植物学通报 2001，18（5）：615～622
Chinese Bulletin of Botany

六种苏铁属植物的羽片比较解剖学研究①

唐源江 廖景平
（中国科学院华南植物研究所 广州 510650）

摘要 研究了锈毛苏铁（*Cycas ferruginea*）、石山苏铁（*C. miquelii*）、四川苏铁（*C. szechuanensis*）、海南苏铁（*C. hainanensis*）、仙湖苏铁（*C. fairylakea*）和贵州苏铁（*C. guizhouensis*）等六种苏铁属植物羽片的比较解剖学，结果显示锈毛苏铁与石山苏铁在下皮层厚壁细胞、海绵组织中含晶细胞、中脉隆起、叶缘形态、韧皮部形态及分泌道的有无等特征上具有较明显的差异；四川苏铁与海南苏铁和仙湖苏铁非常相近；海南苏铁与仙湖苏铁基本一致；贵州苏铁在中脉隆起、叶缘形态、韧皮部形态等方面与四川苏铁、海南苏铁及仙湖苏铁三者有差异。支持将锈毛苏铁、石山苏铁独立为种的观点，并认为海南苏铁与仙湖苏铁不能区分。四川苏铁与海南苏铁和仙湖苏铁具有较近的种系关系，贵州苏铁与其它种的种系关系相对较远。

关键词 苏铁，羽片，解剖学

Studies on Comparative Anatomy of the Pinnae of Six Species of *Cycas*

TANG Yuan-Jiang LIAO Jing-Ping
（*South China Institute of Botany*, *Academia Sinica*, Guangzhou 510650）

Abstract The comparative anatomy of the pinnae of six species, namely, *Cycas ferruginea*, *C. miquelii*, *C. szechuanensis*, *C. hainanensis*, *C. fairylakea* and *C. guizhouensis* in China, was studied. The results indicate that *C. ferruginea* differs obviously from *C. miquelii* in hypodermal sclerenchymatous cells, crystal cells among the spongy cells, raised midrib region, the morphology of leaf margin and phloem, and absence or presence of secretory canal. *C. szechuanensis* is very similar to *C. hainanensis* and *C. fairylakea*, and the latter two are more close to each other. *C. guizhouensis* differs from *C. szechuanensis*, *C. hainanensis* and *C. fairylakea* in raised midrib region, the morphology of leaf margin and phloem. The view that *C. ferruginea* and *C. miquelii* are independent species is supported in this paper. The differences between *C. hainanensis* and *C. fairylakea* scarcely exist. *C. szechuanensis* is closed to *C. hainanensis* and *C. fairylakea*. *C. guizhouensis* is distant from the other species.

Key words *Cycas*, Pinnae, Anatomy

锈毛苏铁（*C. ferruginea*）（标本引证号：韦发南 2220）是韦发南于 1994 年发表的一新种，王定跃（1996a）认为该种羽片大小、质地、边缘反卷程度、叶柄和叶轴被锈毛与否均存在一定的连续变异，与其生长环境有关，因而将其作为石山苏铁（*C. miquelii*）（标本引证号：王定跃 2363）处理。陈家瑞（陈家瑞和萨仁，1998；陈家瑞，2000；Chen，1999）一直认为应为一独立种。看来两者应合并为一种还是定为两个不同种尚需进一步的研究和确证。

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t20-170

① 国家自然科学基金资助（39770061）
作者简介：唐源江，男，1966 年 9 月生，助理研究员，硕士，目前从事植物系统解剖学研究。
收稿日期：2000-12-25 接受日期：2001-03-07 责任编辑：刘 晖

海南苏铁(*C. hainanensis* C.T. Chen ex Cheng et al)(标本引证号:陈少卿 17629,王定跃、刘念 4084)是郑万钧等于 1975 年代陈家瑞发表的,他认为它与台湾苏铁(*C. taiwaniana*)的区别在于大孢子叶侧裂片数目较少等。王定跃(1996b)根据自己的调查把海南苏铁并入台湾苏铁。后来希尔与陈家瑞(1994)坚持海南苏铁为独立种,认为小叶较狭窄,排列较稀疏,种子明显较大,树干中下部常渐膨大而变光滑,与产大陆的'台湾苏铁'不同,并把台湾苏铁的中文名改称广东苏铁,以区别台湾分布的台东苏铁(*C. taitungensis*)。王定跃(1996b)根据采自栽培于中国科学院华南植物园类似四川苏铁标本发表了仙湖苏铁(*C. fairylakea* D.Y. Wang)(标本引证号:王定跃、彭晗 2937)。另外他认为广东、福建栽培的以及被有关学者鉴定为台湾苏铁的标本至少包括形态相近的三个种,即台湾苏铁、仙湖苏铁与四川苏铁(*C. szechuanensis*)(标本引证号:王定跃 5038,熊济华等 33221),被有关单位挂牌为'华南苏铁'的苏铁也包括上述三种。陈家瑞在 1998 及 1999 年却将仙湖苏铁归于台湾苏铁,而坚持海南苏铁为另一个独立种,2000 年又把仙湖苏铁归于四川苏铁。看来有关这几个种的分类目前还存有争议。另外,贵州苏铁(*C. guizhouensis*)(标本引证号:张志松、张永田 3984)是蓝开敏和邹荣福于 1983 年发表的新种,被认为与台湾苏铁、仙湖苏铁近缘。为了逐步澄清上述物种分类混乱的状况,对它们进行一些多学科的、深入的研究是必要的。为此我们选取上述几个种的羽片为试材,对它们进行比较解剖学研究,现报道有关结果。

1 材料和方法

表 1 材料的采集情况及其原产地
Table 1 Sources of material and origins

植物名称 (Species)	采集地 (Source of material)	原产地 (Origin)
锈毛苏铁 (*C. ferruginea*)	深圳仙湖植物园 Shenzhen Fairy Lake Botanical Garden	广西 Guangxi Province
石山苏铁 (*C. miquelii*)	深圳仙湖植物园 Shenzhen Fairy Lake Botanical Garden	广西 Guangxi Province
海南苏铁 (*C. hainanensis*)	深圳仙湖植物园 Shenzhen Fairy Lake Botanical Garden	海南 Hainan Province
仙湖苏铁 (*C. fairylakea*)	深圳仙湖植物园 Shenzhen Fairy Lake Botanical Garden	广东深圳 Shenzhen in Guangdong Province
四川苏铁 (*C. szechuanensis*)	深圳仙湖植物园 Shenzhen Fairy Lake Botanical Garden	福建 Fujian Province
贵州苏铁 (*C. guizhouensis*)	深圳仙湖植物园 Shenzhen Fairy Lake Botanical Garden	贵州 Guizhou Province

选取羽片中部的小羽片固定于 FAA 固定液中。制作标本时切取小羽片中部,用爱氏苏木精——番红整体染色,石蜡制片法制片。切片厚度为 20 ~ 25μm,中性树胶封藏,Leiz ORTHOLUX 显微镜观察拍照。

www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t20-170

2　羽片横切面结构的观察结果

2.1　锈毛苏铁（*C. ferruginea*）

锈毛苏铁的羽片横切面角质层非常厚，在近轴面中脉区几乎与表皮细胞的厚度相近，远轴面的角质层较薄（图版 I.3）。中脉区向两面隆起较明显。近轴面叶脉隆起处与两侧成一凹沟。叶缘向远轴面稍卷起，呈鸟喙状（图版 I.1）。叶表皮细胞近方形或扁长方形，壁厚，排成整齐的 1 列。气孔仅分布在下表面，微拱或与表皮细胞平行排列。在近轴面表皮层下有 1 列与表皮层平行的下皮层厚壁细胞，远轴面的下皮层厚壁细胞限于中脉隆起区。中脉隆起区的下皮层厚壁细胞体积较小，但多至 3 ~ 4 列，中脉两侧叶片的下皮层厚壁细胞体积较大，但一般 1 列。叶缘的近轴面有 1 ~ 3 列下皮层厚壁细胞。栅栏组织为排列整齐的柱状细胞组成，位于近轴面的下皮层下方，栅栏组织延伸至中脉上方，两侧的栅栏组织相连续，只是在中脉隆起处栅栏组织细胞稍短。海绵组织的细胞大小不一，分布于副转输组织两侧，含晶细胞相对较多。远轴面的海绵组织不连续，中间间断（图版 I.3）。副转输组织由伸长的薄壁组织细胞、有具缘纹孔的管胞和分隔纤维组成，分布于海绵组织间横卧排列，一端与中脉相连，另一端几乎达至叶边缘。转输组织包围维管束两侧。叶脉仅具中脉，没有观察到其它的细小分枝。中脉于叶片两面隆起，近轴面稍明显，近中央为维管束 韧皮部在远轴面，呈‘ V ’形 木质部在近轴面，管胞分散。

2.2　石山苏铁（*C. miquelii*）

叶片表面具厚的角质层，近轴面的比远轴面的要厚。中脉区稍隆起，远轴面隆起更明显。叶缘钝园（图版 I.2）。仅下表面有气孔，孔缘稍下陷。近轴面叶脉隆起处与两侧几近平直。叶表皮细胞壁厚，表面具纹孔，细胞为扁长方形，排列成整齐的一列。下皮层厚壁细胞只存在中脉区隆起部和叶缘，近轴面和远轴面的下皮层厚壁细胞均有多于一列的，叶缘厚壁细胞有多于二列的。只有在远轴面的表皮有气孔分布，气孔微拱或与表皮细胞平行排列。叶肉由栅栏组织和海绵组织组成。栅栏组织为排列整齐的柱状细胞组成，位于近轴面的下皮层下方，栅栏组织延伸至中脉的近轴面，两侧的栅栏组织相连续，只是在隆起处栅栏组织细胞稍短（图版 I.4）。海绵组织的细胞大小不一、形状不一，分布于副转输组织两侧，含晶细胞相对较少。远轴面的海绵组织不连续，中间间断（图版 I.4）。副转输组织由伸长的薄壁组织细胞、有具缘纹孔的管胞和分隔纤维组成，分布于海绵组织间横卧排列，一端与中脉相连，另端几乎达至叶边缘。转输组织包围维管束两侧。叶脉仅具中脉，没有观察到其它的细小分枝。中脉近轴面近平，远轴面隆起。近中央为维管束，两侧为转输组织包围。韧皮部在远轴面，呈弧形（图版 I.4） 木质部在近轴面，管胞分散。

2.3　海南苏铁（*C. hainanensis*）

角质层比较薄，表皮细胞在中脉隆起处为方形，在两侧叶片的表皮细胞为长方形，切向延长，整个表皮细胞排列整齐，壁增厚。气孔与表皮平行排列。下皮层厚壁细胞只存在于中脉隆起处和叶缘，在中脉隆起处，无论是近轴面还是远轴面的表皮下均有下皮层厚壁细胞 2 ~ 3 列（图版 II.3），叶缘具有 1 列下皮层厚壁细胞，叶缘呈鸟喙状（图版 II.4）。叶肉组织由栅栏组织与海绵组织组成，栅栏组织发达（图版 II.4）。栅栏组织延至中脉隆起区，两侧相连（图版 II.3），但仅位于近轴面 海绵组织在中脉隆起区间断，不发达，偶见含晶细

胞。中脉隆起区远轴面没有叶肉组织。中脉隆起区在上面明显,近轴面呈半圆形,远轴面稍平。叶脉仅具中脉,没有观察到其它的细小分枝。近中央为维管束,韧皮部在远轴面,呈弧形(图版 II.3),木质部在近轴面,管胞分散。

2.4 仙湖苏铁(*C. fairylakea*)

角质层比较薄,表皮细胞在中脉隆起处为方形,在两侧叶片的表皮细胞为长方形,切向延长,整个表皮细胞排列整齐,壁增厚。气孔孔缘稍下陷。在中脉隆起处,无论是近轴面还是远轴面的表皮下均有下皮层厚壁细胞 2 ~ 3 列(图版 II.5),叶缘仅具有 1 列下皮层厚壁细胞,叶缘呈鸟喙状(图版 II.6)。叶肉组织由栅栏组织与海绵组织组成,栅栏组织发达,海绵组织、副转导组织不发达,含晶细胞少。栅栏组织与海绵组织延至中脉隆起区,两侧相连(图版 II.5),但仅位于近轴面,中脉隆起区远轴面没有叶肉组织。中脉隆起区明显,近轴面半圆形,远轴面稍平。叶脉仅具中脉,没有观察到其它的细小分枝。近中央为维管束,韧皮部在远轴面,呈弧形,木质部在近轴面,管胞分散。

2.5 四川苏铁(*C. szechuanensis*)

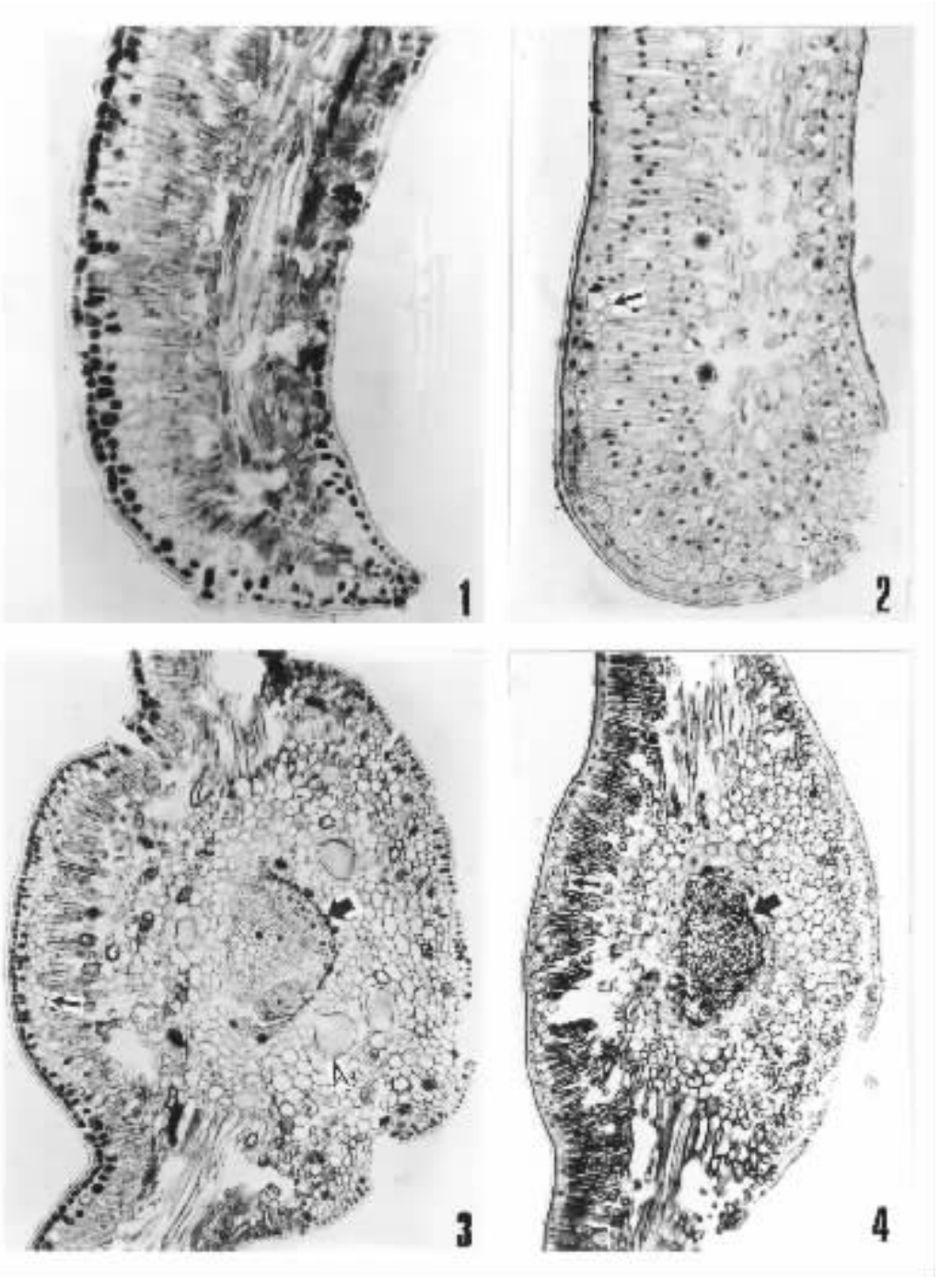
该种的模式标本采自四川,但野生原产地可能在福建(陈家瑞,2000)。其角质层比较薄,表皮细胞在中脉隆起处为方形,气孔孔缘稍下陷。在两侧叶片的表皮细胞为长方形,切向延长,整个表皮细胞排列整齐,壁增厚。下皮层厚壁细胞只存在于中脉隆起处和叶缘。在中脉隆起处,无论是近轴面还是远轴面的表皮下均有下皮层厚壁细胞 2 ~ 3 列(图版 II.1),叶缘下皮层厚壁细胞 1 ~ 2 列。叶缘呈鸟喙状,但远轴面平直(图版 II.2)。叶肉组织由栅栏组织与海绵组织组成,栅栏组织发达,栅栏组织与海绵组织延至中脉隆起区,两侧相连(图版 II.1),但仅见于近轴面,中脉隆起区远轴面没有叶肉组织。中脉隆起区在两面明显,近轴面呈弧形。叶脉仅具中脉,没有观察到其它的细小分枝。近中央为维管束,韧皮部在远轴面,呈弧形,木质部在近轴面,管胞分散。

2.6 贵州苏铁(*C. guizhouensis*)

该种的原产地为贵州,其角质层比较薄,表皮细胞在中脉隆起处为方形,在两侧叶片的表皮细胞为长方形,切向延长,整个表皮细胞排列整齐,壁增厚。气孔孔缘稍下沉。在中脉隆起处,无论是近轴面还是远轴面的表皮下均有下皮层厚壁细胞 2 ~ 3 列(图版 II.7),叶缘具有 1 列下皮层厚壁细胞,叶缘鸟喙状,但端部钝圆(图版 II.8)。叶肉组织由栅栏组织与海绵组织组成,栅栏组织发达,海绵组织、副转导组织不发达。栅栏组织与海绵组织延至中脉隆起区,两侧相连(图版 II.7),但仅见于近轴面,中脉隆起区远轴面没有叶肉组织,有含晶细胞。中脉隆起区在两面明显,近轴面呈弧形,远轴面呈圆形。叶脉仅具中脉,没有观察到其它的细小分枝。近中央为维管束,韧皮部在远轴面,呈"V"形,木质部在近轴面,管胞分散。在维管束外有一近环形的由 2 ~ 3 层含晶细胞构成的"鞘"(图版 II.8)。

3 讨论

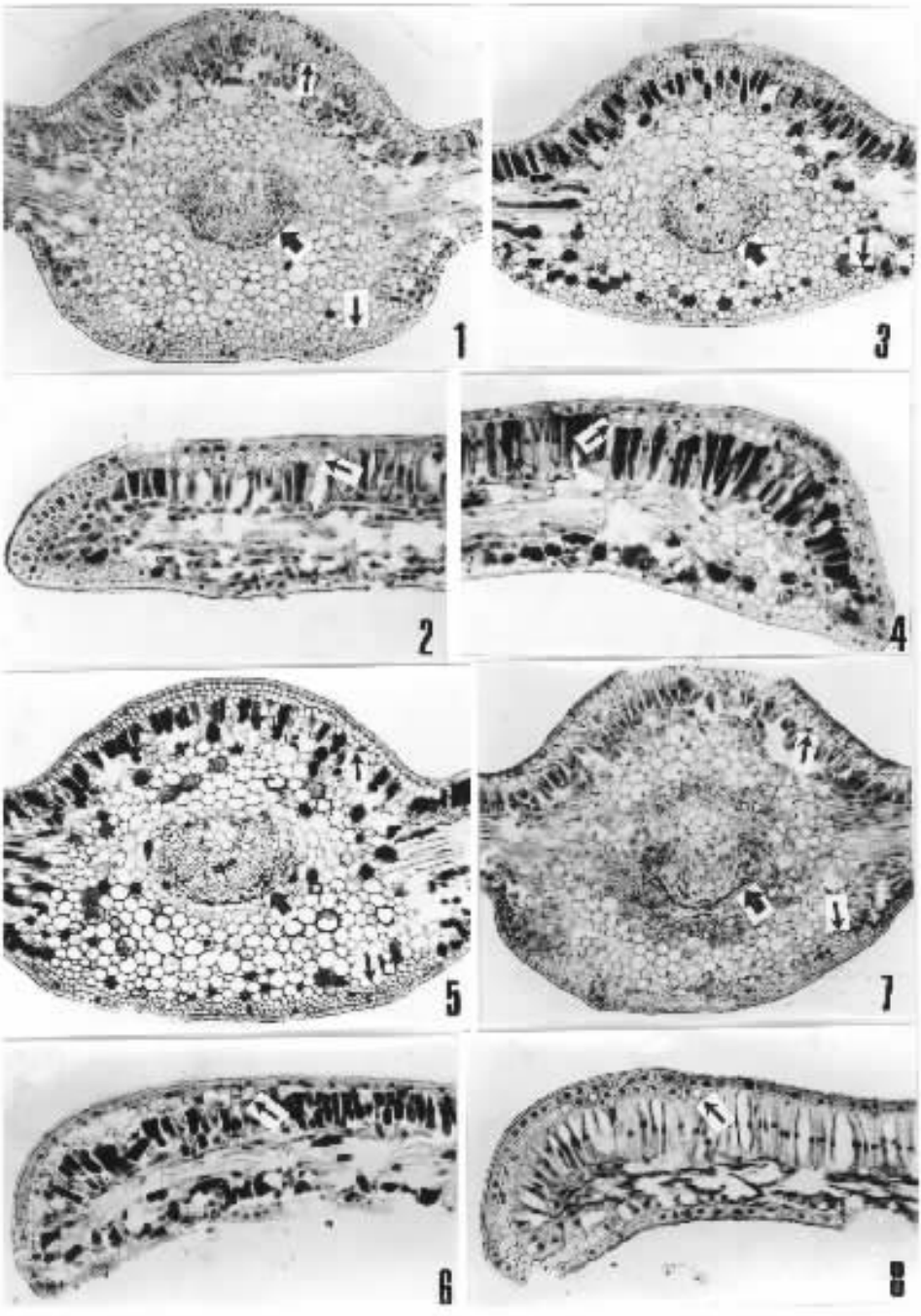
苏铁属羽片的解剖学一直受到植物分类学家、植物解剖学家、古植物学家所关注,在这一领域做了大量的工作,积累了不少的资料。在全球近 70 种苏铁属植物中,已有羽片解剖学资料的有 38 种。其中研究最多的是苏铁(*C. revoluta*)、拳叶苏铁(*C. circinalis*)、



图版 I　所有照片均以左方为叶的近轴面。　1，3　示锈毛苏铁羽片横切面（×68）；2，4　示石山苏铁羽片横切面（×68）；1，2　示叶缘（×68）；3，4　中脉区（×68）。　→示下皮层厚壁细胞；➡示韧皮部；＞示分泌道

Explanation of plate I　The adaxial side of the pinnae are on the left, all showing the transverse section.　1，3　The transverse section of pinnae in *Cycas ferruginea*；2，4　The transverse section of pinnae in *Cycas miquelii*；1，2　The pinnae margin；3，4　The midrib region. Enlargement of all：×68　→showing the hypodermal sclerenchy matous cells；➡ showing the phloem；＞showing the secretory cannal

https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-ZWYX198...



图版 II 所有照片均以上面为叶的近轴面。 1～2 四川苏铁羽片横切面(×55)；3～4 海南苏铁羽片横切面(×55)；5～6 仙湖苏铁羽片横切面(×55)；7～8 贵州苏铁羽片横切面(×55)；其中 1,3,5,7 为中脉区；2,4,6,8 为叶缘； → 示下皮层厚壁细胞；➡示韧皮部；

Explanation of plate II The adaxial surface of pinnae on top, all showing the transverse section；1,3,5,7 The midrib region；2,4,6,8 The pinnae margins；1～2 *C. szechuanensis*；3～4 *C. hainanensis*；5～6 *C. fairylakea*；7～8 *C. guizhouensis* →showing the hypodermal sclerenchy matous cells；➡ showing the phloem； Enlargement of all：×55

https://www.scienoine.com/doi/10.3724/CBB-t20-170

刺叶苏铁（*C. rumphii*）和暹罗苏铁（*C. siamensis*）等（陈潭清等，1996）。Pant 和 Nautiyal（1963）研究了 13 种苏铁羽片的角质层、表皮层的解剖特征；Pant 和 Das（1990）研究了另外 8 种苏铁的羽片角质层、表皮层和解剖特征；Pant（1994）对以篦齿苏铁（*C. pectinata*）为重点的三种苏铁属植物作了进一步研究。澳大利亚的 Hill（1994a；1994b）描述了 12 种苏铁羽片解剖特征，其中 9 种前人未曾报道过。这些作者主要把羽片解剖学特征用于分类学研究并探讨种间的亲缘关系。我国学者李平（1995）对国产攀枝花苏铁的羽片的解剖学作了较为深入的研究；王玉忠和陈家瑞（1995）研究了我国 13 种苏铁羽片表皮及气孔特征。陈谭清等（1996）研究了 18 种 2 变型苏铁属植物羽片营养叶的羽片解剖结构。在上述这些研究中，大部分是对羽片的表皮及气孔特征的研究，对羽片结构的研究较少。我们对石山苏铁等六种苏铁植物羽片结构进行了研究，其异同见下表（表 2）。

表 2　羽片形态结构的比较

Table 2　Comparative anatomy of pinnae

植物名称 Species	下皮层厚壁细胞 Hypodermal sclerenchy matous cells（HTW）	叶肉海绵组织中含晶细胞 Crystal cells in spongy tissue of mesophyll	中脉区隆起 Rising of midrib region	叶缘形态 Leaf margin	韧皮部 Phloem	分泌道 Secretory canal
锈毛苏铁 *C. ferruginea*	近轴面表皮下完整一列，远轴面限于中脉区，3 ~ 4 列 HTW cells exist in adaxial side of the pinna and arranged regularly and completely in 1 layer，but in midrib region only in abaxial side and arranged in 3 ~ 4 layers.	相对较多 Numerous	两面隆起明显 Two surfaces obviously raised	鸟喙状，向远轴面稍曲 Beak-like，rolling toward the abaxial.	呈“V”形 V-shaped	有 Present
石山苏铁 *C. miquelii*	只存在于中脉区一般 1 列和叶缘 1 ~ 2 列； HTW cells exist in midrib region，usually arranged in 1 layer and in margin in 1 ~ 2 layers	相对较少 Few	近轴面近平，远轴面隆起 Adaxial side nearly flat，abaxial side raised	圆形 Round	弧形 Arch-shaped	无 Absent
海南苏铁 *C. hainanensis*	存在于中脉隆起区 2 ~ 3 列和叶缘 1 列，少 2 列 HTW cells exist in midrib region，arranged in 2 ~ 3 layers and in margin in 1 layer，occasionally in 2 layers	偶见 Occasionally seen	明显，近轴面和远轴面均呈圆形 Obviously raised，two sides round	鸟喙状 Beak-like	弧形 Arch-shaped	无 Absent
仙湖苏铁 *C. fairylakea*	存在于中脉隆起区 2 ~ 3 列和叶缘 1 列，少 2 列 HTW cells exist in midrib region，arranged in 2 ~ 3 layers and in margin in 1 layer，occasionally in 2 layers	少 Few	明显，近轴面和远轴面均呈圆形 Obviously raised，two sides round	鸟喙状 Beak-like	弧形 Arch-shaped	无 Absent
四川苏铁 *C. szechuanensis*	存在于中脉隆起区 2 ~ 3 列和叶缘 1 列，少 2 列 HTW cells exist in midrib region，arranged in 2 ~ 3 layers and in margin in 1 layer，occasionally in 2 layers	未见 Not seen	明显，近轴面圆弧形，远轴面稍平。 Obviously raised，adaxial side arch-shaped，abaxial side flat-arched	鸟喙状，但较平直 Beak-like，but the top being flat	弧形 Arch-shaped	无 Absent
贵州苏铁 *C. guizhouensis*	存在于中脉隆起区 2 ~ 3 列和叶缘 1 列 HTW cells exist in midrib region，arranged in 2 ~ 3 layers and in margin in 1 layer	少 Few	明显，近轴面弧形，远轴面圆形 Obviously raised，adaxial side arched，abaxial side round	鸟喙状，但喙端部钝圆 Beak-like，but the top being obtuse round	呈“V”形 V-shaped	无 Absent

https://www.cjeonline.com/doi/10.3724/SP.J.1259.2014.00...

锈毛苏铁是韦发南 1994 年发表的新种，但后来王定跃(1996a)根据该种羽片大小、质地、边缘反卷程度、叶柄和叶轴被锈毛与否等宏观形态特征，认为这些特征均存在一定的连续变异，因而与其生长环境有关，故认为锈毛苏铁不能成立而将其并入石山苏铁。我们对石山苏铁与锈毛苏铁的羽片结构进行了较为深入的研究，结果显示两者在下皮层厚壁细胞、叶肉组织、中脉区隆起程度、叶缘形态、韧皮部形态和分泌道的有无等特征(见表 2)上具有较明显的差异，这些结构特征上的差异仅用与生长环境有关来解释是很难说得过去的，因此羽片解剖学研究结果支持锈毛苏铁独立为种的观点。

陈家瑞于 1975 年发表海南苏铁时主要是依据钟义采自于海南万宁 4076 标本(主模式为华南植物研究所标本号 429297A，主模式与等模式均存华南植物研究所标本馆 IBSC)建立的，指出与台湾苏铁的区别在于大孢子叶侧裂片数目较少等。后来王定跃通过在海南的广泛调查，发现其大孢子叶顶裂片形状变异较大，台湾苏铁与海南苏铁的模式类型为宽大的三角形，同时还存在从三角形到钻状披针形的一系列过渡类型。侧裂片的数目也有一定的变化幅度，因而认为海南苏铁应是台湾苏铁的一个饰变种，应予以归并。而仙湖苏铁是王定跃(1996b)根据采自栽培于中国科学院华南植物园类似四川苏铁标本发表的新种，陈家瑞 1998 及 1999 年将它归于海南苏铁，后来(2000 年)又把它归于四川苏铁。我们研究了海南苏铁与仙湖苏铁的羽片结构，结果显示两者在下皮层厚壁细胞的分布、叶肉组织的特点、中脉区形态、叶缘形态及韧皮部形态等特征方面都基本一致，因此从羽片形态解剖学方面看，两者不能区分，应视为同一个种，因此比较赞同陈家瑞 1998 年及 1999 年将仙湖苏铁归于海南苏铁的观点。

四川苏铁是郑万均、傅立国于 1975 年发表的。王定跃认为该种与仙湖苏铁、台湾苏铁近缘，它们的区别在于大孢子叶顶片的差异与胚珠的多少。我们对四川苏铁的羽片形态解剖学研究结果显示，其有关特征与仙湖苏铁的差别在于它的羽片中海绵组织未见含晶细胞，另外在中脉区隆起形态与叶缘形态上也有差异。因此羽片形态解剖学结果不赞成陈家瑞(2000)将仙湖苏铁归于四川苏铁，而支持两者有较近的种系关系的观点。

我们对贵州苏铁羽片解剖学结果来看，它在中脉区隆起、叶缘形态、韧皮部形态等特征上都与前述种有差异，尤其是在其维管束外具有一含晶细胞的‘鞘’状结构，是其较为特殊的地方，因此它与前述种的种系关系相对来说应属较远的种类。

致谢 深圳仙湖植物园及王定跃博士在材料的采集过程中给予了很大的便利和帮助，陶岚女士完成了本文的切片工作，谨一并表示感谢！

参 考 文 献

韦发南(Wei)，1994. 广西一种新的苏铁. 广西植物，**14**(4)：300
王定跃，1996a. 苏铁科的系统分类与地理分布. 王发祥等主编，中国苏铁. 广州：广东科技出版社，19～32
王定跃，1996b. 中国苏铁属的分类研究. 王发祥等主编，中国苏铁. 广州：广东科技出版社，33～137
王玉忠，陈家瑞，1995. 中国苏铁属的叶表皮特征及其分类学意义. 植物学通报，**12**：47～51
李平，1995. 攀枝花苏铁的生物学特性研究——营养器官的形态解剖研究. 四川大学学报(自然科学版)，**32**(专辑)：53～625
希尔，陈家瑞，1994. 广东苏铁及中国东南部几种苏铁的研究. 植物分类学报，**32**(6)：538～548
陈家瑞，2000. 傅立国等主编，中国高等植物. 青岛：青岛出版社，**3**：1～11
陈家瑞，萨仁，1998. 亚洲苏铁植物，兼谈中国苏铁的保护. 海峡两岸植物多样性与保育，国立自然科学博物馆印，47～64

http://www.cbe.ac.cn http://dx.doi.org/10.3724/CBB-120-170

(下转 604 页)

参 考 文 献

王夔主编,1992.生命科学中的微量元素(下卷).北京:中国计量出版社,176 ~ 209

华东师范大学生物系植物生理教研组,1980.植物生理学实验指导.北京:高等教育出版社,88 ~ 90,143 ~ 144

李建武,萧能庚,余瑞元,袁明秀,陈丽蓉,陈雅惠,陈来同,1994.生物化学实验原理和方法.北京:北京大学出版社,174

吴振球,吴岳轩,1990.铜、锌对水稻幼苗生长及超氧化物酶的影响.植物生理学报,**16**(2):139 ~ 146

罗立新,孙铁珩,靳月华,1998.镉胁迫下小麦叶中超氧阴离子自由基的积累.环境科学学报,**18**(5):495 ~ 199

林植芳,李双顺,林桂珠,孙谷畴,郭俊彦,1984.水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶活性及脂质过氧化作用的关系.植物学报,**26**(6):605 ~ 615

高圣义,王焕校,吴玉树,1992.锌污染对蚕豆(*Vicia faba* L.)部分生理生化指标的影响.中国环境科学,**12**(4):281 ~ 284

黄玉山,罗广华,关□文,1997. 镉诱导的自由基过氧化损伤.植物学报,**39**(6):522 ~ 526

蒋明义,杨文英,徐江,陈巧云,1994.渗透胁迫下水稻幼苗中叶绿素降解的活性氧损伤作用.植物学报,**36**(4):289 ~ 295

彭鸣,王焕校,吴玉树,1991.镉、铅诱导的玉米(*Zea mays* L.)幼苗细胞超微结构的变化.中国环境科学,**11**(6):426 ~ 431

潘瑞炽,董愚得编著,1995.植物生理学(第三版).北京:高等教育出版社,319 ~ 320

Elstner E F, 1992. Oxygen activation and oxygen toxicity. *Ann Rev Plant Physiol*, **43**(2):73 ~ 96

Pauls K P, Thompson J E, 1984. Evidence for the accumulation of peroxidized lipids in membranes of senescing cotyledons, *Planu Physiol*, **75**(4):1152 ~ 1157

Scandalios J G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Phyliol*, **101**(1):7 ~ 12

Walter L 著(奥地利),翟志席,郭玉海,马永泽,柏长青译,1997.植物生态生理学(第五版).北京:中国农业大学出版社,321

(上接 622 页)

陈谭清,王定跃,廖景平,杨庆锋,吴七根,陈泽濂,1996. 中国苏铁羽片形态解剖学研究. 王发祥等主编,中国苏铁. 广州:广东科技出版社,143 ~ 169

Chen C T, 1999. Taxonomical and biogeographical studies on *Cycas* L. (Cyeadaceae) in China. In Chen C T(ed), Biology and Conservation of Cycads. Beijing: International Academic Publishers, 116 ~ 128

Hill K D, 1994a. The *Cycas* media Group(Cycadaceae) in New Guinea. Australian Systematic Botany, **7**:543 ~ 567

Hill K D, 1994b. The *Cycas* rumphii complex(Cycadaceae) in New Guinea and the Western Pacific. *Australian Systematic Botany*, **7**:543 ~ 567

Pant D D, Nautiyal D D, 1963. Cuticular and epidermal studies of some modern Cycadean leaves, Spororangia and seeds. *Senck Biol*, **44**(4): 257 ~ 347

Pant D D, Das K, 1990. Cuticle, Epidermis and anatomy of Pinnae in some species of Cycas Linn, Memoirs of the New York Botanical Garden, **57**: 169 ~ 195

Pant D D, 1994. On Cycas pectinata Hamilton from Northeast India, Encephalartos, **40**:17 ~ 30

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t20-170