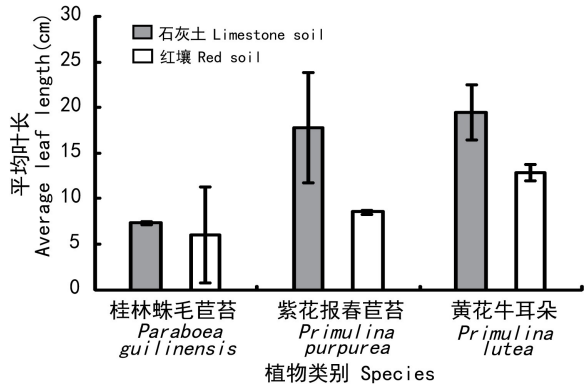


图4 三种苦苣苔科植物的平均叶长  
Fig. 4 Average leaf length of three species between two kinds of soils

P 差异不显著,其他如 N、K、Mn、Mg、Ca、Zn、Cu 等元素的差异都极其显著 ( $P < 0.01$ )。

#### 2.4 两种不同土壤中三种植物叶片元素含量比值特征

本研究结果(表5、表6)表明,栽植在石灰土上的黄花牛耳朵,其 N/P 值为 17.24,大于 16。因此,在该种条件下黄花牛耳朵属于 P 制约型植物;而本研究的其他类别,它们的 N/P 值都小于 14,属于 N 制约型植物;对不同土壤条件下三种苦苣苔科植物的叶片元素含量比值进行方差分析,结果表明桂林蛛毛苣苔叶片的所有元素含量比值差异极显著;除了叶片元素含量 N/P 值差异不显著,紫花报春苣苔的其他元素含量比值差异极显著 ( $P < 0.01$ );对于黄花牛耳朵,该种植物叶片元素含量 N/P、N/K、Ca/Mg 元素含量比值差异极显著 ( $P < 0.01$ ),而 K/P 元素含量比值差异不显著。

#### 2.5 三种苦苣苔科植物的叶片元素与栽培土壤元素的相关性分析

土壤的特性决定着植物的生长状况,而植物的叶片对环境变化较敏感。叶片的形态、结构特征及叶片元素能反应环境因子对植物的影响或植物对环境的适应(王勋陵和王启燕,1989)。通过对三种苦苣苔科植物的叶片元素与栽培土壤元素的相关性分析,研究结果(表7)表明,植物叶片所含的 Mn 元素与土壤中的 N、Ca、Mg、Zn、Mn、有机质含量等因素呈正相关关系,土壤 P 元素的含量与叶片中 N、P 元素呈正相关关系,而与叶片中的 Zn 元素呈负相关关系。

表2 石灰土及红壤上三种植物叶片性状的方差分析  
Table 2 ANOVA of morphological traits of plant leaves of three species between two kinds of soils

形态指标 P 值及显著性 P value and significance test	平均株高 Average height (cm)	平均冠幅 Average crown (cm)	平均叶片数 Average leaf number	平均叶长 Average leaf length (cm)	平均叶宽 Average leaf width (cm)
桂林蛛毛苣苔 <i>Paraboea guilinensis</i>	0.165N	0.172	0.045 *	0.632	0.022 *
黄花牛耳朵 <i>Primulina lutea</i>	0.246N	0.243N	0.324N	0.177N	0.236N
紫花报春苣苔 <i>Pri. purpurea</i>	0.038 *	0.127N	0.426N	0.434N	0.477N

表 3 石灰土、红壤、采样点土壤上三种植物叶片元素含量及其变异系数

Table 3 Average element contents and variable coefficients of plant leaves of three species among three kinds of soils

项目 Item	叶片元素含量 Leaf element content							
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (g · kg <sup>-1</sup> )	Mg (g · kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg · kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg · kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg · kg <sup>-1</sup> )
桂林蛛毛苣苔(红壤) <i>Paraboea guilinensis</i> in red soil	1.402	0.118	0.7	19.57	2.83	24.05	479.36	70.05
桂林蛛毛苣苔(石灰土) <i>Par. guilinensis</i> in limestone soil	0.838	0.08	0.42	31.55	3.39	20.56	911.01	148.77
桂林蛛毛苣苔(采样点土壤) <i>Par. guilinensis</i> in sampling site	1.677	0.114	0.84	20.77	3.66	16.29	67.97	51.81
变异系数 Variable coefficient (%)	0.27	0.16	0.26	0.22	0.10	0.15	0.71	0.47
黄花牛耳朵(红壤) <i>Primulina lutea</i> in red soil	1.85	0.139	0.29	58.95	10.87	25.41	207.17	102.18
黄花牛耳朵(石灰土) <i>Pri. lutea</i> in limestone soil	1.851	0.107	0.2	56.42	7.54	28.06	178.13	156.21
黄花牛耳朵(采样点土壤) <i>Pri. lutea</i> in sampling site	1.102	0.134	0.63	119.62	17.04	17.84	36.99	109.54
变异系数 Variable coefficient (%)	0.22	0.11	0.49	0.37	0.33	0.18	0.53	0.19
紫花报春苣苔(红壤) <i>Primulina purpurea</i> in red soil	1.556	0.127	0.79	43.48	8.46	65.09	277.24	118.83
紫花报春苣苔(石灰土) <i>Pri. purpurea</i> in limestone soil	1.407	0.122	0.49	71.27	6.47	29.24	865.41	215.02
紫花报春苣苔(采样点土壤) <i>Pri. purpurea</i> in sampling site	0.934	0.12	0.76	33.38	4.33	26.48	41.02	56.75
变异系数 Variable coefficient (%)	0.20	0.02	0.19	0.32	0.26	0.43	0.87	0.50

表 4 石灰土及红壤上三种植物叶片元素含量方差分析

Table 4 ANOVA of elemental contents in plant leaves of three species between two kinds of soils

叶片元素 P 值及显著性 P value and significance test	Mn (mg · kg <sup>-1</sup> )	Mg (g · kg <sup>-1</sup> )	Ca (g · kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg · kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg · kg <sup>-1</sup> )	N (%)	P (%)	K (%)
桂林蛛毛苣苔 <i>Paraboea guilinensis</i>	0.08 **	0.034 **	0.03 **	0.04 **	0.05 **	0.98N	0.02 **	0.008 **
黄花牛耳朵 <i>Primulina lutea</i>	0.01 **	0.013 **	0.145N	0.028 **	0.46N	0.975N	0.048 **	0.011 **
紫花报春苣苔 <i>Pri. purpurea</i>	0.028 **	0.08 **	0.01 **	0.012 **	0.007 **	0.046 **	0.261N	0.002 **

### 3 讨论与结论

本研究选取了黄花牛耳朵、桂林蛛毛苣苔和紫花报春苣苔三种苦苣苔科植物,它们分布范围较窄,只限于某局限的区域,自然分布仅限于岩溶石山的石壁石缝中,而且数量极为稀少,为即将面临

绝灭的类群(温放,2008)。人工栽培试验发现三种植物的适应性具有区别。本研究结果表明,在石灰土中,黄花牛耳朵的生长情况最好,紫花报春苣苔次之,桂林蛛毛苣苔表现最差;而在红壤中,仍是黄花牛耳朵的生长情况最好,桂林蛛毛苣苔和紫花报春苣苔的生长情况都较差。推测产生此种现象的原因,可能是由于其适应不同环境的能力有差异,另

表 5 两种不同土壤中三种植物叶片元素含量比值特征

Table 5 Ratio of element concentrations in leaves of three species between two kinds of soils

项目 Item	叶片元素比值 Ratio of element content in leaves			
	N/P	N/K	K/P	Ca/Mg
桂林蛛毛苣苔(红壤) <i>Paraboea guilinensis</i> in red soil	7.11	1.20	5.93	6.92
桂林蛛毛苣苔(石灰土) <i>Par. guilinensis</i> in limestone soil	10.48	2.00	5.23	9.30
黄花牛耳朵(红壤) <i>Primulina lutea</i> in red soil	13.32	6.42	2.07	5.42
黄花牛耳朵(石灰土) <i>Pri. lutea</i> in limestone soil	17.24	9.19	1.88	7.48
紫花报春苣苔(红壤) <i>Pri. purpurea</i> in red soil	12.24	1.97	6.21	5.14
紫花报春苣苔(石灰土) <i>Pri. purpurea</i> in limestone soil	11.55	2.88	4.01	11.01
平均值 Average value	11.99	3.94	4.22	7.54

表 6 两种不同土壤中三种植物叶片元素含量比值方差分析

Table 6 ANOVA of the ratio of leaf element content in leaves of three species between two kinds of soils

叶片元素含量比值 P 值及显著性 P value of ratio of leaf element content and significance test	N/P	N/K	K/P	Ca/Mg
桂林蛛毛苣苔 <i>Paraboea guilinensis</i>	0.002 **	0.009 **	0.032 **	0.018 **
黄花牛耳朵 <i>Primulina lutea</i>	0.085 **	0.037 **	0.135N	0.013 **
紫花报春苣苔 <i>Pri. purpurea</i>	0.269N	0.018 **	0.024 **	0.003 **

外,土壤性质也可能对其适应性产生了影响,研究结果表明虽然三种苦苣苔科植物都分布于岩溶石山上,但它们生长的土壤元素含量还是有所不同,其中相对另外两种植物,黄花牛耳朵原生地土壤元素含量与红壤比较接近,黄花牛耳朵能较好适应红壤。对两种土壤栽培条件下的叶片元素及元素含量比值的方差分析发现,黄花牛耳朵具有显著差异区别的叶片元素及元素含量比值的种类最少,推断可能是由于该植物有某种遗传机制可以调节不同

酸碱条件下叶片中 N、P、Ca 的含量,使其保持在稳定的水平,有利于植物生长。三种植物叶片 Zn 的含量在石灰土条件下较大;除钙外,在红壤条件下生长的三种植物叶片中大量元素的含量都大于其在石灰土条件下的含量,该结论与黄仕训等(2001)的研究结论一致。各元素在植物生长过程中的相互作用可以表现为拮抗作用和协同作用两个方面;与单一的元素浓度相比,植物组织、器官元素浓度比值更能真实指示环境的变化(旷远文等,2010)。植物体内 N/P 值能用来衡量植物生长过程中受哪个元素的限制,当 N/P 大于 16 时,暗示植物生长受 P 限制,当 N/P 小于 14 时,表明植物生长受 N 限制,当 N/P 比值介于 14~16 时,表明 N 与 P 单独或者共同影响植物的生长。本研究发现在野生环境中或红壤上,黄花牛耳朵的 N/P 小于 14,其生长受 N 限制,当它栽植在石灰土上,其 N/P 值为 17.24,大于 16,在该种条件下属于 P 制约型植物;野生条件和栽培条件下紫花报春苣苔的 N/P 值都小于 14,其生长都受到 N 的限制;而桂林蛛毛苣苔在石灰土及红壤中,其生长受 N 的限制,但在野生条件下其受 N 与 P 单独或者共同影响生长。因此,研究结果表明基质条件不同,植物生长的限制因子有可能会发生变化。另外,与荔波唇柱苣苔的元素含量进行比较,三种植物的叶片元素及元素含量比值大小与该植物相近(罗绪强,2014);通过对植物的叶片元素与栽培土壤元素的相关性分析,发现土壤中的 N、Ca、Mg、Zn、Mn、有机质含量等因素与叶片 Mn 元素呈正相关关系,土壤中这些离子含量的增加可大大提高叶片 Mn 元素的含量。而 Mn 被认为可能是酸性土壤中除 Al 外限制植物生长的第二个重要因素,而 Mn 的结合能力比较强,过量的 Mn 能够抑制必需元素 Mg、Ca 和 Fe 的吸收,导致叶绿素合成减少,光合作用效率下降(张玉秀,2010),因此黄花牛耳朵,桂林蛛毛苣苔,紫花报春苣苔三种植物在红壤中生长较差有可能是受到 Mn 毒害的影响。此外,还发现三种苦苣苔科植物采样点土壤的 Mn 含量较高,与红壤中 Mn 含量相比,前者比后者高 3 倍以上,但在采样点土壤上生长的三种苦苣苔科植物叶片 Mn 元素的含量却可以维持在较低的水平。推测发生该种现象的原因,有可能是相对于酸性的土壤环境,三种苦苣苔科植物在野生环境或碱性条件下,它

表 7 三种苦苣苔科植物的叶片元素与栽培土壤元素的相关性分析

Table 7 Correlation analysis of elemental contents of soils and leaves in three species

叶片元素 Leaf element	土壤元素 Soil element										
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	B	有机质 Organic matter	pH
N	-0.001	0.846 *	0.265	-0.202	-0.190	0.393	-0.399	0.254	0.312	0.053	-0.515
P	-0.380	0.858 *	-0.043	-0.558	-0.498	-0.070	-0.567	-0.019	0.108	-0.347	-0.808
K	-0.533	0.226	-0.435	-0.543	-0.509	-0.443	-0.435	-0.452	-0.135	-0.557	-0.431
Ca	0.557	0.131	0.698	0.447	0.491	0.497	0.434	0.755	0.717	0.571	0.087
Mg	-0.091	0.575	0.094	-0.215	-0.204	0.034	-0.280	0.142	0.476	-0.060	-0.544
Cu	-0.285	0.477	-0.145	-0.373	-0.363	-0.154	-0.400	-0.144	0.538	-0.289	-0.538
Zn	0.309	-0.844 *	0.126	0.459	0.486	-0.111	0.684	0.159	-0.114	0.259	0.647
Mn	0.858 *	-0.485	0.808	0.858 *	0.888 *	0.566	0.905 *	0.848 *	0.716	0.837 *	0.672

注: \* 处理在 0.05 水平上有相关性; \*\* 处理在 0.01 水平上有相关性。

Note: \* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed); \*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

们自身对 Mn 含量限制的调节机制更容易发挥作用。而关于苦苣苔科植物是如何调控 Mn 元素含量的机理还有待今后进一步研究。在其他栽培条件一致的情况下,土壤因素及物种差别是造成黄花牛耳朵,紫花报春苣苔,桂林蛛毛苣苔适应性产生差异的主要原因。

## 参考文献:

- ALEXANDRE H, VRIGNAUD J, MANGIN B, et al, 2015. Genetic architecture of pollination syndrome transition between hummingbird-specialist and generalist species in the genus *Rhytidophyllum* (Gesneriaceae) [J]. Peer J, 3:e1028.
- BAI ZF, WANG XQ, XIAO PG, et al, 2012. Investigation of Gesneriaceae ethnic medicinal plants in Guangxi Zhuang Autonomous Region [J]. J Chin Med Mat, 35(1):20-23. [白贞芳, 王晓琴, 肖培根, 等, 2012. 广西苦苣苔科植物传统药物学调查 [J]. 中药材, 35(1):20-23.]
- BAO SD, 2002. Soil and agricultural chemistry analysis: the third edition [M]. Beijing: China Agriculture Press.
- CAO JH, YUAN DX, PEI JG, 2005. Karst ecosystem of southwest China controlled by geological restriction [M]. Beijing: Geological Publishing House. [曹建华, 袁道先, 裴建国, 2005. 受地质制约的中国西南岩溶生态系统 [M]. 北京: 地质出版社.]
- CHEN WH, SHUI YM, YANG JB, et al, 2014. Taxonomic status, phylogenetic affinities and genetic diversity of a presumed extinct genus, *Paraisometrum* W. T. Wang (Gesneriaceae) from the karst regions of southwest China [J]. PloS ONE, 9(9): e107967.
- GUAN DS, LUO L, 2003. Chemical element concentrations of tropical plant leaves in Hainan Province [J]. Sci Sil Sin, 39(2):28-32. [管东生, 罗琳, 2003. 海南热带植物叶片化学元素含量特征 [J]. 林业科学, 39(2):28-32.]
- HUANG SX, LI RT, LUO WH, et al, 2001. Variation in characteristics of rare and threatened plants after ex-situ conservation [J]. Biodivers Sci, 9(4):359-365. [黄仕训, 李瑞棠, 骆文华, 等, 2001. 石山稀有濒危植物在迁地保护后的性状变异 [J]. 生物多样性, 9(4):359-365.]
- ISHIKAWA N, TAKAHASHI H, NAKAZONO M, et al, 2017. Molecular bases for phyllo-morph development in a one-leaf plant, *Monophyllaea glabra* [J]. Am J Bot. 104(2):233-240.
- KUANG YW, WEN DZ, YAN JH, et al, 2010. Characteristics of element contents in leaves of 3 dominant species in karst forest in Puding, Guizhou, China [J]. Chin J Appl Environ Biol, 16(2):158-163. [旷远文, 温达志, 闫俊华, 等, 2010. 贵州普定喀斯特森林 3 种优势树种叶片元素含量特征 [J]. 应用与环境生物学报, 16(2):158-163.]
- LI JL, 1994. Sichuan endive moss medicinal plant resources investigation [J]. Sichuan J Res Chin Drug Herbs, (36):18-20. [李江陵, 1994. 四川苦苣苔科药用植物资源调查 [J]. 四川中草药研究, (36):18-20.]
- LIN L, YUAN B, WANG D, et al, 2014. Cryopreservation of adventitious shoot tips of *Paraisometrum mileense* by droplet vitrification [J]. Cryo Lett, 35(1):22-28.
- LI SG, LIANG CF, 1990. Plant resources in Guangxi [M].



- Beijing: Beijing Science and Technology Press. [李树刚, 梁畴芬, 1990. 广西植物资源 [M]. 北京:北京科学技术出版社.]
- LI WL, XU FL, DENG X, 2014. A comparative study on Ca content and distribution in two Gesneriaceae species reveals distinctive mechanisms to cope with high rhizospheric soluble calcium [J]. *Front Plant Sci*, 5: 647.
- LIN ZF, LI SS, SUN GC, et al, 1989. The mineral elements in leaves of plants in south subtropical area of MT. Dinghu Shan [J]. *Acta Ecol Sin*, 9(4):320-324. [林植芳, 李双顺, 孙谷畴, 等, 1989. 鼎湖山南亚热带地区植物的叶片矿质元素 [J]. *生态学报*, 9(4):320-324.]
- LU RK, 1999. Analysis method of soil agricultural chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press.
- LUO XQ, CHEN GM, ZHANG GL, et al, 2014. Characteristics of heavy metal contents in leaves of endemic species in Maolan Karst forest [J]. *Guangdong Agric Sci*, 21:149-152. [罗绪强, 陈光美, 张桂玲, 等, 2014. 茂兰喀斯特森林特有种植物叶片重金属含量特征 [J]. *广东农业科学*, 21:149-152.]
- LUO XQ, ZHANG GL, DU XL, et al, 2014. Characteristics of element contents and ecological stoichiometry in leaves of common calcicole species in Maolan Karst Forest [J]. *Ecol Environ Sci*, 23(7):1121-1129. [罗绪强, 张桂玲, 杜雪莲, 等, 2014. 茂兰喀斯特森林常见钙生植物叶片元素含量及其化学计量学特征 [J]. *生态环境学报*, 23(7):1121-1129.]
- LUO W, WEN Y, TU Y, et al, 2016. A new flavonoid glycoside from *Lysionotus pauciflorus* [J]. *Nat Prod Comm*, 11(5):621-622.
- NISHII K, HUANG BH, WANG CN, et al, 2017. From shoot to leaf: step-wise shifts in meristem and KNOX1 activity correlate with the evolution of a unifoliate body plan in Gesneriaceae [J]. *Dev Genes Evol*, 227(1):41-60.
- QI WQ, HAO Z, TAO JJ, et al, 2013. Diversity of Calcium speciation of *primulina* species (Gesneriaceae) [J]. *Biodivers Sci*, (6):715-722. [齐清文, 郝转, 陶俊杰, 等, 2013. 报春苣苔属植物钙形态多样性 [J]. *生物多样性*, (6):715-722.]
- QIU ZJ, LU YX, LI CQ, et al, 2015. Origin and evolution of *Petrocosmea* (Gesneriaceae) inferred from both DNA sequence and novel findings in morphology with a test of morphology-based hypotheses [J]. *BMC Plant Biol*, 3(15):167.
- SHI CJ, ZHOU DQ, WANG BY, et al, 2013. Influence of reclaimed water irrigation on leaf element content of different greenland plants [J]. *Acta Agric Boreal-Occident Sin*, 22(8):186-192. [师春娟, 周德全, 王博轶, 等, 2013. 中水灌溉对不同绿地植物叶片元素含量的影响 [J]. *西北农业学报*, 22(8):186-192.]
- TANG WX, HUANG SX, WEI HY, et al, 2009. Study on cutting propagation of limestone species *Chirita guelinensis* [J]. *SW Chin J Agric Sci*, 22(5):1395-1399. [唐文秀, 黄仕训, 隗红燕, 等, 2009. 石灰岩植物桂林唇柱苣苔叶插繁殖研究 [J]. *西南农业学报*, 22(5):1395-1399.]
- TAO J, FENG C, AI B, et al, 2016. Adaptive molecular evolution of the two-pore channel 1 gene TPC1 in the karst-adapted genus *Primulina* (Gesneriaceae) [J]. *Ann Bot*, 118(7):1257-1268.
- VAN de PAER C, HONGWA C, JEZIORSKI C, et al, 2016. Mitogenomics of *Hesperelaea*, an extinct genus of *Oleaceae* [J]. *Gene*, 594(2):197-202.
- WANG H, 2011. Study of breeding and stress resistance of three wild flowers of Gesneriaceae [D]. Hangzhou: Zhejiang Agricultural University:1-7. [王辉, 2011. 三种苦苣苔科野生花卉的繁育与抗逆性研究 [D]. 杭州:浙江农林大学:1-7.]
- WANG XL, WANG QY, 1989. Ozone on plant transpiration and the stomatal apparatus movement [J]. *Environ Stud Mon*, 1:16-19. [王勋陵, 王启燕, 1989. 臭氧对植物蒸腾作用及气孔器运动的影响 [J]. *环境研究与监测*, 1:16-19.]
- WEI YG, ZHONG SH, WEN HQ, 2004. Studies of the flora and ecology Gesneriaceae in Guangxi Province [J]. *Acta Bot Yunnan*, 26(2):173-182. [韦毅刚, 钟树华, 文和群, 2004. 广西苦苣苔科植物区系和生态特点研究 [J]. *云南植物研究*, 26(2):173-182.]
- WEN F, FU LF, WEI YG, 2012. Pollination biology of *Primulina repanda* var. *Guilinensis* and *P. Glandulosa* var. *yangshuoensis* [J]. *Guihaia*, 32(5):571-578, 668. [温放, 符龙飞, 韦毅刚, 2012. 两种广西特有报春苣苔属(苦苣苔科)植物传粉生物学研究 [J]. *广西植物*, 32(5):571-578, 668.]
- WEN F, 2008. Studies on investigation and introduction of wild ornamental resources of Gesneriaceae in Guangxi [D]. Beijing: Beijing Forestry University:48-52. [温放, 2008. 广西苦苣苔科观赏植物资源调查与引种研究 [D]. 北京:北京林业大学:48-52.]
- ZHANG YX, LI LF, CHAI TY, et al, 2010. Mechanisms of manganese toxicity and manganese tolerance in plants [J]. *Chin Bull Bot*, 45(4):506-520. [张玉秀, 李林峰, 柴团耀, 等, 2010. 锰对植物毒害及植物耐锰机理研究进展 [J]. *植物学报*, 4:506-520.]