

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2022.50598

罗广令, 廖海民, 胡国雄. 唇形科苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草营养器官的比较解剖结构及其生态适应性[J]. 植物科学学报, 2022, 40(5): 598~609

Luo GL, Liao HM, Hu GX. Anatomical structures of vegetative organs of *Salvia sonchifolia* C. Y. Wu and *S. petrophila* G. X. Hu, E. D. Liu & Yan Liu (Lamiaceae) and their ecological adaptability [J]. *Plant Science Journal*, 2022, 40(5): 598~609

# 唇形科苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草营养器官的 比较解剖结构及其生态适应性

罗广令<sup>1,2</sup>, 廖海民<sup>1</sup>, 胡国雄<sup>1\*</sup>(1. 贵州大学生命科学学院, 贵阳 550025; 2. 贵州大学农业生物工程研究院, 山地植物资源保护与  
保护种质创新教育部重点实验室, 山地生态与农业生物工程协同创新中心, 贵阳 550025)

**摘要:** 以苣叶鼠尾草(*Salvia sonchifolia* C. Y. Wu)和岩生鼠尾草(*S. petrophila* G. X. Hu, E. D. Liu & Yan Liu)为材料, 采用石蜡切片法、光学显微镜和扫描电镜对两个物种营养器官的结构进行观测和比较, 研究两者解剖结构特征的差异及其形态结构对环境的适应性。结果显示, 两种鼠尾草叶片表皮均具有表皮毛和角质层, 气孔仅分布于下表皮。岩生鼠尾草叶片上下表皮细胞厚度、上表皮角质层厚度、栅栏组织和海绵组织厚度、主脉韧皮部和木质部厚度、非腺毛的密度等解剖特征均显著大于苣叶鼠尾草。两种植物初生根的原生木质部均为二原型, 其中苣叶鼠尾草无髓部, 岩生鼠尾草有髓。根的次生结构均由周皮和次生维管组织构成, 其中韧皮部占比比较大, 薄壁细胞内含淀粉粒。茎的棱角表皮下具有发达的厚角组织, 4个棱角下方维管束较大。研究结果表明, 苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草根的初生结构和叶片解剖结构存在差异, 根的初生结构是否有髓、叶片栅栏组织的层数、叶片非腺毛的密度可以作为两个物种的鉴定依据, 其营养器官的解剖结构都具有适应旱生环境的特征。相比而言, 岩生鼠尾草的耐寒性和抗旱性强于苣叶鼠尾草, 但后者更适应阴生和弱光环境。

**关键词:** 鼠尾草属; 营养器官; 解剖结构; 生态适应性; 喀斯特

中图分类号: Q949.777.6

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2022)05-0598-12

## Anatomical structures of vegetative organs of *Salvia sonchifolia* C. Y. Wu and *S. petrophila* G. X. Hu, E. D. Liu & Yan Liu (Lamiaceae) and their ecological adaptability

Luo Guang-Ling<sup>1,2</sup>, Liao Hai-Min<sup>1</sup>, Hu Guo-Xiong<sup>1\*</sup>

(1. College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Key Laboratory of Plant Resource Conservation and Germplasm Innovation in Mountainous Region (Ministry of Education), Collaborative Innovation Center for Mountain Ecology &amp; Agro-Bioengineering (CICMEEB), College of Life Sciences/Institute of Agro-Bioengineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** In this paper, the vegetative organs of *Salvia sonchifolia* and *S. petrophila* were observed by paraffin-sectioning, optical microscopy, and scanning electron microscopy to analyze differences in anatomical structures and adaptability to the environment. Results showed that the leaf epidermis of both species was covered by trichomes and a cuticle, and stomata were only distributed in the lower epidermis. Anatomically, the thicknesses of the upper and lower epidermal cells, cuticle on the upper epidermis, palisade tissue, spongy tissue, and phloem and xylem in the midrib, as well as density of non-glandular hairs, were all

收稿日期: 2022-02-14, 修回日期: 2022-03-11。

基金项目: 国家自然科学基金(32060048; 31600164)。

This work was supported by grants from the National Natural Science Foundation of China (32060048; 31600164).

作者简介: 罗广令(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向为植物系统学(E-mail: 1056324929@qq.com)。

\* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: gxhu@gzu.edu.cn)。

significantly higher in *S. petrophila* than in *S. sonchifolia*. For primary roots, both species had diarch roots and *S. petrophila* had no pith. For secondary roots, both species contained periderm and secondary vascular tissue, of which the phloem accounted for a large proportion, and the parenchyma cells contained starch grains. The four corners of the stem contained thick collenchymas and large vascular bundles. These results indicated significant differences between the two species in the primary structure of the roots and anatomical structure of the leaves. The presence or absence of pith, number of palisade tissue layers of the leaf, and density of non-glandular hairs of the leaf can be used as diagnostic characters between the species. The anatomical structures of the vegetative organs of *S. petrophila* and *S. sonchifolia* were characteristic of adaptations to xeric environments. In contrast, cold and drought resistance was stronger in *S. petrophila* than in *S. sonchifolia*, while the latter was more suited to shaded and weak light environments.

**Key words:** *Salvia*; Vegetative organ; Anatomical structure; Ecological adaptability; Karst

苣叶鼠尾草(*Salvia sonchifolia* C. Y. Wu)<sup>[1]</sup>和岩生鼠尾草(*S. petrophila* G. X. Hu, E. D. Liu & Yan Liu)<sup>[2]</sup>是唇形科鼠尾草属东亚鼠尾草亚属(Subg. *Glutinaria* G. X. Hu, C. L. Xiang & B. T. Drew)岩生组(sect. *Sonchifoliae* (C. Y. Wu) G. X. Hu, C. L. Xiang & H. Peng)<sup>[3]</sup>的两种多年生草本植物。苣叶鼠尾草由吴征镒先生依据1959年在云南文山州西畴县采集的标本而发表<sup>[1]</sup>，该物种分布在越南北部的河江省和我国云南东南部、广西西南部、贵州南部<sup>[4]</sup>，常生长于海拔1300~1500 m的石灰岩林内湿润腐植土上。岩生鼠尾草是胡国雄等<sup>[2]</sup>在2014年描述的一个新种，目前仅见于贵州南部的荔波县和广西北部的环江县，生长于海拔350~1000 m石灰岩林下陡峭的崖壁上。分子系统学研究表明，苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草为姐妹类群，两者构成一个分支(鼠尾草属岩生组)，是东亚鼠尾草亚属余下种类的姐妹类群<sup>[3]</sup>。

苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草在生境及营养器官外部形态方面极其相似(图版I)，仅在花部结构上存在较大差异(图版I:E、H)。两者的主根粗壮，都为直根系；茎直立，四棱形，密被短柔毛；叶基生，叶片长圆形，坚纸质。在花部结构上，苣叶鼠尾草的花冠上唇直伸，近圆形；雄蕊药隔短，上下臂等长，上下药室近等长，均可育，下药室联合；花柱藏于花冠内，不伸出。岩生鼠尾草的花部形态与丹参类物种十分相似<sup>[2]</sup>，其花冠上唇呈镰刀形；雄蕊药隔长，上臂长约为下臂的两倍，下药室退化为钩状，不育，联合；花柱远伸出花冠外。如果不在花期，仅靠营养器官形态，两个物种难以

被准确鉴定和区分。陈谦海于1984年在荔波翁昂莫干采集到一份花蕾期标本(标本凭证号：陈谦海2365)，当时该标本被鉴定为苣叶鼠尾草，后来被证实为岩生鼠尾草<sup>[3]</sup>。植物营养器官的解剖结构特征常被作为植物分类的重要依据<sup>[5~8]</sup>。鼠尾草属植物在根、叶、苞片、花萼、花冠和毛被类型等形态结构上存在丰富的变异<sup>[9~13]</sup>。在相关研究中，王涛等<sup>[14]</sup>对多种鼠尾草植物的叶进行显微结构观察研究，筛选出了上表皮厚度等9个可以较好反映弧隔鼠尾草亚属(Subg. *Salvia* Benth.)和荔枝草亚属(Subg. *Sclarea* (Moench) Benth.)在亚属间和种间关系差异的叶部解剖特征。毛被特征在唇形科中也具有一定的分类学意义，可用于某些属下分类等级的研究<sup>[15, 16]</sup>。目前关于苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草的研究主要涉及系统学<sup>[3, 17]</sup>、孢粉学<sup>[2]</sup>、植物化学<sup>[18, 19]</sup>等内容，尚未见营养器官解剖结构方面的研究。

植物营养器官的解剖结构特征可以反映植物对环境的适应及其演化方向，也是环境因子影响植物器官的表现，尤其是叶片的形态结构常被用于植物功能性的研究<sup>[20]</sup>。苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草都生长在石灰岩地区，该地区土壤主要是石灰岩风化发育而成，地表土层浅薄、疏松，蓄水、保水能力较弱，降雨后水分很快流失和渗漏<sup>[21]</sup>，属于长期缺水的干旱环境。尽管苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草都分布在石灰岩地区，但两者生长的小环境存在一定的区别：苣叶鼠尾草生长在林下湿润腐植土上，生长的小环境较为荫凉潮湿，岩生鼠尾草多生长在裸露的岩石缝隙中，生长的小环境较为干燥缺水。苣

叶鼠尾草和岩生鼠尾草对光照、水分、温度等环境因子适应性的差异有可能体现在具体的解剖结构特征上。因此,研究苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草营养器官解剖结构特征,可以探讨两者营养器官解剖结构对于干旱环境和不同小环境的适应性特征。

本研究应用光学显微镜观察了苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草根、茎、叶的石蜡切片,并用电子显微镜观察了叶表皮的形态结构,分析两种植物营养器官的结构差异,并探讨两者对生境的适应性,以期为研究两者的生态学特性和分类鉴定提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

苣叶鼠尾草采自贵州省黔西南布依族苗族自治州望谟县山花村,海拔 1206 m,属喀斯特地貌,亚热带季风湿润气候,年均温 19°C,极端最低气温为-4.8°C,极端最高气温 41.8°C,年降水量约 1222.5 mm。岩生鼠尾草采自贵州省黔南布依族苗族自治州荔波县茂兰自然保护区,海拔 906 m,属喀斯特地貌,中亚热带季风湿润气候,年均温 18.3°C,极端最低气温为-10°C以上,极端最高气温不超过 40°C,年降水量约 1752.5 mm。

### 1.2 实验方法

**石蜡制片:**取苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草健康的成熟叶片、根和茎,清除泥土和杂质后,放入 70% FAA 固定液中固定 48 h,主根和老茎水煮 3 h 左右用以软化。采用常规石蜡切片法<sup>[22]</sup>对处理后的叶片、根、茎进行切片,切片厚度 8 ~ 12 μm,番红-固绿对切片进行双重对染,中性树胶封片,在 Olympus BX53 型光学显微镜下观察、记录并拍照。

**叶表皮撕片:**选取固定后的成熟叶片,用单面刀片沿主脉中部横切成 5 mm × 2 mm 的小条,放入 30% 次氯酸钠溶液中进行离析,待叶片上、下表皮分离后,分别取上、下表皮用清水洗净,平铺于载玻片上,番红染色,中性树胶封片后于 Olympus BX53 型光学显微镜下观测、拍照<sup>[23]</sup>。

**扫描电镜制片:**选取固定后的成熟叶片,沿主脉中部横切成 0.5 cm × 0.5 cm 小块,系列酒精脱水后,用双面胶带贴在盖玻片上,置于 ALPHA1-2 Ldplus 型冷冻干燥机干燥 3 h,渡膜喷金后,在扫描电镜(Hitachi S-4800)下观察并照相。

数据的测量分析:通过 ImageJ 软件对叶片各组织结构及细胞大小进行测量,在显微镜下选取 5 个视野,每个视野测定 5 个数据,计算平均值,运用 Excel 2019 进行统计,SPSS 22 软件对数据进行 t-检验,字母法标记显著性水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶的解剖结构

观察结果显示,岩生鼠尾草和苣叶鼠尾草的叶片均由表皮、叶肉、叶脉组成(图版 II: A、B)。岩生鼠尾草的叶片厚度为 284.3 ~ 665.91 μm,苣叶鼠尾草叶片厚度为 286.1 ~ 490.82 μm,岩生鼠尾草叶片厚度更大,与苣叶鼠尾草叶片厚度存在显著差异( $P < 0.05$ )(表 1)。

岩生鼠尾草和苣叶鼠尾草上下表皮均由单层细胞构成,表面覆有角质层,上表皮细胞排列紧密,呈长圆形近矩形,表面有乳头状突起(图版 II: C、D、K、L);下表皮细胞形状不规则、大小不均匀,具表皮毛和气孔(图版 II: C、D、I、J)。表皮毛有腺毛和非腺毛两种类型,腺毛无柄,数量较少,分布于叶脉周围;非腺毛主要为单细胞类型,也有单列多细胞类型,集中分布在叶脉上(图版 II: A、B、M、N)。气孔为横裂细胞型<sup>[24]</sup>,保卫细胞周围有 2 个与其长轴垂直的副卫细胞(图版 II: I、J)。苣叶鼠尾草气孔平均长 24.6 μm,平均宽 17.12 μm,气孔密度约为 275.42 个/mm<sup>2</sup>;主脉处非腺毛平均长 75.49 μm,密度约为 132.85 根/mm<sup>2</sup>。岩生鼠尾草气孔平均长 23.57 μm,平均宽 17.42 μm,气孔密度约为 313.39 个/mm<sup>2</sup>;主叶脉处非腺毛平均长 56.67 μm,密度约为 1042.17 根/mm<sup>2</sup>。两种鼠尾草上表皮细胞均大于下表皮细胞,且岩生鼠尾草叶片上、下表皮细胞、角质层厚度、气孔密度和非腺毛密度均大于苣叶鼠尾草,除下表皮角质层厚度外,它们之间的差异显著( $P < 0.05$ )(图版 II, 表 1)。

岩生鼠尾草和苣叶鼠尾草叶肉均有栅栏组织和海绵组织的分化,苣叶鼠尾草的栅栏组织由 2 层长圆形细胞组成,含叶绿体较多,第 1 层细胞较第 2 层排列紧密且长;海绵组织由 4 ~ 5 层形状不规则的薄壁细胞组成,排列疏松,细胞间隙大,与气孔相通。岩生鼠尾草栅栏组织由 3 层长柱形细胞组成,含大量叶绿体,前 2 层细胞排列紧密,余下一

表 1 苦苣苔鼠尾草和岩生鼠尾草叶片表皮结构特征  
Table 1 Structural characteristics of leaf epidermis of *Salvia sonchifolia* and *S. petrophila*

物种 Species	叶片厚度 / $\mu\text{m}$ Leaf thickness	表皮结构 Epidermal structure		
		上表皮厚度 / $\mu\text{m}$ Thickness of upper epidermis	下表皮厚度 / $\mu\text{m}$ Thickness of lower epidermis	上表皮角质层厚度 / $\mu\text{m}$ Cuticle thickness of upper epidermis
苦苣苔鼠尾草 <i>Salvia sonchifolia</i>	359.63 $\pm$ 22.58a	30.03 $\pm$ 1.87a	16.34 $\pm$ 0.58a	3.95 $\pm$ 0.23a
岩生鼠尾草 <i>Salvia petrophila</i>	543.49 $\pm$ 42.34b	39.56 $\pm$ 2.38b	14.81 $\pm$ 0.73b	5.77 $\pm$ 0.36b
物种 Species		表皮结构 Epidermal structure		
		下表皮角质层厚度 / $\mu\text{m}$ Cuticle thickness of lower epidermis	气孔密度 / 个 / $\text{mm}^2$ Stomatal density	非腺毛密度 / 根 / $\text{mm}^2$ Density of non-glandular hair
苦苣苔鼠尾草 <i>Salvia sonchifolia</i>		2.32 $\pm$ 0.13a	275.42 $\pm$ 31.46a	132.85 $\pm$ 12.46a
岩生鼠尾草 <i>Salvia petrophila</i>		2.72 $\pm$ 0.20a	313.39 $\pm$ 10.81b	1042.17 $\pm$ 106.15b

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significance at 0.05 level. Same below.

层细胞较短, 排列较疏松; 海绵组织 5 ~ 8 层, 细胞形状不规则, 大小不均匀, 排列疏松, 与气孔相通。两种鼠尾草海绵组织厚度均大于栅栏组织厚度, 岩生鼠尾草栅栏组织厚度、海绵组织厚度以及栅海比都显著大于苦苣苔鼠尾草 ( $P < 0.05$ ) (图版 II: C、D, 表 2)。

岩生鼠尾草和苦苣苔鼠尾草叶片主脉都含有厚角组织、薄壁组织及单个维管束, 维管束形状为月牙形, 为外韧型维管束。两种植物主脉均在下表皮处明显凸起, 近轴端为木质部, 远轴端为韧皮部, 木质部体积明显大于韧皮部体积。木质部每列导管与 1 ~ 2 列薄壁细胞相间排列, 木质部与韧皮部间有 1 ~ 2 层能短期活动的形成层细胞排列成弧形。岩生鼠尾草主叶脉的木质部和韧皮部厚度均大于苦苣苔鼠尾草, 且它们之间的差异显著 ( $P < 0.05$ ) (图版 II: E、F, 表 2)。

## 2.2 根的解剖结构

本研究发现, 苦苣苔鼠尾草和岩生鼠尾草的根均为直根系, 主根圆锥形, 横切面近似圆形, 初生结构由表皮、皮层、中柱组成(图版 III: A、B)。表皮为 1 层被挤毁但尚未脱落的黑褐色细胞, 皮层由 3 ~ 5 层形状不规则、排列较疏松的薄壁细胞组成, 内皮层由 1 层薄壁细胞紧密排列组成, 具凯氏带; 中柱由中柱鞘、初生韧皮部和初生木质部构成。苦苣苔鼠尾草中柱鞘由一层细胞壁增厚、体积较大的细胞组成, 初生木质部 2 束, 为二原型, 初生韧皮部和初生木质部相间排列, 木质部狭长, 无髓(图版 III: A、C)。岩生鼠尾草内皮层细胞体积较大、紧密排列(图版 III: D), 中柱鞘细胞壁增厚、

体积较小于内皮层细胞, 木质部粗壮, 为二原型, 中央有髓(图版 III: B)。

苦苣苔鼠尾草与岩生鼠尾草根的次生结构由外向内依次为周皮、次生韧皮部、维管形成层和次生木质部(图版 III: E、F)。苦苣苔鼠尾草周皮的栓内层由 1 ~ 2 层薄壁细胞组成, 木栓形成层由 1 层细胞组成, 木栓层由 4 ~ 5 层栓质化程度很高的细胞组成, 细胞形状近似方形, 外侧多数细胞已不能清晰辨认(图版 III: G)。而岩生鼠尾草周皮发达, 结构清晰, 周皮最内侧为栓内层, 由 1 ~ 2 层偏方形的薄壁细胞组成, 木栓形成层由 1 ~ 2 层扁方形细胞组成, 其木栓层由 6 ~ 8 层木栓细胞组成, 细胞相较于木栓形成层细胞更扁, 排列紧密, 外侧部分细胞脱落(图版 III: H)。苦苣苔鼠尾草和岩生鼠尾草根的次生韧皮部由大量形状近圆形、较小、排列紧密的韧皮薄壁细胞和少量的筛管、伴胞、韧皮纤维组成(图版 III: E、F)。次生韧皮部占根横切面大部分面积, 薄壁细胞内含淀粉粒(图版 III: G、H)。维管形成层由 2 ~ 4 层较小的扁平细胞构成。次生木质部由导管、管胞、木薄壁细胞、木射线组成, 导管细胞近圆形, 细胞壁较厚, 孔径大小不一, 分布频率高(图版 III: I、J)。

## 2.3 茎的解剖结构

苦苣苔鼠尾草和岩生鼠尾草的茎在花期抽薹长出, 均为四棱型, 由表皮、皮层、维管柱 3 部分组成(图版 IV: A、B)。表皮均由 1 层体积较小、排列紧密、外壁角质化的扁平细胞构成, 具有表皮毛。表皮毛有腺毛和非腺毛两种类型, 腺毛为头状腺毛, 由柄细胞和头细胞组成, 非腺毛形似锥形,

表 2 莛叶鼠尾草和岩生鼠尾草叶肉和主脉结构特征  
Table 2 Characteristics of mesophyll structure and main vein of *Salvia sonchifolia* and *S. petrophila*

物种 Species	叶肉结构 Mesophyll structure			主脉结构 Main leaf vein		
	栅栏组织厚度 / $\mu\text{m}$ Palisade tissue thickness	海绵组织厚度 / $\mu\text{m}$ Spongy tissue thickness	栅海比 Ratio of palisade to spongy tissue	韧皮部厚度 / $\mu\text{m}$ Phloem thickness	形成层厚度 / $\mu\text{m}$ Cambium thickness	木质部厚度 / $\mu\text{m}$ Xylem thickness
苣叶鼠尾草	99.00 $\pm$ 5.07a	206.09 $\pm$ 10.47a	0.44 $\pm$ 0.01a	28.91 $\pm$ 1.95a	17.32 $\pm$ 0.86a	65.39 $\pm$ 3.48a
岩生鼠尾草	181.51 $\pm$ 13.67b	327.03 $\pm$ 22.28b	0.50 $\pm$ 0.03b	48.87 $\pm$ 4.00b	21.89 $\pm$ 3.03a	89.78 $\pm$ 5.52b

由表皮细胞向外突起形成，有单细胞和多细胞类型（图版IV：C、D）。皮层由2~4层体积较小、排列紧密、含较多叶绿体的厚角细胞和多层次体积较大、排列较疏松、含有少量叶绿体的薄壁细胞组成。在茎的棱角处，厚角细胞最丰富，层数增多，排列更加紧密，对茎起到主要的机械支持作用（图版IV：E、F）。

苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草茎部维管柱结构相同，由维管束、髓射线和髓组成。维管束在茎部排列为间断环形，分布于棱角处的维管束最大最发达，维管束类型为外韧维管束，由韧皮纤维、初生韧皮部、形成层和初生木质部组成（图版IV：E、F）。韧皮纤维由4~6层排列紧密的厚壁细胞组成，初生韧皮部由近圆形的韧皮薄壁细胞组成，木质部较宽，由4~8层细胞组成，主要由导管、薄壁细胞组成，导管分子排列成束，呈辐射状分布在薄壁细胞之间。韧皮部与木质部之间的维管形成层由1~2层较小且排列紧密的扁方形细胞组成（图版IV：G、H）。髓位于茎中央，占据了茎横切面大部分面积，由多数大小不等、具细胞间隙的薄壁细胞组成。

### 3 讨论

#### 3.1 苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草营养器官的结构特征差异

植物营养器官的解剖学特征常作为植物鉴定和分类学研究的重要依据并得到广泛应用<sup>[25, 26]</sup>。例如，毛茛科植物营养器官角质层的厚度可以用于鉴定和区分毛茛科唐松草属(*Thalictrum*)部分植物，根皮层结构及叶片气孔分布可以用于区分驴蹄草属(*Caltha*)与金莲花属(*Trollius*)植物<sup>[6]</sup>。周守标等<sup>[26]</sup>对石蒜属(*Lycoris*)12种植物进行了叶解剖结构的观察比较，结果发现叶表皮上有无明显乳突、栅海比和维管束的数量等特征可以为该属植物种间鉴别提供依据。

在鼠尾草属植物的鉴定与分类研究中，营养器官的解剖学特征也被广泛应用。王萌等<sup>[27]</sup>研究了丹参(*S. miltiorrhiza* Bunge)及其近缘种植物在根部显微结构上的差异，发现根部落皮层的有无、木栓层厚度及木栓化程度、木质部导管数量、孔径大小及排列方式上有差异，可以作为鉴别丹参及其近缘种的重要依据。本研究发现，岩生鼠尾草和苣叶鼠尾草在根和叶的解剖结构特征上存在明显差异。苣叶鼠尾草根初生结构无髓，岩生鼠尾草根的初生结构中有髓。在叶片解剖结构中，岩生鼠尾草叶肉栅栏组织由3层长柱形细胞组成，苣叶鼠尾草栅栏组织仅2层短柱形细胞。并且岩生鼠尾草的叶片厚度、上、下表皮厚度、上表皮角质层厚度、气孔密度、非腺毛密度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、主叶脉韧皮部和木质部厚度等结构特征均显著大于苣叶鼠尾草。其中根的初生结构是否有髓、叶的栅栏组织层数、叶片非腺毛密度这些解剖结构特征可以为两种鼠尾草的鉴定提供依据。

#### 3.2 苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草营养器官结构特征对环境的适应性

苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草在根、茎、叶解剖结构上都具有适应旱生环境的结构特征。叶片是植物进化过程中对环境变化较为敏感且可塑性较大的器官，其结构特征最能直观体现植物对环境的适应<sup>[28]</sup>。苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草的叶均为异面叶，上、下表皮覆有较厚角质层，上表皮细胞有乳头状突起，表皮毛和气孔只分布于下表皮，气孔下具较大的孔下室。已有研究表明，叶片具角质层、表皮细胞表面的凸起和表皮毛可以反射强光，保护植物免受强光的伤害以及减少叶片表面空气的流动，降低蒸腾作用，防止水分过度散失<sup>[29, 30]</sup>。气孔器分布于下表皮，既可促进植物与外界环境气体交换，又能保持水分，气孔具有较大的孔下室还可造成较湿润的小环境，从而减少叶肉蒸腾水分<sup>[31]</sup>。苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草在根的解剖结构上也具有适应

旱生环境的结构特征。相关研究表明, 根的次生结构中周皮发达, 可控制水分散失、热量传递, 也可防止外界因素对其内部组织的机械损伤。同时, 周皮木栓层细胞的主要成分是脂类物质, 具不透气和不透水性, 构成质外体运输屏障, 保证了内部代谢活动的正常进行<sup>[32~34]</sup>。岩生鼠尾草根部周皮发达, 保护作用强, 可防止根内部水分的过度失散以及抵抗病虫害侵袭, 也可保护根部免受外界因素对其内部结构的机械损伤<sup>[35]</sup>。岩生鼠尾草和苣叶鼠尾草根部次生韧皮部发达, 占根横切面大部分面积, 韧皮薄壁细胞多, 内含淀粉粒, 使其在逆境胁迫时可以消耗自身储存物以保证细胞正常的生命活动, 还提高了细胞内的渗透压, 增强根部吸收和保持水分的能力<sup>[36, 37]</sup>。两者根次生木质部中导管数量多、孔径大小不一、分布频率高、管壁薄, 保证了其高效的输导能力和安全性<sup>[34]</sup>。这些结构特征是根部对干旱生境的适应。此外茎部发达的髓具有储水功能, 保护了维管组织免受干旱的影响<sup>[38]</sup>, 茎皮层分布大量的厚角组织, 这些结构特征对其在干旱条件下限制水分丧失、增强抗旱性有积极作用, 有助于植株适应干旱环境, 保证了植物能够在恶劣环境下生存<sup>[39]</sup>。这些结构特征均是苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草对阳生和旱生环境的适应。

苣叶鼠尾草叶肉栅栏组织排列较紧密, 含大量叶绿体, 海绵组织疏松, 细胞间隙较大, 栅海比值低, 为0.45, 气孔下具较大的孔下室, 这种结构特征有利于叶片内的气体交换和贮存, 增强了叶片对CO<sub>2</sub>的摄入, 使其在通气较差和弱光环境下能够更有效地进行光合作用<sup>[31]</sup>, 以适应阴生环境。苣叶鼠尾草的栅栏细胞、海绵细胞间隙较岩生鼠尾草大, 栅栏细胞高度显著降低, 宽度显著增加, 该结构特征可在叶肉内产生大量的散射光, 提高叶绿体对光的吸收能力, 是对弱光条件的适应<sup>[40]</sup>, 这些结构特征表明苣叶鼠尾草对阴生和弱光环境有较强的适应性。

研究表明, 叶片越厚含水量越高, 在低温条件下可以延缓叶片受到的损害<sup>[41]</sup>。叶片上、下表皮厚度、栅栏组织和海绵组织厚度的增加也是植物对低温环境的适应结果<sup>[42, 43]</sup>。本研究结果显示, 岩生鼠尾草的叶片厚度、上表皮厚度和角质层厚度、栅栏组织厚度均显著大于苣叶鼠尾草, 表明岩生鼠尾草比苣叶鼠尾草更适应低温环境。这与苣叶鼠尾

草和岩生鼠尾草的现有分布情况相符。苣叶鼠尾草分布于我国滇桂黔交界处以及越南北部的石灰岩地区<sup>[4]</sup>, 其分布区域与南亚热带交汇, 属亚热带季风湿润气候, 夏季高温多雨, 冬季温暖湿润, 雨热同期。岩生鼠尾草分布于贵州荔波县茂兰国家级自然保护区和广西环江县木伦国家级自然保护区内, 地处中亚热带季风湿润气候区, 四季分明, 冬季寒冷, 极端最高温度不高于40℃, 极端最低气温在-10℃以上, 四季气温普遍低于苣叶鼠尾草的分布地区。说明苣叶鼠尾草较岩生鼠尾草更喜温暖潮湿的环境, 对低温环境的适应性较低, 这与罗广令等<sup>[4]</sup>对苣叶鼠尾草分布预测的限制因子结果一致。

**致谢:** 感谢广西植物研究所刘演教授提供岩生鼠尾草整体植株照片, 黔西南布依族苗族自治州望谟县林业和草原局韦堂航协助野外调查。

## 参考文献:

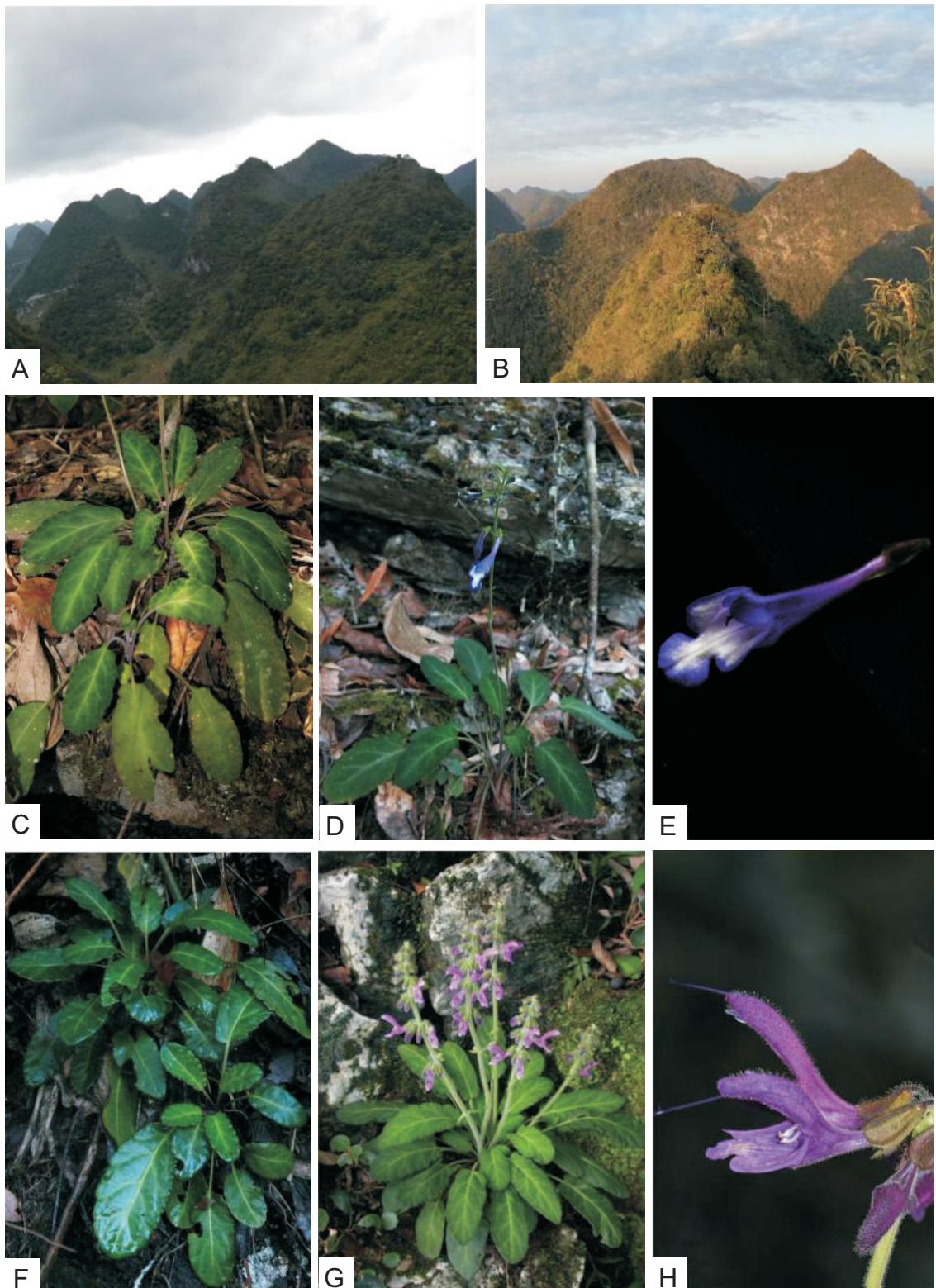
- 吴征镒, 孙雄才. 鼠尾草属[M]//吴征镒, 李锡文. 中国植物志, 第66卷. 北京: 科学出版社, 1977: 70~196.
- Hu GX, Liu Y, Xu WB, Liu ED. *Salvia petrophila* sp. nov. (Lamiaceae) from north Guangxi and south Guizhou, China[J]. *Nord J Bot*, 2014, 32(2): 190~195.
- Hu GX, Atsuko T, Bryan TD, Liu EN, Soltis DE, Soltis PS. Phylogeny and staminal evolution of *Salvia* (Lamiaceae, Nepetoideae) in East Asia[J]. *Ann Bot*, 2018, 122(4): 649~668.
- 罗广令, 顾丽, 廖海民, 胡国雄. 唇形科苣叶鼠尾草的新分布及适生分布区预测[J]. 西北植物学报, 2021, 41(3): 501~508.
- Luo GL, Gu L, Liao HM, Hu GX. New record of *Salvia sonchifolia* (Lamiaceae) and prediction of its suitable distribution areas [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2021, 41(3): 501~508.
- 孙雪芹, 刘玫, 孙天航, 张欣欣, 史传奇. 东北堇菜属植物叶形态结构的研究及其分类学价值的探讨[J]. 草业学报, 2014, 23(2): 223~234.
- Sun XQ, Liu M, Sun TH, Zhang XX, Shi CQ. Morphological study of the leaf structures of *Violain* northeastern China and discussions of their taxonomic values (Violaceae)[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(2): 223~234.
- 程薪宇, 刘玫, 张欣欣, 王臣, 李滨胜. 东北毛茛科植物营养器官结构及其系统学意义[J]. 草业学报, 2014, 23(3): 62~74.
- Cheng XY, Liu M, Zhang XX, Wang C, Li BS. Vegetative organ structures of Ranunculaceae in Northeastern China and notes on systematic implications[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(3): 62~74.

- [ 7 ] 孙天航, 刘政, 孙雪芹, 程薪宇, 茹剑. 东北委陵菜属植物叶形态结构的研究及其分类学价值的探讨 [J]. 草业学报, 2014, 23(3): 75–84.  
Sun TH, Liu M, Sun XQ, Cheng XY, Ru J. Morphological study of the leaf structures of *Potentilla* in Northeastern China and its taxonomic value ( Rosaceae ) [ J ]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(3): 75–84.
- [ 8 ] 白上圆. 金银花及其近缘种金银忍冬的鉴别研究 [D]. 开封: 河南大学, 2020: 9–12.
- [ 9 ] Ozdemir C, Baran P, Aktas K. Anatomical studies in *Salvia viridis* L. ( Lamiaceae ) [ J ]. *Bangladesh J Plant Taxon*, 2009, 16(1): 65–71.
- [ 10 ] 梁莉. 东北唇形科植物比较形态学及其分类学意义 ( Lamiaceae ) [D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2013: 8–41.
- [ 11 ] 沈文华, 石建明, 徐玲玲, 冯旭东, 关萍. 贵州省常见唇形科植物茎和叶比较解剖学研究 [J]. 西北植物学报, 2016, 36(1): 59–69.  
Shen WH, Shi JM, Xu LL, Feng XD, Guan P. Comparative anatomy on the stem and leaf of common Lamiaceae species in Guizhou [ J ]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, 36(1): 59–69.
- [ 12 ] 王萌, 李国锐. 四川鼠尾草属植物的形态学特征比较研究 [J]. 园艺与种苗, 2016(7): 13–18.  
Wang M, Li GR. Comparative study on morphological characters among genus *Salvia* in Sichuan [ J ]. *Horticulture and Seed*, 2016(7): 13–18.
- [ 13 ] 刘瑞振. 野生丹参种质资源遗传与形态多样性初步研究 [D]. 杭州: 浙江理工大学, 2017: 46–57.
- [ 14 ] 王涛, 刘世勇, 王龙, 王红玉, 张利. 11 种鼠尾草属叶片和叶柄解剖特征及其分类学意义 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(14): 2629–2634.  
Wang T, Liu SY, Wang L, Wang HY, Zhang L. Anatomical characteristics of laminae and petioles of 11 species of *Salvia* and their taxonomic significance [ J ]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2014, 39(14): 2629–2634.
- [ 15 ] 王涛, 刘世勇, 王龙, 王红玉, 张利. 18 种 (1 变型) 鼠尾草属植物叶表皮及表皮毛微形态特征研究 [J]. 广西植物, 2015, 35(2): 178–186.  
Wang T, Liu SY, Wang L, Wang HY, Zhang L. Leaf epidermal and epidermal hair micromorphology of 18 species ( 1 forma ) *Salvia* species [ J ]. *Guizhou University*, 2015, 35(2): 178–186.
- [ 16 ] Atalay Z, Celep F, Bara F, Doğan M. Systematic significance of anatomy and trichome morphology in *Lamium* ( Lamioideae; Lamiaceae ) [ J ]. *Flora*, 2016, 225: 60–75.
- [ 17 ] 胡国雄. 唇形科鼠尾草属东亚分支的分子系统学研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2015: 35–76.
- [ 18 ] 吴志军. 苓叶丹参脂溶性化学成分 [J]. 中国中药杂志, 2001, 26(4): 264–265.  
Wu ZJ. Lipid chemical constituents of *Salvia sonchifolia* C. © Plant Science Journal
- [ 19 ] Y. Wu [ J ]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2001, 26(4): 264–265.
- [ 20 ] Zou ZQ, Ning DS, Liu Y, Fu YX, Li LC, Pan ZH. Five new germacrane sesquiterpenes with anti-inflammatory activity from *Salvia petrophila* [ J ]. *Phytochem Lett*, 2022, 47: 111–114.
- [ 21 ] 朱栗琼, 徐艳霞, 招礼军, 袁娟, 杨丽梅. 喀斯特地区莎叶兰的解剖构造及其环境适应性 [J]. 广西植物, 2016, 36(10): 1179–1185.  
Zhu LQ, Xu YX, Zhao LJ, Yuan J, Yang LM. Anatomical structure and environmental adaptability of *Cymbidium cyperifolium* in karst area [ J ]. *Guizhou University*, 2016, 36(10): 1179–1185.
- [ 22 ] 李正理. 植物制片技术 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 10–15.
- [ 23 ] 吴丽君, 李志辉, 杨模华, 王佩兰. 赤皮青冈幼苗叶片解剖结构对干旱胁迫的响应 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3619–3626.  
Wu LJ, Li ZH, Yang MH, Wang PL. Response of leaf anatomical characteristics of *Cyclobalanopsis gilva* seedlings to drought stress [ J ]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(12): 3619–3626.
- [ 24 ] 胡正海. 植物解剖学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 100–101.
- [ 25 ] 吴志瑰, 付小梅, 葛菲, 褚小兰, 范崔生. 金粟兰属 5 种植物叶的形态与显微鉴别比较研究 [J]. 中国中药杂志, 2013, 38(2): 171–173.  
Wu ZG, Fu XM, Ge F, Chu XL, Fan CS. Comparative research on histological and microscopical leaves characters of five species in *Chloranthus* [ J ]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2013, 38(2): 171–173.
- [ 26 ] 周守标, 罗琦, 李金花, 王影. 石蒜属 12 种植物叶片比较解剖学研究 [J]. 植物分类与资源学报, 2006, 28(5): 473–480.  
Zhou SB, Luo Q, Li JH, Wang Y. Comparative anatomy of leaves in 12 species of *Lycoris* ( Amaryllidaceae ) [ J ]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2006, 28(5): 473–480.
- [ 27 ] 王萌, 张利, 赵红霞, 万德光. 中药丹参及其近缘种植物根的显微鉴定 [J]. 药物分析杂志, 2010, 4(23): 647–650.  
Wang M, Zhang L, Zhao HX, Wang DG. Microscopic identification of roots of Chinese herb *Salvia miltiorrhiza* and its relative species [ J ]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2010, 4(23): 647–650.
- [ 28 ] 孙晓红, 杨春娇, 张大才. 西藏东达山 3 种嵩草属植物叶片解剖结构的比较 [J]. 西南林业大学学报 ( 自然科学 ), 2019, 39(5): 58–65.  
Sun XH, Yang CJ, Zhang DC. Comparison of leaf anatomical structure of 3 species of *Kobresia* in the Dongda

- Mountains, Tibet [J]. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences)*, 2019, 39(5): 58–65.
- [29] 王玉, 赵虎, 潘香香. 青钱柳营养器官的解剖结构及其生态适应性[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(10): 40–44.
- Wang Y, Zhao H, Fu XX. Anatomical structures of vegetative organs of *Cyclocarya paliurus* and its ecological adaptability [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2011, 39(10): 40–44.
- [30] Bosabalidis AM, Kofidis G. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars [J]. *Plant Sci*, 2002, 163(2): 375–379.
- [31] 刘雄盛, 肖玉菲, 王勇, 黄荣林, 姜英, 等. 江南油杉营养器官的解剖结构及其生态适应性[J]. 植物科学学报, 2020, 38(1): 39–46.
- Liu XS, Xiao YF, Wang Y, Huang RL, Jiang Y, et al. Anatomical structures of vegetative organs of *Keteleeria fortunei* (Murr.) Carr. var. *cyclolepis* (Flous) Silba and its ecological adaptability [J]. *Plant Science Journal*, 2020, 38(1): 39–46.
- [32] 李凤英, 梁士楚. 元宝山南方红豆杉的解剖结构及其环境适应性[J]. 广西植物, 2013, 33(2): 219–224.
- Li FY, Liang SC. Anatomical structure and environmental adaptability of *Taxus wallichiana* var. *mairei* in yuanbaoshan [J]. *Guizhou Botany*, 2013, 33(2): 219–224.
- [33] 汪攀, 陈奶奶, 邹显花, 马祥庆, 吴鹏飞. 植物根系解剖结构对逆境胁迫响应的研究进展[J]. 生态学杂志, 2015, 34(2): 550–556.
- Wang P, Chen NL, Zou XH, Ma XQ, Wu PF. Research progress on adaptive responses of anatomical structure of plant roots to stress [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(2): 550–556.
- [34] 刘雄盛, 肖玉菲, 蒋燚, 李娟, 林建勇, 梁瑞龙. 闽楠营养器官的解剖结构及其生态适应性[J]. 植物科学学报, 2018, 36(2): 153–161.
- Liu XS, Xiao YF, Jiang Y, Li J, Lin JY, Liang RL. Anatomical structures of the vegetative organs of *Phoebe bournei* (Hemsl.) Yang and ecological adaptability [J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36(2): 153–161.
- [35] 李凤英, 唐绍清, 李先琨. 南方红豆杉气生不定根的解剖结构及发育[J]. 海南大学学报, 2007, 25(2): 152–155.
- Li FY, Tang SQ, Li XK. Anatomical structure and development of aerial adventitious roots of *Taxus chinensis* var. *mairei* [J]. *Natural Science Journal of Hainan University*, 2007, 25(2): 152–155.
- [36] 丁效东, 张士荣, 宋杰, 冯固. 不同抗盐机制对柽柳适应盐渍环境的贡献[J]. 干旱区研究, 2007, 24(2): 207–212.
- Ding XD, Zhang SR, Song J, Feng G. Relative contribution of the three pathways, secretion, exclusion and accumulation of sodium to salt resistance in *Tamarix laxa* Willd [J]. *Arid Zone Research*, 2007, 24(2): 207–212.
- [37] 张翠梅, 师尚礼, 刘珍, 杨帆, 张振科. 干旱胁迫对不同抗旱性苜蓿品种根系形态及解剖结构的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(5): 79–89.
- Zhang CM, Shi SL, Liu Z, Zhang F, Yang ZK. Effects to drought stress on the root morphology and anatomical structure of alfalfa (*Medicago sativa*) varieties with different drought-tolerance [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 28(5): 79–89.
- [38] 周智彬, 李培军. 我国旱生植物的形态解剖学研究[J]. 干旱区研究, 2002, 19(1): 35–40.
- Zhou ZB, Li PJ. A review on the phytotomy research of xerophytes in China [J]. *Arid Zone Research*, 2002, 19(1): 35–40.
- [39] 秦海燕, 索志荣, 刘文静, 刘文哲. 丹参营养器官发育解剖学研究[J]. 西南科技大学学报, 2009, 24(1): 108–113.
- Qin HY, Suo ZR, Liu WJ, Liu WZ. Development anatomy of *Salvia miltiorrhiza* vegetative organs [J]. *Journal of Southwest University of Science and Technology*, 2009, 24(1): 108–113.
- [40] 吕晋慧, 王玄, 冯雁梦, 李艳锋, 赵红霞, 王媛. 遮荫对金莲花光合特性和叶片解剖特征的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(19): 6033–6043.
- Lü JH, Wang X, Feng YM, Li YF, Zhao HX, Wang Y. Effects of shading on the photosynthetic characteristics and anatomical structure of *Trollius chinensis* Bunge [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(19): 6033–6043.
- [41] 曾建亮, 邓全恩, 李建安, 程军勇, 邓先珍, 姜德志. 6个油茶品种叶片解剖结构与耐寒性的关系[J]. 经济林研究, 2020, 38(1): 117–124.
- Zeng JL, Deng QE, Li JA, Cheng JY, Deng XZ, Jiang DZ. Relationship between leaf anatomic structure and cold tolerance in six *Camellia oleifera* cultivars [J]. *Non-wood Forest Research*, 2020, 38(1): 117–124.
- [42] 李瑞雪, 金晓玲, 胡希军, 柴弋霞, 蔡梦颖, 等. 6种含笑属植物抗寒性分析与综合评价[J]. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1464–1472.
- Li RX, Jin XL, Hu XJ, Cai GX, Cai MY, et al. Analysis and comprehensive evaluation on cold resistance of six varieties of *Michelia* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(5): 1464–1472.
- [43] 谭殷殷, 金晓玲, 余秋岫, 孙凌霄. 五种含笑属植物叶片抗寒结构指标的筛选与抗寒性评价[J]. 广西植物, 2021, 41(8): 1296–1305.
- Tan YY, Jin XL, Yu QX, Sun LX. Screening of leaf cold-resistant structural indexes and cold-resistance evaluation of five *Michelia* species [J]. *Guizhou Botany*, 2021, 41(8): 1296–1305.

罗广令等: 图版 I

Luo Guang-Ling et al.: Plate I

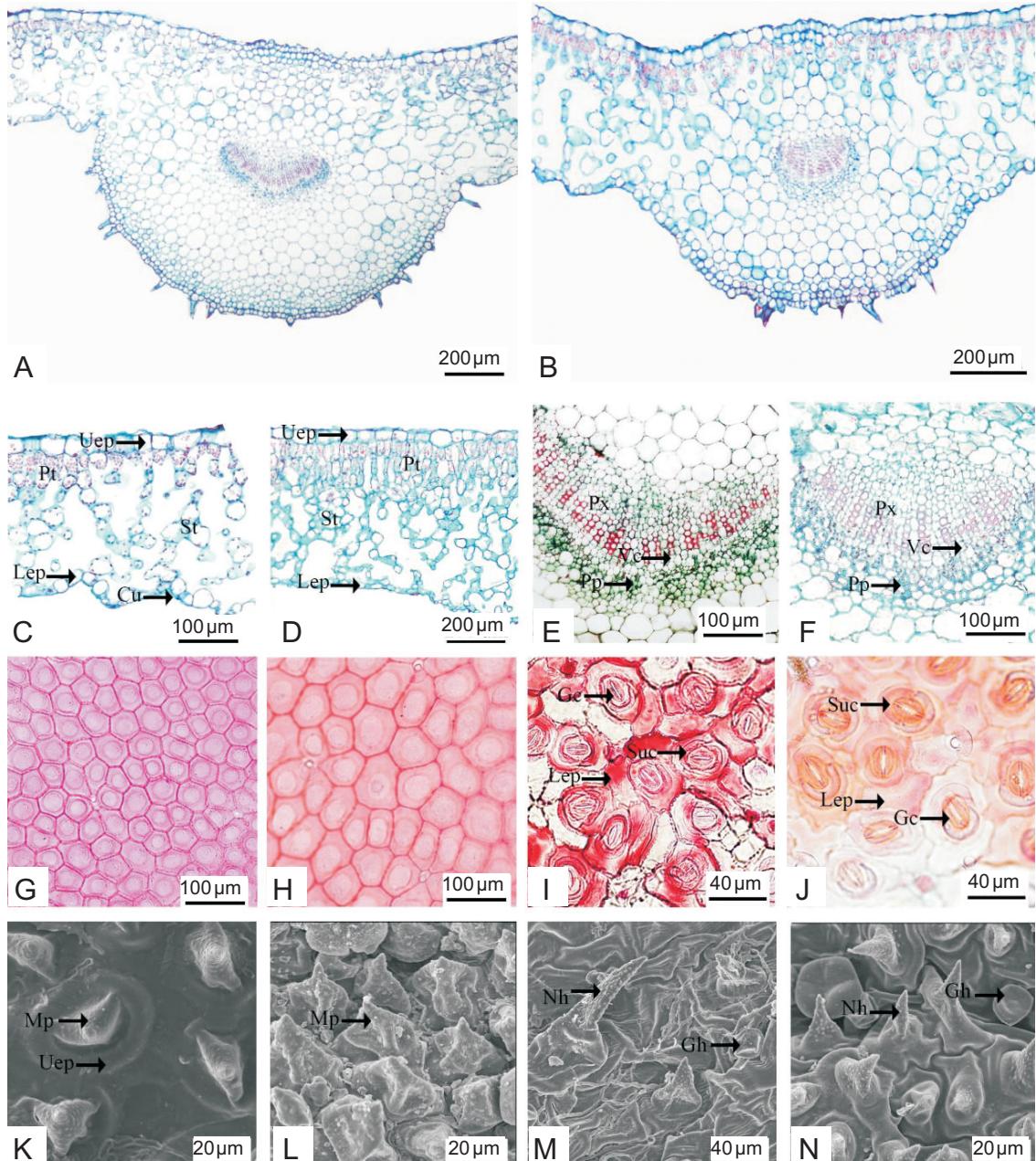


苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草的生境及形态。A: 苣叶鼠尾草的生境; B: 岩生鼠尾草的生境; C: 苣叶鼠尾草营养体; D: 苣叶鼠尾草花期; E: 苣叶鼠尾草的花; F: 岩生鼠尾草营养体; G: 岩生鼠尾草花期; H: 岩生鼠尾草的花。

Habitat and morphology of *Salvia sonchifolia* and *S. petrophila*. A: Habitat of *S. sonchifolia*; B: Habit of *S. petrophila*; C: Growth period of *S. sonchifolia*; D: Flowering period of *S. sonchifolia*; E: Flower of *S. sonchifolia*; F: Growth period of *S. petrophila*; G: Flowering period of *S. petrophila*; H: Flower of *S. petrophila*.

罗广令等: 图版 II

Luo Guang-Ling et al.: Plate II

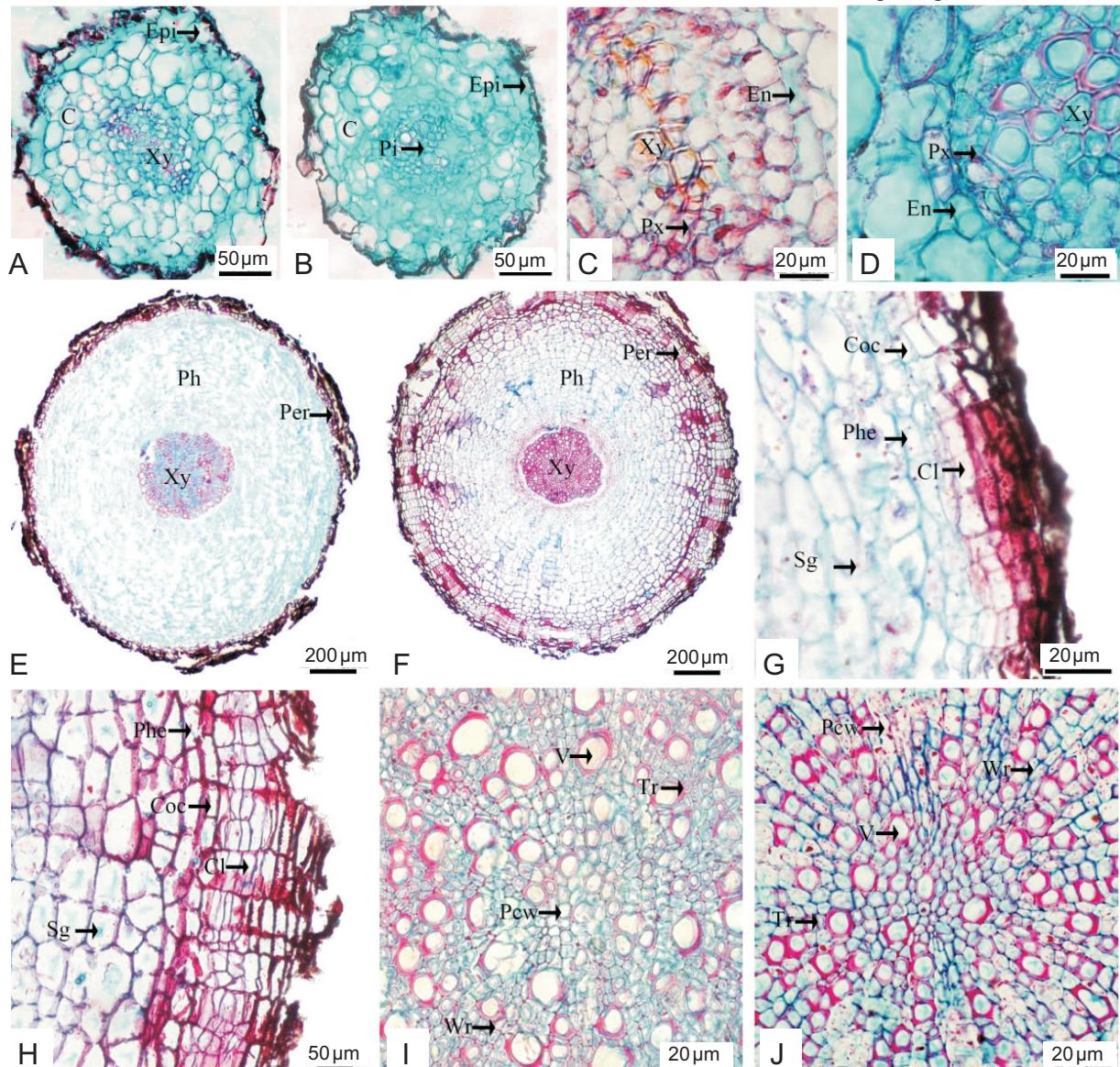


苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草叶的解剖结构。A: 苣叶鼠尾草叶主脉横切面; B: 岩生鼠尾草叶主脉横切面; C: 苣叶鼠尾草叶横切面; D: 岩生鼠尾草叶横切面; E: 苣叶鼠尾草主脉横切面, 示维管束; F: 岩生鼠尾草主脉横切面, 示维管束; G: 苣叶鼠尾草上表皮细胞; H: 岩生鼠尾草上表皮细胞; I: 苣叶鼠尾草下表皮细胞和气孔器; J: 岩生鼠尾草下表皮细胞和气孔器; K: 苣叶鼠尾草上表皮细胞, 示突起; L: 岩生鼠尾草上表皮细胞, 示突起; M: 苣叶鼠尾草下表皮, 示腺毛和非腺毛; N: 岩生鼠尾草下表皮, 示腺毛和非腺毛。Uep: 上表皮; Lep: 下表皮; Px: 初生木质部; Pp: 初生韧皮部; Vc: 维管形成层; Cu: 角质层; Pt: 栅栏组织; St: 海绵组织; Sto: 气孔; Nh: 非腺毛; Gh: 腺毛; Suc: 副卫细胞; Gc: 保卫细胞; Mp: 乳突。

Anatomical structure of leaves of *Salvia sonchifolia* and *S. petrophila*. A: Transverse section of main vein of *S. sonchifolia*; B: Transverse section of main vein of *S. petrophila*; C: Transverse section of leaf of *S. sonchifolia*; D: Transverse section of leaf of *S. petrophila*; E: Transverse section of main vein of *S. sonchifolia*, showing vascular bundle; F: Transverse section of main vein of *S. petrophila*, showing vascular bundle; G: Upper epidermis of *Salvia sonchifolia*; H: Upper epidermis of *S. petrophila*; I: Lower epidermis and stomata of *S. sonchifolia*; J: Lower epidermis and stomata of *S. petrophila*; K: Upper epidermis of *S. sonchifolia*, showing embossment; L: Upper epidermis of *S. petrophila*, showing embossment; M: Lower epidermis of *S. sonchifolia*, showing glandular hair and non-glandular hair; N: Lower epidermis of *S. petrophila*, showing glandular hair and non-glandular hair. Uep: Upper epidermis; Lep: Lower epidermis; Px: Primary xylem; Pp: Primary phloem; Vc: Vascular cambium; Cu: Cuticle; Pt: Palisade tissue; St: Spongy tissue; Sto: Stomata; Nh: Non-glandular hair; Gh: Glandular hair; Suc: Subsidiary cell; Gc: Guard cell; Mp: Mastoid process.

罗广令等: 图版 III

Luo Guang-Ling et al.: Plate III

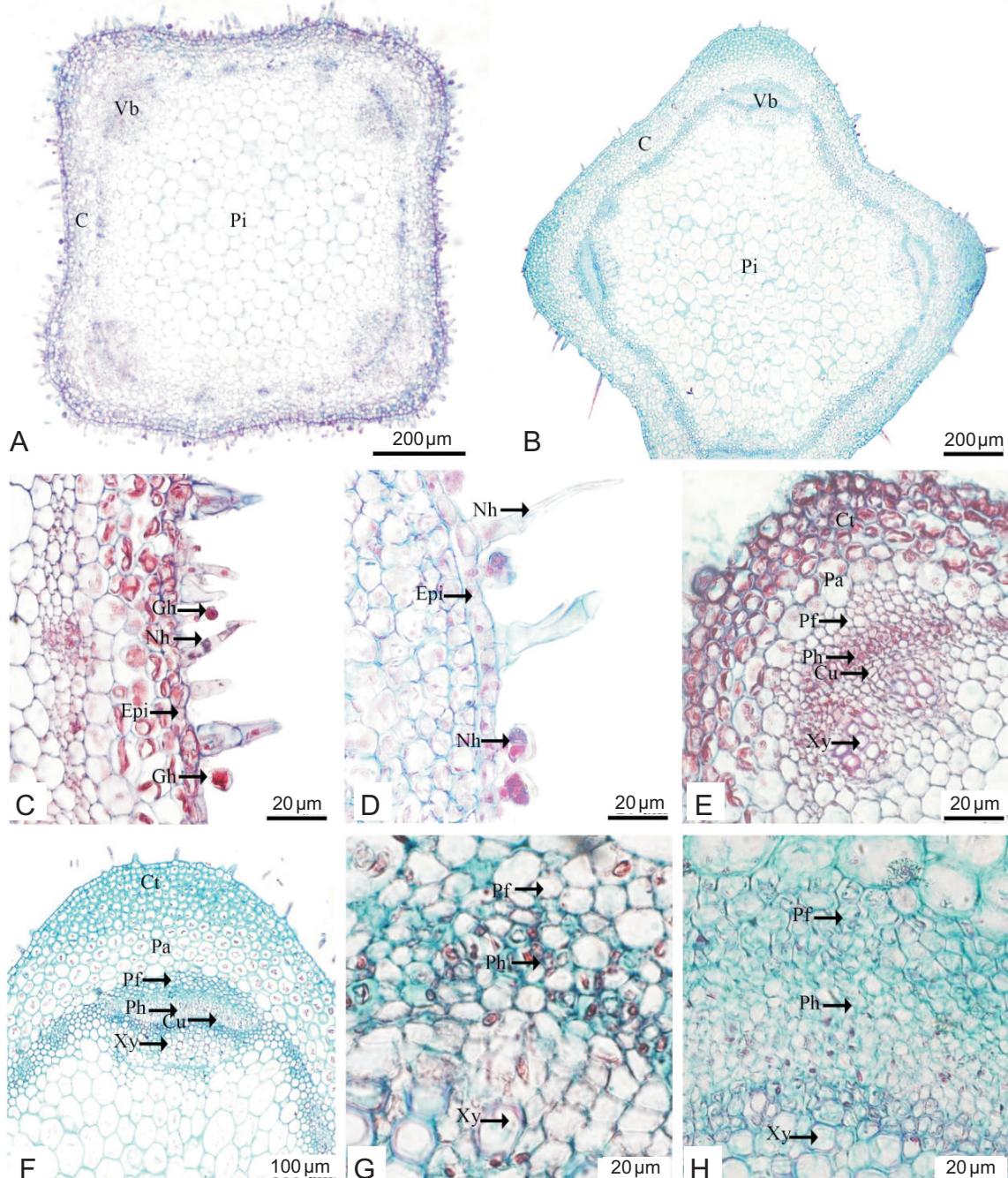


苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草根的解剖结构。A: 苣叶鼠尾草根的初生结构; B: 岩生鼠尾草根的初生结构; C: 苣叶鼠尾草根的初生结构, 示内皮层和木质部; D: 苣叶鼠尾草根的初生结构, 示内皮层和木质部; E: 苣叶鼠尾草根的次生结构; F: 岩生鼠尾草根的次生结构, 示周皮和韧皮部; G: 苣叶鼠尾草根的次生结构, 示周皮和韧皮部; H: 岩生鼠尾草根的次生结构, 示周皮和韧皮部; I: 苣叶鼠尾草根的次生结构, 示木质部; J: 岩生鼠尾草根的次生结构, 示木质部。Epi: 表皮; C: 皮层; En: 内皮层; Px: 初生木质部; Pp: 初生韧皮部; Per: 周皮; Cl: 木栓层; Coc: 木栓形成层; Phe: 栓内层; Ph: 韧皮部; Xy: 木质部; Sg: 淀粉粒; V: 导管; Tr: 管胞; Pa: 薄壁细胞; Ca: 形成层; Pcw: 木薄壁细胞; Wr: 木射线。

Anatomical structure of roots of *Salvia sonchifolia* and *S. petrophila*. A: Primary structure of root of *S. sonchifolia*; B: Primary structure of root of *S. petrophila*; C: Primary structure of root of *S. sonchifolia*, showing endodermis and xylem; D: Primary structure of root of *S. petrophila*, showing endodermis and xylem; E: Secondary structure of root of *S. sonchifolia*; F: Secondary structure of root of *S. petrophila*; G: Secondary structure of root of *S. sonchifolia*, showing phloem and periderm; H: Secondary structure of root of *S. petrophila*, showing phloem and periderm; I: Secondary structure of root of *S. sonchifolia*, showing xylem; J: Secondary structure of root of *S. petrophila*, showing xylem. Epi: Epidermis; C: Cortex; En: Endodermis; Px: Primary xylem; Pp: Primary phloem; Per: Periderm; Cl: Cork layer; Coc: Cork cambium; Phe: Phellogen layer; Ph: Phloem; Xy: Xylem; Sg: Starch grain; V: Vessel; Tr: Tracheid; Pa: Parenchyma cell; Ca: Cambium; Pcw: Parenchyma cells of wood; Wr: Wood ray.

罗广令等: 图版IV

Luo Guang-Ling et al.: Plate IV



**苣叶鼠尾草和岩生鼠尾草茎的解剖结构。**A: 苣叶鼠尾草茎的横切面; B: 岩生鼠尾草茎的横切面; C: 苣叶鼠尾草茎的横切面, 示腺毛和非腺毛; D: 岩生鼠尾草茎的横切面, 示腺毛和非腺毛; E: 苣叶鼠尾草茎的横切面, 示皮层和维管束; F: 岩生鼠尾草茎的横切面, 示皮层和维管束; G: 苣叶鼠尾草茎的横切面, 示韧皮部; H: 岩生鼠尾草茎的横切面; 示韧皮部。Epi: 表皮; C: 皮层; Ph: 韧皮部; Pf: 韧皮纤维; Xy: 木质部; Vb: 维管束; V: 导管; Ct: 厚角组织; Pa: 薄壁细胞; Ca: 形成层; Pi: 髓; Gh: 腺毛; Nh: 非腺毛。

Anatomical structure of stems of *Salvia sonchifolia* and *S. petrophila*. A: Transverse section of stem of *S. sonchifolia*; B: Transverse section of stem of *S. petrophila*; C: Transverse section of stem of *S. sonchifolia*, showing glandular hair and non-glandular hair; D: Transverse section of stem of *S. petrophila*, showing glandular hair and non-glandular hair; E: Transverse section of stem of *S. sonchifolia*, showing cortex and vascular bundle; F: Transverse section of stem of *S. petrophila*, showing cortex and vascular bundle; G: Transverse section of stem of *S. sonchifolia*, showing phloem; H: Transverse section of stem of *S. petrophila*, showing phloem. Epi: Epidermis; C: Cortex; Ph: Phloem; Pf: Phloem fiber; Xy: Xylem; Vb: Vascular bundle; V: Vessel; Ct: Collenchyma tissue; Pa: Parenchyma cell; Ca: Cambium; Pi: Pith; Gh: Glandular hair; Nh: Non-glandular hair.

(责任编辑:周媛)