

# 柔毛淫羊藿及其近缘种叶片非腺毛形态 及其分类学意义

植汉成<sup>1,2</sup>, 刘翔<sup>1,3</sup>, 郭宝林<sup>1\*</sup>, 冯学锋<sup>4</sup>, 葛菲<sup>2</sup>, 郭佳琪<sup>1</sup>, 温春梅<sup>1</sup>

(1 中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所, 北京 100193; 2 江西中医药大学, 南昌 330006; 3 重庆市中药研究院, 重庆 400065; 4 中国中医科学院中药研究所, 北京 100700)

**摘要:** 柔毛淫羊藿(*Epimedium pubescens* Maxim.) 是中国淫羊藿属植物中分布较为广泛、形态变异较为丰富的物种, 柔毛淫羊藿及其近缘种在分类中存在诸多争议。为研究柔毛淫羊藿及其近缘种变异规律和进行种的界限划分, 本研究对柔毛淫羊藿 31 个居群和近缘种星花淫羊藿 3 个居群、镇巴淫羊藿 1 个居群、万源淫羊藿 1 个居群共 36 个居群的叶背非腺毛进行了显微观察。结果显示: (1) 所观察到的非腺毛分为直毛、曲毛、伏曲毛、长伏毛、拟短伏毛、短伏毛、单细胞毛 7 个大类 19 个小类, 并发现每个居群或每个个体的叶背面非腺毛是由多种类型构成。(2) 共观察到 13 个居群具有乳突, 且 69.2% 非腺毛较少(非腺毛密度少于 50 个/mm<sup>2</sup>) 的居群具有乳突; 而且共有 27 个居群中具有单细胞毛, 占该研究 36 个居群的 75%。(3) 以非腺毛密度、主要类型构成进行居群归类, 其中柔毛淫羊藿 21 个居群为直毛群(A), 柔毛淫羊藿 7 个居群为曲毛群(B), 柔毛淫羊藿 2 个居群、星花淫羊藿 3 个居群、镇巴淫羊藿 1 个居群为长伏毛群(D), 柔毛淫羊藿 1 个居群为拟短伏毛群(E), 万源淫羊藿 1 个居群为短伏毛群(F), 所有居群均共有直毛类非腺毛, 说明直毛类非腺毛为柔毛淫羊藿及其近缘种的核心类型非腺毛。(4) 从居群内非腺毛类型组成的角度梳理出了居群间的演化关系, 直毛群: A I → A II → A III → A IV → A V; 曲毛群: B I → B II → B III → B IV; 长伏毛群: D I → D II → D III; 直毛群 → 曲毛群; 短直毛群 → 短伏毛特化群; 短直毛群 → 拟短伏毛特化群, 且居群间的演化关系与地理分布呈现良好的相关性。(5) 单细胞毛为淫羊藿属中首次发现。研究认为, 单细胞毛可能与主流非腺毛类型(直毛和曲毛)和地理分布有关, 但乳突则与叶背面的非腺毛密度可能存在负相关关系; 该研究结果支持将星花淫羊藿归为柔毛淫羊藿种下等级的分类处理。

**关键词:** 柔毛淫羊藿; 近缘种; 非腺毛; 多样性; 分类学意义

中图分类号: Q944.56

文献标志码: A

## Leaf Non-glandular Hair Morphology and Its Taxonomic Significance in *Epimedium pubescens* and Related Species

ZHI Hancheng<sup>1,2</sup>, LIU Xiang<sup>1,3</sup>, GUO Baolin<sup>1\*</sup>, FENG Xuefeng<sup>4</sup>,  
GE Fei<sup>2</sup>, GUO Jiaqi<sup>1</sup>, WEN Chunmei<sup>1</sup>

(1 Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Science, Peking Union Medical College, Beijing 100193, China; 2 Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330006, China; 3 Chongqing Academy of Chinese Materia Medica, Chongqing 400065, China; 4 Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Science, Beijing 100700, China)

**Abstract:** *Epimedium pubescens* Maxim. is a species widely distributed in China and abundant in morphological variation. There are still many voices in the classification of *E. pubescens* and its related species. This study chose 31 populations of *E. pubescens* Maxim. and its related species including 3 populations of

收稿日期: 2018-07-13; 修改稿收到日期: 2018-09-28

基金项目: 中国医学科学院医学与健康科技创新工程经费资助(2017-12M-3-013); 重庆市科委前沿与应用基础研究项目(cstc2018jcyjAX0316)

作者简介: 植汉成(1990-), 男, 硕士研究生, 主要从事中药鉴定与资源研究。E-mail: 1183208806@qq.com

\* 通信作者: 郭宝林, 研究员, 博士生导师, 主要从事中药鉴定与资源研究。E-mail: guobaolin010@163.com

*E. stellulatum* Stearn, 1 population of *E. zhenbaense* sp. nov. and 1 population of *E. wanyuanense* sp. nov. and observed non-glandular hairs on the back of their leaves, so as to study the variation law of *E. pubescens* and its related species and their intraspecific division. The results are as follows. (1) the non-glandular hairs from what we saw are divided into 7 large classes and 19 small classes, namely straight hair, curved hair, appressed curly hair, long appressed hair, pseudo short appressed hair, short appressed hair and single cell hair, and found that each population or individual was composed of many types of non-glandular hairs. (2) Mastoid were found in 13 populations and the population which has non-glandular hair under  $50/\text{mm}^2$ , accounting 69.2%, and 27 populations has single cell hair, accounting 75%. (3) Based on non-glandular hair density and major types, we come to conclusion of 36 populations' classification. 21 populations of *E. pubescens* are straight hair group (A) and 7 populations are curly hair group (B). Long appressed hair group (D) contains 2 populations of *E. pubescens*, 3 population of *E. stellulatum* and 1 population of *E. zhenbaense*. One population of *E. pubescens* is pseudo short appressed hair group (E) and one population of *E. wanyuanense* is short appressed hair group (F). All populations have straight hair, showing that the core type in *E. pubescens* and its related species is straight hair. (4) From the angle of non-glandular hairs type, the evolutionary relationship between populations is combed, namely is A I  $\rightarrow$  A II  $\rightarrow$  A III  $\rightarrow$  A IV  $\rightarrow$  A V, B I  $\rightarrow$  B II  $\rightarrow$  B III  $\rightarrow$  B IV, D I  $\rightarrow$  D II  $\rightarrow$  D III, straight hair group  $\rightarrow$  curly hair group, short straight hair group  $\rightarrow$  short appressed hair or pseudo short appressed hair, and it shows a good correlation with geographical distribution as well. (5) Single cell hair has been found for the first time in *Epimedium* and considered to have some relation to the main hair type (straight hair and curly hair) and geographical distribution. However, there is a negative correlation between the mastoid and non-glandular hairs' density on back of the leaves. The results of this study support the classification treatment that *E. stellulatum* Stearn is under the species of *E. pubescens* Maxim.

**Key words:** *Epimedium pubescens*; related species; non-glandular hairs; diversity; taxonomy

柔毛淫羊藿 (*Epimedium pubescens* Maxim.) 为小檗科淫羊藿属植物, 1887 年发表, 以叶背面密被柔毛为特征, 是中国淫羊藿属植物中分布较为广泛的物种, 集中分布于四川、重庆和陕西南部, 也分布于甘肃东南角<sup>[1]</sup>, 柔毛淫羊藿也是常用中药淫羊藿的主要物种来源。其近缘种星花淫羊藿 (*E. stellulatum* Stearn) 为 1993 年发表的物种, 与柔毛淫羊藿形态近似, 但区别在于花的内轮萼片比较大, 小叶片为较宽的卵形<sup>[2]</sup>, 特别是叶中几乎不含有淫羊藿苷类成分<sup>[3]</sup>, 分布于湖北十堰、陕西商洛。本课题组还发现分布于陕西镇巴的一个类型, 花形态极似柔毛淫羊藿, 但小叶片小而卵圆, 根状茎细长横走, 暂定名为镇巴淫羊藿 (*E. zhenbaense* sp. nov.), 以及分布于四川万源的一个类型, 花形态和小叶片形态似柔毛淫羊藿, 但内萼片粉红色, 叶背面为短伏毛, 暂定名为万源淫羊藿 (*E. wanyuanense* sp. nov.)。

非腺毛是由植物表皮细胞分化而成、不具分泌功能的突起物, 它广泛存在于植物叶、茎、花及果实的表皮上, 由单细胞或多细胞构成, 无头部和柄部之分, 顶端通常狭尖<sup>[4]</sup>。大部分淫羊藿属植物叶背被非腺毛, 研究表明淫羊藿属植物非腺毛的特征对该属植物分类、鉴别很有价值<sup>[5]</sup>。梁海锐等最早对淫

羊藿属植物的非腺毛研究发现, 该属植物不同物种非腺毛形态具有专属性<sup>[6]</sup>。何顺志等也印证了该观点<sup>[7-8]</sup>。本课题组前期对淫羊藿属植物非腺毛进行研究, 发现不同物种叶背非腺毛的形态、顶细胞的长度、直径、伸长细胞的有无、基部细胞数目、顶细胞与相邻细胞的衔接方式等具有特征性, 总结了淫羊藿属非腺毛可以分为 5 种主要类型, 并推测了非腺毛特征的演化趋势<sup>[9]</sup>。课题组又针对柔毛淫羊藿 14 个居群及其近缘种星花淫羊藿 1 个居群的非腺毛和 ISSR 分子标记开展了研究, 依据每个居群具有的非腺毛主流类型将非腺毛分为 5 类——长直毛、长卷曲毛、伏曲毛、拟短伏毛和长伏毛, 并初步推测了长直毛-长卷曲毛-伏曲毛的演化趋势<sup>[10]</sup>。

我们继续研究发现, 柔毛淫羊藿叶背面的非腺毛是多种类型共存的, 且类型间存在连续的变化关系, 因此本研究基于原来的基础, 增加了更多分布区域的居群样本, 并将与柔毛淫羊藿相关的镇巴淫羊藿 (1 个居群) 和万源淫羊藿 (1 个居群) 纳入研究, 通过观察每个居群所具有的各类非腺毛形态, 以期进一步阐明柔毛淫羊藿及近缘种所具有的非腺毛的形态特征及演化关系, 并据此提供柔毛淫羊藿和几个近缘种亲缘关系的证据。

# 1 材料和方法

## 1.1 实验材料

柔毛淫羊藿 31 个居群,星花淫羊藿 3 个居群,镇巴淫羊藿 1 个居群和万源淫羊藿 1 个居群,所有居群的分布点参见表 1。每个居群采集 10 片以上的成年叶,硅胶快速干燥。

## 1.2 实验仪器和试剂

OLYMPUS BX51 型光学显微镜,DP70 型 CCD 成像系统,无水乙醇、冰醋酸、甘油、 $H_2O_2$ 、甲醛均为分析纯试剂。

## 1.3 实验方法

**1.3.1 制片与观察方法** (1)叶表面片制备(刮去叶肉离析法):将干燥叶放清水中泡至软化后转入 FAA

表 1 柔毛淫羊藿及近缘种样品信息

Table 1 Sample information of *Epimedium pubescens* Maxim. and its related species

物种名称 Species name	居群编号 Population code	采集地点 Location	海拔 Elevation /m	纬度 Latitude	经度 Longitude
柔毛淫羊藿 <i>E. pubescens</i>	SCLZ1	四川阆中县文成镇 Wencheng Town, Langzhong County, Sichuan	366	N 31°37'	E 106°01'
	SCLZ2	四川阆中县二龙镇 Erlong Town, Langzhong County, Sichuan	396	N 31°39'	E 106°09'
	SCJY1	四川江油县金光村 Jinguang Village, Jiangyou County, Sichuan	1 259	N 31°51'	E 104°35'
	SCJY2	四川江油县观雾山 Guanwu Mountain, Jiangyou County, Sichuan	1 497	N 31°55'	E 104°44'
	SCMC	四川沐川县 Muchuan County, Sichuan	693	N 28°56'	E 103°50'
	SCQW	四川犍为县 Qianwei County, Sichuan	360	N 29°15'	E 103°56'
	SCNJ	四川巴中市南江县 Nanjiang County, Bazhong, Sichuan	1 071	N 32°40'	E 106°48'
	SCBZ	四川巴中市 Bazhong, Sichuan	876	N 31°52'	E 106°44'
	SCDJY1	四川都江堰市青城 Qingcheng Mountain, Dujiangyan, Sichuan	796	N 30°54'	E 103°34'
	SCDJY2	四川都江堰市 Dujiangyan, Sichuan	802	N 31°0'	E 103°37'
	SCCD	四川成都市龙泉驿 Longquanyi, Chengdu, Sichuan	594	N 30°31'	E 104°17'
	SCSL	四川成都市双流区 Shuangliu District, Chengdu, Sichuan	814	N 30°18'	E 104°10'
	SCDY	四川成都市大邑县 Dayi County, Chengdu, Sichuan	553	N 30°34'	E 103°26'
	SCYA	四川雅安市雨城区 Yucheng District, Yaan, Sichuan	777	N 29°58'	E 103°12'
	SCHY	四川洪雅县田坝镇 Tianba Town, Hongya County, Sichuan	543	N 29°54'	E 103°10'
	SCMS	四川眉山市 Meishan, Sichuan	534	N 29°46'	E 103°53'
	SCQL1	四川邛崃市关崖 Guanya, Qionglai, Sichuan	540	N 30°26'	E 103°19'
	SCQL2	四川邛崃市龙岩 Longyan, Qionglai, Sichuan	725	N 30°28'	E 103°17'
	SCCZ	四川崇州市 Chongzhou, Sichuan	821	N 30°49'	E 103°32'
	SCBC	四川北川县 Beichuan County, Sichuan	1 541	N 30°52'	E 104°27'
	SCQC	四川青川县 Qingchuan County, Sichuan	1 008	N 32°30'	E 104°49'
	SCJG	四川剑阁县 Jiange County, Sichuan	698	N 32°02'	E 105°16'
	SCPW1	四川平武县高村乡光一村 Guangyi Village of Gaocunxiang, Pingwu County, Sichuan	947	N 32°24'	E 104°44'
	SCPW2	四川平武县高村乡代坝村 Daiba Village of Gaochunxiang, Pingwu County, Sichuan	1 139	N 32°22'	E 104°44'
	SCPW3	四川平武县木皮乡关坝沟 Guanba Gully of Mu pixiang, Pingwu County, Sichuan	1 141	N 32°33'	E 104°34'
	SCLC	四川隆昌市 Longchang, Sichuan	380	N 29°31'	E 105°17'
	CQDZ	重庆大足区 Dazu District, Chongqing	391	N 29°33'	E 105°42'
	CQTN	重庆潼南区 Tongnan District, Chongqing	449	N 29°51'	E 105°43'
	GSCX	甘肃成县 Cheng County, Gansu	1 052	N 33°44'	E 105°38'
	SXSX	陕西山阳县 Shanyang County, Shaanxi	700	N 33°30'	E 109°52'
	SXNZ	陕西汉中市南郑区 Nanzheng District, Hanzhong, Shaanxi	937	N 32°59'	E 106°56'
星花淫羊藿 <i>E. stellulatum</i>	HBSY	湖北十堰市 Shiyan, Hubei	739	N 32°32'	E 110°41'
	HBXY	湖北十堰市郧县 Yunxian, Shiyan, Hubei	333	N 32°41'	E 110°19'
	SXSN	陕西商南县 Shangnan County, Shaanxi	700	N 33°30'	E 110°52'
镇巴淫羊藿 <i>E. zhenbaense</i>	SXZB	陕西镇巴县 Zhenba County, Shaanxi	803	N 32°29'	E 107°46'
万源淫羊藿 <i>E. wanyuanense</i>	SCWY	四川万源市 Wanyuan, Sichuan	600	N 32°04'	E 108°02'

固定液中保存。取 FAA 浸泡叶片,在中部近中脉处切取约 3 mm×6 mm 的小块,刮去上表皮及叶肉组织,放入盛离析液(30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:冰醋酸=1:1)的烧杯中,60℃烘箱加热约 1~2 h,小叶块透明后,醋酸甘油试液(50%冰醋酸:甘油:蒸馏水=1:1:1)封片。

(2)非腺毛片制备(刮取茸毛法,适用于非腺毛密被,表面片不易观察的情况):取干燥叶,在叶背中部近中脉处刮取非腺毛,置于载玻片上,醋酸甘油试液封片。

(3)观察和记录:光学显微镜观察和拍照,并测量和记录非腺毛特征(每个居群均取 5 枚叶片观察)。

(4)图片处理:用 Photoshop 软件排版处理。

**1.3.2 数据测量统计与处理** 选取放大 200 倍非腺毛照片,先划分非腺毛形态类型,然后每一类型取 20 根非腺毛,记录顶细胞形状、顶细胞与相邻细胞衔接方式、基部细胞数和伸长细胞数,用 Digimizer 软件测量非腺毛全长、顶细胞长度、顶细胞(中间)直径和壁厚。选取放大 100 倍照片的 1 μm<sup>2</sup> 区域用 Digimizer 软件统计非腺毛数量,共 10 个重复(每个居群取 5 枚叶片,每片 2 个区域),计算得出单位面积非腺毛个数(个/mm<sup>2</sup>)。

## 2 观察结果

### 2.1 柔毛淫羊藿及近缘种的非腺毛类型

柔毛淫羊藿及近缘种的多细胞非腺毛形态和结构与以前研究结果一致<sup>[10]</sup>,由基部细胞(指非腺毛与表皮细胞相连接的薄壁细胞,一般扁小)和顶细胞(指末端的一个细胞,壁厚,顶端尖或偶钝)构成,部分多细胞毛有伸长细胞(在基部细胞和顶细胞之间,壁厚,一般比基部细胞长);顶细胞是柔毛淫羊藿及近缘种非腺毛的主要部分,大部分居群顶细胞长度占非腺毛总长 90% 以上;顶细胞特征变化(顶细胞形状、顶细胞长、顶细胞占的比例、顶细胞直径)、基部细胞数、伸长细胞有无及数量,以及顶细胞与相邻细胞衔接方式存在多样性。本研究在原来发现的 5 类非腺毛(长直毛、长卷曲毛、伏曲毛、拟短伏毛和长伏毛)的基础上,新发现短伏毛和单细胞毛等两类新的非腺毛,短伏毛基部细胞扁小,无伸长细胞,顶细胞一般梭形,顶细胞与基部细胞成一夹角,与箭叶淫羊藿 [*Epimedium sagittatum* (Sieb. et Zucc.) Maxim.] 中报道的非腺毛形态相似<sup>[11]</sup>,仅在万源淫羊藿中发现;单细胞毛仅由 1 个细胞构成,形状平直或略弯曲,呈剑形或梭形,在 25 个居群中发现,这类毛在淫羊藿属非腺毛中为首次发现。在详细观察和

测量了各类非腺毛的形态和大小,又将直毛、曲毛、长伏毛区分出亚类,各类毛形态参见图版 I。

**2.1.1 直毛**(图版 I, A1~A6) 长约 50~900 μm,整个非腺毛平直,基部细胞一般短小(部分亚类向上有细胞较为伸长),偶有伸长细胞,顶细胞与其他细胞直接连接,根据非腺毛长度、基部细胞数和顶细胞形状,又细分为 6 个亚类(A1~A4 为长直毛,长度常大于 300 μm,顶细胞常呈剑形;A5~A6 为短直毛,长度常小于 300 μm,顶细胞常呈梭形),其中 A1 类有 1~2 个伸长细胞,其他亚类无伸长细胞。A4 类为最常见类型直毛。具体特征为:A1、长约 300~500 μm,基部细胞 3~9 个,短小或向上有细胞略伸长,伸长细胞 1~2 个;A2、长约 300~500 μm,基部细胞 3~9 个;短小或向上有细胞略伸长;A3、长约 300~600 μm,基部细胞 4~7 个,短小;A4、长约 300~900 μm,基部细胞 1~4 个,短小或扁小;A5、长约 200~300 μm,基部细胞 1~3 个,短小或扁小;A6、长约 50~200 μm,基部细胞 1~2 个,扁小。

**2.1.2 曲毛**(图版 I, B1~B5) 长约 150~1 500 μm,顶细胞波状弯曲或卷曲状,基部细胞一般短小(部分亚类向上有细胞较为伸长),偶有伸长细胞;顶细胞与相邻细胞直接连接,偶钝角连接,根据非腺毛长度、基部细胞数、有无伸长细胞和顶细胞卷曲程度,又细分为 5 个亚类(B1~B4 为弯曲毛,顶细胞波状弯曲;B5 为长卷曲毛,顶细胞长卷曲状),其中 B1 类有 1~3 个伸长细胞,其他亚类无伸长细胞。另外,B5 有的顶细胞与基部细胞钝角连接。B4、B5 类为最常见类型曲毛。具体特征为:B1、长约 250~500 μm,基部细胞 4~10 个,短小或向上有细胞略伸长,伸长细胞 1~3 个,偶 4~5 个;B2、长约 250~500 μm,基部细胞 1~4 个,短小或向上有细胞略伸长;B3、长约 250~500 μm,基部细胞 3~6 个,短小;B4、长约 150~700 μm,基部细胞 1~3 个,短小;B5、长约 300~1500 μm,基部细胞 1~3 个,短小。

**2.1.3 伏曲毛**(图版 I, C) 长约 520~1 100 μm,基部细胞 1~3 个,顶细胞波状弯曲或卷曲状,顶细胞与相邻的基部细胞偏斜 T 型/T 型(呈直角)连接。

**2.1.4 长伏毛**(图版 I, D1a~D2b) 约 230~630 μm,基部细胞 1~15 个,细胞由基部向上渐长,顶细胞平直或弯曲,顶细胞与相邻细胞直角或钝角连接,有伸长细胞的为 D1 类(又细分为顶细胞平直为 D1a 类,弯曲为 D1b 类),无伸长细胞为 D2 类(又细分为顶细胞平直为 D2a 类,弯曲为 D2b 类);D1a 和 D2a 称为长伏直毛,D1b 和 D2b 称为长伏曲毛。其中

D2a 为常见类型。

**2.1.5 拟短伏毛**(图版 I, E) 约 140~250  $\mu\text{m}$ , 基部细胞 1~2 个, 扁小, 顶细胞与基部细胞直接连接, 但二者衔接处, 顶细胞呈直角弯曲而形成假 T 型。

**2.1.6 短伏毛**(图版 I, F) 约 170~280  $\mu\text{m}$ , 基部细胞 1~4 个, 扁小, 顶细胞与基部细胞直角或钝角连接, 顶细胞平直呈剑形或梭形。

**2.1.7 单细胞毛**(图版 I, G) 由一个细胞组成, 形状平直、弯曲或卷曲, 呈剑形或梭形。

本研究还观察到有 13 个居群叶背存在乳突, 乳突结构不同于非腺毛, 是表皮细胞的细胞壁向外凸起形成, 呈球形乳突, 在淫羊藿属其他植物中也有发现<sup>[12-13]</sup>。

## 2.2 柔毛淫羊藿及近缘种非腺毛演化分析

基于在柔毛淫羊藿及近缘种中发现的非腺毛形态进行演化分析, 依据以下原则:

①普遍存在性状为原始特征: 长直毛和弯曲毛为柔毛淫羊藿及近缘种普遍存在, 可以认为是原始的特征, 因此演化关系为长直毛在先, 短直毛在后, 弯曲毛在先, 长卷曲状毛在后。

②与原始类群相关为原始特征: 淫羊藿属的原始类群的毛为多细胞长毛, 顶细胞和基部细胞为直接相接, 因此基部细胞多而伸长, 以及具有伸长细胞的非腺毛为原始特征; 不具伸长细胞, 基部细胞变短变少为演化特征。

③特化特征为次生特征: 非腺毛顶细胞膨大、细胞壁格外加厚者, 顶细胞异常弯曲、顶部细胞与相邻细胞出现夹角以及呈现 T 型/偏斜 T 型连接均为演化特征。

根据以上演化推断, 以及同一个居群(同一片叶片)有多种类型而不同居群常有共同毛类型的现象。我们推断出柔毛淫羊藿及近缘种非腺毛的演化顺序见图 1(其中实线推断可能性较大)。

### 2.3 各个居群非腺毛类型构成及形态特征

36 个居群叶片背面非腺毛密度、类型构成, 以

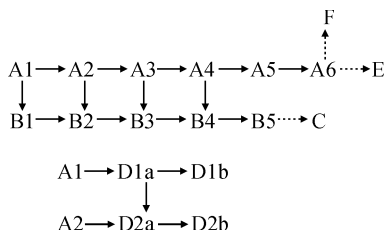


图 1 柔毛淫羊藿及近缘种非腺毛演化关系

Fig. 1 The evolution relationship of non-glandular hairs in *E. pubescens* and related species

及每个类型的非腺毛全长、顶细胞长、顶细胞直径、顶细胞壁厚、基部细胞数、伸长细胞数、顶细胞和下部细胞连接方式等非腺毛形态学数据汇总于表 2。由表 2 可知, 21 个居群以直毛 A 类为主要类型, 占所有居群的 58%, 以曲毛 B 类为主要类型的有 7 个居群, 以长伏毛 D 类为主要类型有 6 个居群, 以拟短伏毛 E 类为主要类型的只有 1 个居群, 以短伏毛 F 类为主要类型的也只有 1 个居群, 伏曲毛 C 类只存在于一个以 B 类为主要类型的居群中。因所有居群均有直毛 A 类型非腺毛, 说明直毛 A 类为柔毛淫羊藿及近缘种的核心类型非腺毛。而 E 类和 F 类各自只存在于一个居群中, 应属于特化类型。

依据表 2 中各个居群的非腺毛类型构成, 进行居群归类, 归类原则为: 以 A 类直毛为主的居群, 编为直毛群 A 群, 以 B 类曲毛为主的居群, 编为曲毛群 B 群, 以 D 类长伏毛为主的类群编为 D 群, 以 E 类拟短伏毛为主的居群编为 E0 群, 以 F 类短伏毛为主的居群编为 F0 群。再依具体居群非腺毛类型构成, 分为 A I、A II、A III 群等, 如 A I 群以 A4 型毛为主要类型毛, 同时存在 A3、B4 类型毛。柔毛淫羊藿及近缘种各居群按照非腺毛的分类见表 3。其中以 A II 群为最主要居群类型, 包括 11 个居群; 其次是 A I、B III 和 D III 群, 分别包括 4 个居群; 再次是 A III 群, 包括 3 个居群; A IV 群, 包括 2 个居群; 其余则均只有 1 个居群。

### 2.4 柔毛淫羊藿及近缘种各居群非腺毛关联与演化分析

依据表 3 的居群非腺毛类型划分, 我们给出了不同类型居群的演化路线(图 2):

1) 直毛群: A I → A II → A III → A IV → A V。A II 群为主要类型, A I 与 A II 群不同仅在于, A I 群存在有较为原始的 A3 类非腺毛。2) 曲毛群: B I → B II → B III → B IV。B III 群为主要类型, B I 和 B II 群均是以较为原始的 B4 类毛为主, 而 B I 群则又存在更为原始的 B3 类(及 A3 类)曲毛。3) 长伏毛群: D I → D II → D III, D III 群为主要类型, D I 和 D II 群以较为原始的 D1a 类毛为主, D I 更是不存在 D2a 类毛。4) 直毛群-曲毛群: 直毛群中具有少量曲毛中的弯曲毛, 曲毛群中具有少量直毛类毛, 从共有性上推测存在 A I → B I, A II → B II 或 A II → B III 或 A II → B IV 的关系。5) 短直毛-短伏毛和拟短伏毛特化群: A V → E0, A V → F0, E0 群、F0 群与 A V 群发生联系, 是他们均具有 A V 的主流毛类型 A5 和 A6。

A1、A2、B1、B2 类非腺毛并未在任何一个居群

表 2 柔毛淫羊藿及近缘种非腺毛形态特征  
Table 2 Morphological characteristic of non-glandular hair of *E. pubescens* and its related species

居群编号 Code	密度 Density 个/mm <sup>2</sup>	非腺毛形态结构特征 Morphological characteristic of non-glandular hair									
		非腺毛 类型* Type	全长 Full length /μm	顶细胞长 Apical cell length /μm	顶细胞占比例 Ratio of the apical cell/%	顶细胞直径** Diameter of the apical cell/μm	基部细胞数 Number of base cell	伸长细胞数 Number of elongated cell	顶细胞和相邻细胞连接方式 Connection pattern of apical cell and adjacent cell		
SCDJ2	41	A5	255.5±16.3	235.1±15.3	91.8±0.7	11.5±0.3	1~4	—	直接 Direct		
		B4	268.6±13.4	252.5±13.3	93.9±0.6	11.0±0.2	1~2	—	直接 Direct		
		G	218.4±10.4	—	—	10.7±0.2	—	—	—		
SCQW	80	A5	204.1±8.9	190.8±8.7	94.8±0.3	14.3±0.3	1~3	—	直接 Direct		
		G	145.2±7.0	—	—	14.4±0.5	—	—	—		
SCMS	52	A5	249.1±14.2	235.0±14.1	94.1±0.4	13.5±0.3	1~3	—	直接 Direct		
		B4	227.4±13.8	215.0±13.4	94.4±0.5	12.7±0.5	1~2	—	直接 Direct		
		G	200.2±12.0	—	—	13.2±0.4	—	—	—		
SCSL	62	A5+A6	226.8±8.7	214.7±8.5	94.5±0.3	23.5±0.8	1~3	—	直接 Direct		
		G	198.6±15.7	—	—	28.4±1.9	—	—	—		
SCBC	51	A5	286.8±11.4	272.8±11.3	95.0±0.3	19.1±0.6	1~3	—	直接 Direct		
		B4	307.15±10.5	295.9±10.3	96.3±0.4	19.2±0.5	1	—	直接 Direct		
		G	247.1±9.8	—	—	18.3±0.7	—	—	—		
SCJY2	67	A5	267.6±8.0	256.1±7.9	95.6±0.2	19.9±0.6	1~3	—	直接 Direct		
		G	184.7±8.3	—	—	23.6±0.4	—	—	—		
SCLZ1	58	A4	532.8±24.7	515.8±24.4	96.7±0.2	12.8±0.4	1~3	—	直接 Direct		
		B4	506.0±25.4	491.0±25.5	96.9±0.2	12.4±0.4	1~2	—	直接 Direct		
		G	476.7±27.5	—	—	11.9±0.6	—4	—	—		
SCLZ2	29	A4+A3	552.5±22.5	526.0±22.7	95.0±0.3	16.9±0.4	1~5	—	直接 Direct		
		B4	567.5±38.3	544.5±38.0	95.8±0.5	17.2±0.9	1~4	—	直接 Direct		
		G	505.2±34.0	—	—	16.0±0.4	—	—	—		
SCNJ	42	A4	405.4±21.5	377.7±21.0	93.0±0.6	14.3±0.4	1~4	—	直接 Direct		
		B4	361.8±42.3	347.6±40.6	96.1±0.2	14.5±0.4	1	—	直接 Direct		
		G	432.8±33.5	—	—	15.8±0.7	—	—	—		
SCBZ	60	A4	430.7±27.5	406.7±27.4	94.1±0.6	13.9±0.4	1~4	—	直接 Direct		
		B4	479.9±19.5	458.1±19.5	95.4±0.5	13.4±0.4	1~3	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle		
		G	308.3±22.0	—	—	11.6±0.4	—	—	—		

续表 2 Continued Table 2

居群编号 Code	密度 Density 个/mm <sup>2</sup>	非腺毛形态结构特征 Morphological characteristic of non-glandular hair							顶细胞和相邻细胞连接方式 Connection pattern of apical cell and adjacent cell
		非腺毛 类型* Type	全长 Full length /μm	顶细胞长 Apical cell length /μm	顶细胞占比例 Ratio of the apical cell/%	顶细胞直径** Diameter of the apical cell/μm	基部细胞数 Number of base cell	伸长细胞数 Number of elongated cell	
SCDJY1	60	A4	308.3±15.7	287.4±15.2	93.1±0.7	14.3±0.4	1~4	—	直接 Direct
		B4	302.2±13.6	286.8±13.4	94.8±0.5	13.4±0.4	1~2	—	直接 Direct
		G	219.3±18.0	—	—	12.8±0.3	—	—	—
SCQL1	59	A4	422.9±29.9	403.2±29.5	95.0±0.4	14.4±0.5	1~4	—	直接 Direct
		B4	381.8±26.1	365.9±26.0	95.5±0.4	12.7±0.4	1~2	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle
		G	394.9±25.7	—	—	19.2±0.4	—	—	—
SCQL2	65	A4	431.5±14.7	407.3±15.1	94.2±0.4	16.5±0.5	1~4	—	直接 Direct
		B4	331.0±15.2	311.5±14.0	94.2±0.6	13.5±0.4	1~4	—	直接 Direct
		A4+A3	296.6±21.2	275.7±21.4	92.3±0.7	14.0±0.4	1~5	—	直接 Direct
SCCZ	51	B4	361.9±18.9	344.0±19.0	94.9±0.5	13.0±0.3	1~4	—	直接 Direct
		A4	396.1±14.3	375.4±13.8	94.8±0.4	11.9±0.2	1~4	—	直接 Direct
		B4	374.2±13.6	359.0±13.0	96.0±0.3	11.9±0.3	1~2	—	直接 Direct
SCPW1	40	G	325.8±30.4	—	—	11.4±0.4	—	—	—
		A4	387.3±22.5	362.9±21.9	93.4±0.5	12.2±0.2	1~4	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle
		B4	432.0±26.4	407.1±25.2	94.1±0.6	12.0±0.2	1~3	—	直接 Direct
SCPW2	55	G	292.7±21.5	—	—	11.6±0.3	—	—	—
		A4	277.2±13.1	260.6±13.1	93.8±0.5	12.5±0.2	1~4	—	直接 Direct
		B4	294.8±37.4	280.2±38.6	94.6±1.1	12.3±0.5	1~2	—	直接 Direct
SCJG	59	G	283.9±24.9	—	—	12.6±0.3	—	—	—
		A4	467.1±15.6	450.0±15.6	96.3±0.3	16.1±0.3	1~3	—	直接 Direct
		B4	492.2±14.7	479.3±14.5	97.4±0.2	15.5±0.2	1~3	—	直接 Direct
SCDY	25	A4+A3	486.4±14.2	451.5±13.7	92.8±0.5	21.1±0.3	1~6	—	直接 Direct
		A4+A3	420.0±20.7	402.6±20.7	95.7±0.4	13.7±0.3	1~6	—	直接 Direct
		B4	406.5±18.8	387.0±18.6	95.1±0.3	12.4±0.2	1~3	—	直接 Direct
CQDZ	53	G	288.4±30.5	—	—	12.3±0.3	—	—	—
		A4	362.1±23.8	335.6±22.5	92.5±0.8	15.9±0.4	1~4	—	直接 Direct
		B4	412.6±101.9	399.5±99.9	96.8±0.3	13.5±1.5	1~2	—	直接 Direct
CQTN	55	G	348.7±15.3	—	—	13.9±0.3	—	—	—

续表 2 Continued Table 2

非腺毛形态结构特征 Morphological characteristic of non-glandular hair									
居群编号 Code	密度 Density 个/mm <sup>2</sup>	非腺毛 类型* Type	全长 Full length /μm	顶细胞长 Apical cell length /μm	顶细胞占比例 Ratio of the apical cell/%	顶细胞直径** Diameter of the apical cell/μm	基部细胞数 Number of base cell	伸长细胞数 Number of elongated cell	顶细胞和相邻细胞连接方式 Connection pattern of apical cell and adjacent cell
SCQC	49	B4	543.9±30.0	528.2±29.7	97.0±0.2	13.2±0.3	1~3	—	直接 Direct
		A4	463.8±33.2	447.2±33.3	96.2±0.4	13.6±0.5	1~2	—	直接 Direct
		G	481.6±35.0	—	—	12.4±0.4	—	—	—
SCPW3	77	B3+B4	431.9±14.0	389.3±13.4	90.1±0.6	14.3±0.3	2~6	—	直接 Direct
		A3+A4	422.9±16.7	379.6±15.1	89.9±0.8	13.3±0.3	2~7	—	直接 Direct
		B5+B4	497.9±14.7	480.0±14.2	96.4±0.2	11.6±0.2	1~3	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle
SCYA	113	A4	480.5±21.1	458.1±21.2	95.2±0.4	11.6±0.2	1~3	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle
		G	502.4±83.1	—	—	11.4±0.6	—	—	—
		B5+B4	727.2±82.7	708.1±81.9	97.2±0.4	13.1±0.6	1~2	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle
SCHY	125	A4	549.7±61.3	531.4±59.7	96.5±0.6	12.3±0.4	1~3	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle
		C	723.5±39.9	712.6±39.1	98.5±0.1	13.0±0.4	1~3	—	偏斜 T 型 Skew T-type
		F1	660.6±64.4	642.2±62.9	97.2±0.5	13.7±0.3	1~4	—	直接 Direct
		G	682.6±58.2	—	—	13.4±0.5	—	—	—
		B5+B4	555.0±30.0	537.3±29.0	96.8±0.3	12.2±0.3	1~3	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle
SCLC	149	A4	484.8±55.4	465.4±53.3	96.0±0.5	14.0±0.6	1~3	—	直接 Direct
		G	510.2±64.1	—	—	13.0±0.5	—	—	—
		B5+B4	703.5±32.7	683.2±32.5	97.0±0.3	12.5±0.3	1~5	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle
GSCX	107	A4	702.8±39.5	683.5±39.6	97.2±0.3	12.0±0.3	1~3	—	直接 Direct
		G	617.8±47.8	—	—	12.4±0.5	—	—	—
		B5+B4	648.5±31.1	629.8±30.6	97.1±0.3	13.6±0.5	1~4	—	直接 Direct
SCMC	115	A4	534.3±35.5	514.8±35.7	96.5±0.3	14.5±0.4	1~3	—	直接 Direct
		G	642.8±45.2	—	—	13.2±0.3	—	—	—
		D2a	427.9±14.0	333.2±14.1	77.7±1.5	7.7±0.2	1~7	—	直角/钝角 Direct/Obtuse angle
HBSY	62	D2b	365.7±14.6	298.4±12.8	81.5±1.1	7.5±0.2	1~4	—	直角/钝角 Direct/Obtuse angle
		A2	369.1±17.3	285.2±20.6	77.0±2.9	7.6±0.4	2~4	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle
		B2	427.3±14.5	342.7±13.3	80.2±2.3	8.8±0.3	1~4	—	直接 Direct
		D2a	382.6±15.3	309.2±12.3	80.9±0.8	7.5±0.3	1~6	—	直角/钝角 Direct/Obtuse angle
HBYX	65	D2b	418.9±41.2	343.0±30.6	82.1±1.0	8.5±0.4	1~2	—	直角/钝角 Direct/Obtuse angle
		A2	351.8±47.9	282.3±35.8	81.0±1.3	8.2±0.5	2~4	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle
		B2	348.8±33.6	297.0±29.8	85.0±0.7	7.9±0.4	1~2	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle
		G	282.1±33.7	—	—	7.3±0.4	—	—	—
		D2a	382.6±15.3	309.2±12.3	80.9±0.8	7.5±0.3	1~6	—	直角/钝角 Direct/Obtuse angle



续表 2 Continued Table 2

		非腺毛形态结构特征 Morphological characteristic of non-glandular hair								
居群编号 Code	密度 Density 个/mm <sup>2</sup>	非腺毛 类型* Type	全长 Full length /μm	顶细胞长 Apical cell length /μm	顶细胞占比例 Ratio of the apical cell/%	顶细胞直径** Diameter of the apical cell/μm	基部细胞数 Number of base cell	伸长细胞数 Number of elongated cell	顶细胞和相邻细胞连接方式 Connection pattern of apical cell and adjacent cell	
SXSX	36	D2a	390.3±17.9	278.1±12.4	71.6±1.6	7.7±0.2	1~8	—	直角/钝角 Direct/Obtuse angle	
		D2b	392.3±29.4	289.7±25.7	73.7±2.4	7.9±0.3	1~3	—	直角/钝角 Direct/Obtuse angle	
		A2	319.9±18.8	227.4±16.7	70.9±2.9	7.5±0.2	1~6	—	直接 Direct	
		B2	370.8±24.1	265.1±15.2	72.4±2.9	7.9±0.2	1~3	—	直接 Direct	
SXSX	20	<u>D1a+D2a</u>	339.7±12.5	208.4±11.2	61.8±2.7	7.5±0.2	2~15	1~2	直角/钝角 Direct/Obtuse angle	
		D2b	374.2±11.7	243.3±12.3	64.1±2.5	7.9±0.2	3~10	—	直角/钝角 Direct/Obtuse angle	
		A1+A2	300.9±10.0	206.1±8.9	68.8±2.8	7.5±0.4	3~9	1~2	直接 Direct	
		B1+B2	395.7±22.6	178.0±18.1	46.6±5.4	8.5±0.3	4~11	1~5	直接/钝角 Direct/Obtuse angle	
SXNZ	36	<u>D2a</u>	378.1±12.2	307.9±12.1	81.2±1.2	7.2±0.3	2~9	—	直角/钝角 Direct/Obtuse angle	
		D2b	328.3±25.0	259.8±21.2	79.0±1.8	6.3±0.4	2	—	直角/钝角 Direct/Obtuse angle	
		A2	332.3±14.3	266.3±12.8	80.1±1.7	7.5±0.3	1~6	—	直接 Direct	
		B2	346.5±25.5	280.4±22.2	80.7±1.7	7.2±0.3	1~4	—	直接/钝角 Direct/Obtuse angle	
G	305.4±27.9	—	—	7.8±0.9	—	—	—	—		
SXZB	3	<u>D1a</u>	532.2±14.5	346.5±11.1	65.1±1.1	10.9±0.3	5~12	1~3	直角/钝角 Direct/Obtuse angle	
		D1b	450.3±87.6	351.2±47.3	79.0±4.9	9.6±0.9	5~11	1~2	直角/钝角 Direct/Obtuse angle	
		A1	467.3±30.6	329.9±16.2	71.2±3.9	11.6±0.7	5~9	2	直接 Direct	
		B1	386.7±54.4	254.2±38.2	65.8±2.7	11.4±0.5	6~10	1~2	直接 Direct	
SCWY	9	F	233.1±6.0	217.5±6.1	93.3±0.8	36.2±1.9	1~4	—	直角/钝角 Direct/Obtuse angle	
		<u>A5+A6</u>	220.8±20.0	207.7±22.7	93.8±1.8	31.9±1.8	1~2	—	直接 Direct	
		G	209.0±13.2	—	—	37.1±2.2	—	—	—	
SCCD	43	E	192.9±6.5	180.5±6.5	93.5±0.4	19.9±0.7	1~2	—	直接 Direct	
		<u>A5+A6</u>	149.9±8.7	137.1±7.8	91.5±0.7	22.2±0.7	1~3	—	直接 Direct	
G	183.3±10.1	—	—	20.1±0.6	—	—	—	—		

注: \* 有下划线的类型表示为该居群非腺毛的最主要类型; \*\* 多细胞毛为顶细胞中部的直径, 单细胞毛为毛的中部直径

Note: \* The underlined types represent the most important type of non-glandular hair in this population; \*\* Multicellular hairs are the central diameter of the apical cell, and single cell hairs are the central diameter of the hair

表 3 基于非腺毛类型对柔毛淫羊藿及近缘种 36 个居群分类表

Table 3 Non-glandular hair types of 36 populations of *E. pubescens* and related species

居群类型 Types of population	居群编号 Code of population
A I ( <u>A4</u> +A3+B4)	SCLZ2, SCCZ, SCJY1, CQDZ
A II ( <u>A4</u> +B4)	SCLZ1, SCNJ, SCBZ, SCDJY1, SCQL1, SCQL2, SCPW1, SCPW2, SCJG, SCDY, CQTN
A III ( <u>A5</u> +A4+B4)	SCDJY2, SCMS, SCBC
A IV ( <u>A5</u> )	SCQW, SCJY2
A V ( <u>A5</u> +A6)	SCSL
B I ( <u>B3</u> +B4+A3+A4)	SCPW3
B II ( <u>B4</u> +A4)	SCQC
B III ( <u>B5</u> +B4+A4)	SCYA, SCLC, SCMS, GSCX
B IV ( <u>B5</u> +B4+A4+C)	SCHY
D I ( <u>D1a</u> +D1b+A1+B1)	SXZB
D II ( <u>D1a</u> +D2a+D2b+A1+A2+B1+B2)	SXSX
D III ( <u>D2a</u> +D2b+A2+B2)	HBSY, HBYX, SXSX, SXNZ
E0 ( <u>E</u> +A5+A6)	SCCD
F0 ( <u>F</u> +A5+A6)	SCWY

注：具下划线的非腺毛类型为该居群的主要类型

Not: The underlined types represent the main type of non-glandular hair in this population

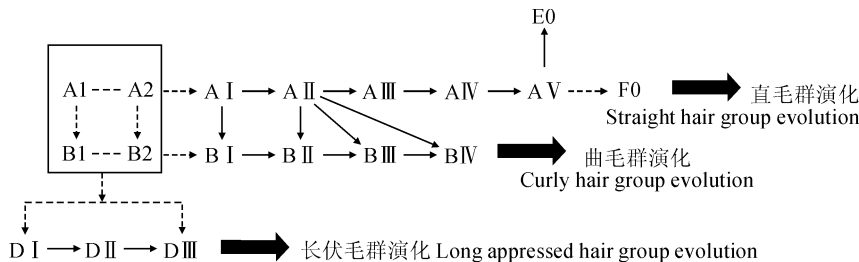


图 2 柔毛淫羊藿及近缘种基于非腺毛形态的居群演化关系图

Fig. 2 Population-relation graph of *E. pubescens* and related species based on non-glandular types

中作为主要类别的非腺毛存在，也未存在于直毛群和曲毛群中，而在长伏毛群 D 群中为次要类型毛。此外，在 A I 群中，非腺毛 A3 与 A2 较相似，无伸长细胞，基部细胞较多，只是 A3 基部细胞略短小；在 B I 群中，非腺毛 B3 与 B2 也较相似。我们认为这 4 种非腺毛可能与直毛群、曲毛群和伏毛群是有联系的。

2.5 柔毛淫羊藿及近缘种非腺毛形态与地理分布相关性分析

将各个居群按照非腺毛构成定义的名称填入地理分布图中(图 3)，由图 3 可看出，直毛群 A 分布在柔毛淫羊藿的核心区域，其中较为演化的 A IV 和 A V 分布在较外区域；曲毛群 B 则在核心区外围的北部、西部和南部，也可证实直毛群-曲毛群的演化关系；长伏毛群 D 分布为离核心区 and 曲毛群分布点较远的另一个区域，与直毛群可能存在一定的联系，在长伏毛群内，由于样本比较少，D I ~ D III 的演化关

系不甚明朗，有待进一步研究。拟短伏毛群 E0 分布于直毛群中，可能为 A V 直接演化而来；而短伏毛群 F0 形态离直毛群 A V 的关系较近，但地理上与直毛群核心区域较远，因此还需要进一步研究。

顶细胞和相邻细胞的连接方式导致直接连接的直毛、曲毛和拟短伏毛，与直角/钝角连接的长伏毛和短伏毛两个大的类型群之间，在地理上是能区分的，其中陕西南郑居群 SXNZ(D III)和四川南江居群 SCNJ(A II)为两个类型的分界居群(均属于柔毛淫羊藿)，值得进一步研究两类非腺毛毛分化的产生。具有 B IV 型非腺毛构成的只有一个居群 SCHY，与距离很近的 SCYA 居群的非腺毛构成，多了 C 类伏曲毛(区别于 B 类毛特征在于其顶细胞和相邻细胞的连接方式为 T 型/偏斜 T 型连接)，而连接方式在柔毛淫羊藿及近缘种的各居群中是不连续分布的，因此 SCHY 居群也有待研究。



图3 36个居群非腺毛形态与地理分布相关性

Fig. 3 Correlation between non-glandular hair characteristics and geographical distribution of 36 populations

## 3 讨论

### 3.1 柔毛淫羊藿及其近缘种分类学关系

刘翔等基于花、花序、主要非腺毛类型和 ISSR 分析结果建议将星花淫羊藿处理为柔毛淫羊藿种下等级。本文基于居群多细胞非腺毛构成以及地理分布,柔毛淫羊藿及近缘种各居群的关系得到了进一步的阐明,其中星花淫羊藿的 3 个居群均为长伏毛群的 DⅢ群,地理上位于东北侧,但是与柔毛淫羊藿的陕西山阳居群形态地理上均具有联系性,同意刘翔等观点<sup>[10]</sup>。镇巴淫羊藿和万源淫羊藿地理上相距很近,但居群毛的构成上,前者为 D I 群,后者为 F<sub>0</sub> 群(二者虽然属于顶细胞和相邻细胞的连接方式上为 T 型/偏斜 T 型连接,但基部细胞组成和形态差异很大),周围无 A 群和其他 D 群(F<sub>0</sub> 和 A V 虽然形态上有联系,但地理上也没有连接点)相关的联系居群样本,因此需要增加邻近地区的其他居群(特别是属于柔毛淫羊藿的居群)的研究才能进一步阐明他们和柔毛淫羊藿的关系。

### 3.2 单细胞毛和乳突的分类学价值探讨

本研究观察到柔毛淫羊藿及其近缘种共 27 个居群中具有单细胞毛,占本研究中居群总数的 75%,直毛群(A 群)21 个居群中除 SCCZ、SCJY1、SCQL2、SCDY 4 个居群外,81.0%具有单细胞毛;曲毛群(B 群)7 个居群中仅 SCPW3 居群未看到单细胞毛,85.7%居群具有单细胞毛;而长伏毛群(D

群)6 个居群中有 4 个居群(SXZB、SXSX、HBSY、SXSXN)无单细胞毛,仅 33.3%居群具有单细胞毛,拟短伏毛群(E<sub>0</sub> 群)和短伏毛群(F<sub>0</sub> 群)各 1 个居群均有单细胞毛,说明单细胞毛主要存在直毛群、曲毛群、拟短伏毛群和短伏毛群中。以不同种类淫羊藿单细胞毛居群分析发现,柔毛淫羊藿 80.6%居群具有单细胞毛,星花淫羊藿仅 33.3%的居群具有单细胞毛,万源淫羊藿具有单细胞毛,镇巴淫羊藿无单细胞毛。因此,我们认为单细胞毛可能与主流非腺毛类型和地理分布有关,与种类是否有关还需进一步研究。

自梁海锐等<sup>[14]</sup>1992 年首次发现淫羊藿叶背表皮细胞壁突起以来,王悦云等<sup>[13]</sup>、张晓东<sup>[15]</sup>和康帅等<sup>[12]</sup>相继发现 20 个物种,分别是湖南淫羊藿(*Epimedium hunanense*)、茂汶淫羊藿(*E. platypetalum*)、川鄂淫羊藿(*E. fargesii*)、粗毛淫羊藿(*E. acuminatum*)、箭叶淫羊藿(*E. sagittatum*)、黔岭淫羊藿(*E. leptorrhizum*)、宝兴淫羊藿(*E. davidii*)、星花淫羊藿(*E. stellulatum*)、长蕊淫羊藿(*E. dolichostemon*)、天平山淫羊藿(*E. myrianthum*)、水城淫羊藿(*E. shuichengense*)、小叶淫羊藿(*E. parvifolium*)、贵州淫羊藿(*E. sagittatum* var. *guizhouense*)、偏斜淫羊藿(*E. truncatum*)、朝鲜淫羊藿(*E. koreanum*)、单叶淫羊藿(*E. simplicifolium*)、竹山淫羊藿(*E. zhushanense*)、绿药淫羊藿(*E. chlorandrum*)、四川淫羊藿(*E. sutchuenense*)、巫山淫羊藿(*E. wushanense*)存在乳突。柔毛淫羊

藿(*E. pubescens*)、淫羊藿(*E. brevicornu*)、黔北淫羊藿(*E. borealiguizhouense*)、毡毛淫羊藿(*E. coactum*)、德务淫羊藿(*E. dewuense*)、无距淫羊藿(*E. ealcaratum*)、短茎淫羊藿(*E. brachyrrhizum*)、膜叶淫羊藿(*E. membranaceum*)、腺毛淫羊藿(*E. glandulosopilosum*)、少花淫羊藿(*E. pauciflorum*)、木鱼坪淫羊藿(*E. franchetii*)、恩施淫羊藿(*E. enshiense*)12个种叶背无乳突,但本研究通过对36个居群柔毛淫羊藿及近缘种叶背特征研究发现13个居群(SCBZ、SCPW1、SCPW2、SCPW3、SCNJ、SXSX、SCLZ2、SCQC、HBYX、SXSN、SXZB、SCWY、SCJY1)具有乳突。对13个居群进一步分析发现,非腺毛较少(非腺毛密度少于50个/mm<sup>2</sup>)的居群69.2%具有乳突,如SXSX(非腺毛密度为20个/mm<sup>2</sup>)、SCNJ(42)、SCQC(49)、SCPW1(40)、SCLZ2(29)、SXSN(36)、SXZB(3)、SCWY(9)、SCJY1(21)居群,另外4个居群SCBZ(60)、SCPW2(55)、SCPW3(77)、HBYX(65)非腺毛较多,密度大于50个/mm<sup>2</sup>,具有乳突,占非腺毛多居群的17.4%,也说明了非腺毛密度与乳突间可能存在负

相关性。特别是以长卷曲毛(BⅢ群、BⅣ群)为主的SCYA(113)、SCHY(125)、SCLC(149)、SCMC(115)、GSCX(107)5居群非腺毛最多,密度达100个/mm<sup>2</sup>以上,叶背均不具乳突;以不同种类分析柔毛淫羊藿29.3%居群、星花淫羊藿66.7%居群、镇巴淫羊藿和万源淫羊藿具有乳突。因此,我们认为乳突与非腺毛密度可能具有一定的关系,具体仍需对淫羊藿属的其他类群进行研究。

通过对柔毛淫羊藿及近缘种36个居群非腺毛研究发现,柔毛淫羊藿及近缘种非腺毛形态结构特征、有无单细胞、有无乳突,并不是完全一致的,但分析表明居群间整体呈现连续变异,所有居群均有直毛A类型非腺毛,说明直毛A类为柔毛淫羊藿及近缘种的核心类型非腺毛。由此可见,非腺毛性状至少在某些种内变异十分复杂,不同产地/居群间存在不同程度的共性和个性类别。所以在以后利用非腺毛进行分类和演化分析时,应注意需要有足够的样本数量,特别是不同居群的样本量,除了进行形态的观察和主要类型的归类外,还应该总结出共性和个性类别。

## 参考文献:

- [1] 应俊生. 中国植物志(第二十九卷)[M]. 北京:科学出版社, 2001:271.
- [2] STEARN W T. The small-flowered Chinese species of *Epimedium* (Berberidaceae) [J]. *Kew Bulletin*, 1993, **48**(4): 807-813.
- [3] 郭宝林,裴利宽,肖培根. 淫羊藿属植物黄酮类化合物的分类学意义再探[J]. 植物分类学报, 2008, **46**(6): 874-885.  
GUO B L, PEI L K, XIAO P G. Further research on taxonomic significance of flavonoids in *Epimedium* (Berberidaceae) [J]. *Journal of Systematics and Evolution*, 2008, **46**(6): 874-885.
- [4] 植汉成,葛菲,郭宝林,等. 非腺毛形态在(药用)植物分类和植物类药材鉴别方面的研究进展[J]. 中国现代中药, 2018, **20**(4): 489-494.  
ZHI H C, GE F, GUO B L, et al. Research progress of nonglandular hairs morphology in classification of medicinal plants and identification of plant medicinal materials[J]. *Modern Chinese Medicine*, 2018, **20**(4): 489-494.
- [5] 何顺志. 中国淫羊藿属植物彩色图鉴[M]. 贵阳:贵州科技出版社, 2014:106.
- [6] 梁海锐,阎文玫,李家实,等. 淫羊藿属植物毛茸的研究[J]. 北京中医药大学学报, 1990, **13**(2): 42-47.  
LIANG H R, YAN W M, LI J S, et al. Study on the hairs of *Epimedium* species[J]. *Journal of Beijing College of Traditional Chinese Medicine*, 1990, **13**(2): 42-47.
- [7] 何顺志,李玲,罗涛. 贵州淫羊藿商品药材的生药鉴定研究[J]. 贵州林业科技, 1992, **20**(4): 41-44.  
HE S Z, LI L, LUO T. Pharmacognostical identification study on herba *Epimedium* of Guizhou[J]. *Guizhou Forestry Science and Technology*, 1992, **20**(4): 41-44.
- [8] 何顺志,郭宝林,王晓春. 箭叶淫羊藿及近缘种的分类研究[J]. 贵州科学, 2003, **21**(z1): 102-106.  
HE S Z, GUO B L, WANG X C. Taxonomic study on *Epimedium sagittatum* (Berberidaceae) [J]. *Guizhou Science*, 2003, **21**(z1): 102-106.
- [9] 高敏. 中国地区淫羊藿属非腺毛特征及木兰花碱含量研究[D]. 北京:北京协和医学院, 2011: 31-60.
- [10] 刘翔,付长珍,郭宝林,等. 基于ISSR技术和非腺毛特征研究柔毛淫羊藿和近缘种遗传关系和居群遗传多样性[J]. 中国中药杂志, 2017, **42**(16): 3 090-3 097.  
LIU X, FU C Z, GUO B L, et al. Genetic relationship and population genetic diversity of *Epimedium pubescens* and its related species based on ISSR and nonglandular hair characteristic[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2017, **42**(16): 3 090-3 097.
- [11] 高敏,冯学锋,郭宝林,等. 淫羊藿药典品种显微鉴别研究[J]. 中国中药杂志, 2009, **34**(23): 3 123-3 125.  
GAO M, FENG X F, GUO B L, et al. Study on microscopic identification of pharmacopoeia contained species of *Epimedium Folium* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2009, **34**(23): 3 123-3 125.
- [12] 康帅,鲁静,张继,等. 淫羊藿药典品种的基原调查及性

状显微鉴别研究[J]. 中国中药杂志, 2018, **43**(4): 696-703.  
KANG S, LU J, ZHANG J, *et al.* Study on original investigation, macroscopic and microscopic identification of pharmacopoeia contained species of *Epimedii Folium* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2018, **43**(4): 696-703.

- [13] 王悦云, 何顺志, 郭宝林. 中国淫羊藿属小花类群非腺毛形态[J]. 云南植物研究, 2008, **30**(4): 423-429.  
WANG Y Y, HE S Z, GUO B L. Non-glandular hairs of small-flowered taxa in *Epimedium* (Berberidaceae) from Chi-

na and their taxonomic significance[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2008, **30**(4): 423-429.

- [14] 梁海锐, 阎文玫. 国产淫羊藿属叶表面特征的研究[J]. 西北植物学报, 1992, **12**(2): 142-148.  
LIANG H R, YAN W M. Studies on leaf surface characteristics of the genus *Epimedium* in China[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 1992, **12**(2): 142-148.  
[15] 张晓冬. 中国淫羊藿属 *Epimedium* 大花类群分类鉴定与药材质量研究[D]. 贵阳: 贵阳中医学院, 2009: 9-40.



图版 I 柔毛淫羊藿及其近缘种非腺毛类型及乳突

A1~A4. 长直毛; A5~A6. 短直毛; B1~B4. 弯曲毛; B5. 长卷曲毛; C. 伏曲毛; D1a、D2a. 长伏直毛; D1b、D2b. 长伏曲毛; E. 短伏毛; F. 短伏毛; G. 单细胞毛

Plate I Different types of non-glandular hairs and mastoid in *E. pubescens* and its related species

A1~A4. Long straight hair; A5~A6. Short straight hair; B1~B4. Curved hair; B5. Long curly hair; C. Appressed curly hair; D1a and D2a. Long appressed straight hair; D1b and D2b. Long curly appressed hair; E. Pseudo short appressed hair; F. Short appressed hair; G. Single cell hair

(编辑: 潘新社)