

箭叶淫羊藿的资源分布及质量特征研究进展

徐艳琴¹, 李仁清¹, 张华雁¹, 李凤琴¹, 蒋 勇^{1*}, 黄小方^{1,2*}

1. 江西中医药大学药学院, 江西 南昌 330004

2. 江西中医药大学, 江西 南昌 330004

摘 要: 为促进箭叶淫羊藿 *Epimedium sagittatum* 的资源开发和合理利用, 提出资源利用策略及未来研究方向。结合标本统计和野外实地调查, 对箭叶淫羊藿资源分布进行系统整理。同时, 结合文献查阅和课题组前期研究, 对其药材质量特征, 如不同采收期、不同部位、不同产地的活性成分含量差异进行综述。从资源分布来看, 箭叶淫羊藿为淫羊藿属分布较广的物种, 但较多腊叶标本存在鉴定错误, 至少有 13 个其他类群被鉴定为箭叶淫羊藿。12 个省和重庆市查询到分布记录, 但主要分布于安徽、江西、湖南和湖北 4 省, 且各地资源量并不丰富。从质量特征来看, 不同种质的活性成分种类和含量均存在巨大差异, 湖南、湖北和四川省等地部分种质优异, 但整体稳定性和均一性都不理想。资源利用应根据不同种质特征区别对待。箭叶淫羊藿不同种质的质量和形态差异悬殊, 且与遗传因素密切相关。未来可关注生理生态对质量的影响及机制、药材质量形成分子机制等研究方向。

关键词: 箭叶淫羊藿; 资源分布; 质量特征; 种质筛选; 采收期

中图分类号: R286

文献标志码: A

文章编号: 0253-2670(2020)23-6119-14

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2020.23.027

Distribution of *Epimedium sagittatum* and its research progress on quality characteristics

XU Yan-qin¹, LI Ren-qing¹, ZHANG Hua-yan¹, LI Feng-qin¹, JIANG Yong¹, HUANG Xiao-fang²

1. College of Pharmacy, Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330004, China

2. College of Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330004, China

Abstract: To promote the rational development and utilization of *Epimedium sagittatum*, and to propose the utilization strategies and future research suggestions. The distribution was illuminated based on the examination of herbarium specimens and our field investigation. At the same time, the quality characteristics of different harvest time, different parts and different producing areas were summarized according to the literature review and our previous researches. In terms of the distribution, *E. sagittatum* is a widely distributed species in *Epimedium*. However, there were many errors in the identification of herbarium specimens. At least 13 taxa were wrongly identified as *E. sagittatum*. The distribution of *E. sagittatum* was not as extensive as previously recorded in the literature. Although the distribution of *E. sagittatum* has been recorded in 12 provinces and in Chongqing Municipality, it was mainly distributed in Anhui, Jiangxi, Hunan and Hubei provinces, and the resources in each region were not abundant. In terms of quality characteristics, there were great differences in both composition and contents of the active components among different germplasm. Some of the germplasm in Hunan, Hubei and Sichuan provinces were excellent. However, the stability and homogeneity were not ideal. Therefore, the utilization of *E. sagittatum* should depend on the quality characteristics. It was found that there were great differences among populations and which were closely related to the genetic basis. The effect of physiological ecology on quality and its mechanism, as well as the molecular mechanism of quality formation should be paid more attention in the future.

Key words: *Epimedium sagittatum* (Sieb. et Zucc.) Maxim.; distribution; quality characteristics; germplasm selection; harvest time

收稿日期: 2020-04-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31360036); 江西省自然科学基金资助项目 (20181BAB205075); 江西中医药大学 1050 人才工程项目 (5141900107); 江西中医药大学中药学一流学科科研启动项目 (JXSYLXK-ZHYAO023)

作者简介: 徐艳琴 (1980—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 国家中医药管理局重点学科《药用植物学》后备学科带头人, 江西省中医药中青年人才培养对象, 江西省青年科学家培养对象, 研究方向为药用植物分类及资源开发。

Tel: (0791) 87118997 E-mail: yqxutcm@163.com

*通信作者 蒋 勇, 男, 硕士, 主要从事中药资源与开发研究。E-mail: 13971621249@163.com

黄小方, 男, 博士, 副教授, 主要从事中药质量评价研究。E-mail: kossho@126.com

淫羊藿 *Herba Epimedii* 为历版《中国药典》(以下简称药典)收录品种,始载于《神农本草经》,已有 2 000 多年的历史,具有补肾阳、强筋骨和祛风湿的功效,主要用于治疗肾阳虚衰、风湿痹痛和麻木拘挛等^[1]。现代药理研究表明其在助孕、抗骨质疏松、控制糖尿病、提高免疫力和抑制肿瘤等方面具有明显功效^[2-6],为最具开发潜力和重点研究中药之一^[7]。目前,箭叶淫羊藿 *Epimedium sagittatum* (Sieb. et Zucc.) Maxim.、淫羊藿 *E. brevicornu* Maxim.、柔毛淫羊藿 *E. pubescens* Maxim.和朝鲜淫羊藿 *E. koreanum* Nakai 共同作为药材淫羊藿的基原^[1]。淫羊藿在医药、保健品领域应用广泛,为多种产品的主要原料。在提倡大健康 and 中医药大发展的背景下,淫羊藿作为保健品常用品种,市场潜力巨大^[8],2011 年全国年需求量高达 5 000 t^[9],且呈逐年上升趋势,逐渐步入大宗品种行列,在中药产业中占有重要地位^[10]。

优质与充足的淫羊藿资源是医药产品健康可持续发展的重要保障和支撑。但目前市售淫羊藿药材存在非常突出的质量问题。马清娟等^[11]检测淫羊藿不同产区 104 批样品淫羊藿苷的含量,全部不达标,其中 15 批未检出淫羊藿苷,其他含量仅为 0.01%~0.17% (药典标准为 0.50%)。徐文芬等^[12]测定 100 份不同品种和不同产地样品的含量,仅 34 份样品的淫羊藿苷含量达到药典要求。对质量评价相关文献^[11-14]的统计结果显示,药典收录的各种淫羊藿均存在不达标情况,给临床应用和质量监管带来困难,在业界成为热点问题。

淫羊藿多基原、多产地、难鉴别的特点是淫羊藿质量控制中重点关注的问题^[15]。在药典收录的 5 种基原中,箭叶淫羊藿,又名三枝九叶草,是最早被药典收录的品种^[16],且被历版药典所收载^[1,16-23]。其质量问题尤为突出,不同居群/产地化学成分种类差异大,质量极其不稳定,不合格率甚至高达 80%^[12],对其资源利用和临床疗效产生不利影响^[14]。

为促进箭叶淫羊藿的资源合理利用和种质选育,为临床用药的安全性和有效性提供参考,并为后续质量控制研究提供思考。本文对其资源分布及药材质量特征,如不同采收期、不同部位、不同产地活性成分的种类及含量差异研究进行综述,藉此提出未来研究方向。

1 资源分布

1.1 分类界定

箭叶淫羊藿被公认为淫羊藿属 *Epimedium* L.分

类学上最难处理的种,不同学者具有不同观点。徐艳琴等^[24]对箭叶淫羊藿复合种进行系统整理,将贵州淫羊藿 *E. sagittatum* var. *guizhouense* S. Z. He & B. L. Guo 和普定淫羊藿 *E. pudingense* S. Z. He, Y. Y. Wang & B. L. Guo 分别处理为箭叶淫羊藿和箭叶淫羊藿光叶变种,认为箭叶淫羊藿仅包含光叶淫羊藿一个变种,与《中国植物志》^[25]和 *Flora of China*^[26]观点一致。因此,本文关于箭叶淫羊藿的分类界定,只接受箭叶淫羊藿 *E. sagittatum* (Sieb. et Zucc.) Maxim. 及其光叶淫羊藿变种 *E. sagittatum* var. *glabratum* T. S. Ying。

1.2 分布信息

通过国家植物标本资源库标本信息查阅及标本馆实地查阅。涉及的标本馆及其号码见表 1。对箭叶淫羊藿及光叶淫羊藿变种的所有标本进行整理,并结合本课题组 10 余年野外实地调查,获得其野生种群的地理分布信息(表 2、3)。

表 1 标本馆代码及名称

Table 1 Code and name of herbarium

代码	名称
AU	厦门大学生物生命科学院植物标本室
BNU	北京师范大学生命科学院植物标本室
CDBI	中科院成都生物研究所标本馆
CSFI	中南林业科技大学林学院森林植物标本
GXMI	中科院广西植物研究标本馆
GZTM	贵阳中医学院标本馆
HGAS	贵州科学院生物研究所植物标本馆
HHBG	杭州植物园标本馆
HIB	中科院武汉植物园标本馆
HNEU	河南师范大学生命科学学院生物标本馆
HX	中国科学院华西亚高山植物园标本馆
IBK	广西植物研究所标本馆
IBSC	中科院华南植物园标本馆
IMC	重庆市药物种植研究所标本馆
IMD	中国医学科学院药用植物研究所标本馆
JIU	吉首大学植物标本馆
JJF	九江森林植物标本馆
JXCM	江西中医药大学标本馆
KUN	中科院昆明植物研究所标本馆
LBG	庐山植物园标本馆
N	南京大学植物标本室
NAS	江苏省中国科学院植物研究所标本馆
PE	中科院植物研究所标本馆
QNUN	黔南民族师范学院植物标本室
QTPMB	中国科学院西北高原生物研究所标本馆
SM	重庆市中药研究院标本馆
SYS	中山大学植物标本室
WUK	西北农林科技大学生命科学学院植物研究所标本馆

表 2 箭叶淫羊藿分布信息

Table 2 Distribution information of *Epimedium sagittatum*

省	市州	区县	海拔/m	标本号
安徽	黄山	休宁县	223~800	228 (NAS)、25223 (NAS)、2283 (NAS)、郭宝林 506 (IMD)
	黄山	黄山区	403~727	郭宝林 508 (IMD)、岳俊三 1781 (NAS)、徐艳琴和许瑛 2012011 (JXCM)
	黄山	祁门县	不详	154 (IMD)、姚淦等 10596 (NAS)
	黄山	歙县	不详	0053 (NAS)、叶培忠 279 (NAS)
	六安	金寨县	291~1 200	27 (PE)、96 (PE)、姚淦 10060 (NAS)、郭宝林 501 (IMD)、邓懋彬 81693 (NAS)、邓懋彬和郎楷永 930036 (PE)
	六安	霍山县	350~900	郭宝林 502 (IMD)、安大采集队 50496 (NAS)、邓懋斌和姚淦 81489 (NAS)、邓懋斌和姚淦 81551 (NAS)
	六安	舒城县	不详	3064 (PE)
	池州	青阳县	400~580	98 (IMD)、安 5249 (NAS)、安 5784 (NAS)
	池州	东至县	不详	岳俊三 2909 (NAS)
	池州	石台县	不详	Courtois 19013 (NAS)
	安庆	潜山县	245~1 200	840100 (IMD)、840304 (IMD)、P030752 (IMD)
	宣城	宣州区	150	164 (NAS)
	宣城	泾县	—	022 (NAS)
	滁州	凤阳县	300	安 5077 (NAS)
江西	九江	武宁县	101~1 100	熊耀国 7504 (LBG)、杨祥学 16032 (IBSC)、谭策铭 97372 (IBSC)、徐艳琴和许瑛 2012010 (JXCM)
	九江	九江县	40	谭策铭和胡兵 01066 (JJF)
	抚州	南丰县	133	聂敏详 2399 (LBG)、杨祥学 650347 (IBSC)、徐艳琴和许瑛 2012008 (JXCM)
	抚州	广昌县	700	岳俊三等 2582 (NAS)
	上饶	婺源县	不详	李启和和陈策 120 (LBG)、Anonymous 552 (PE)、Courtois 31518 (NAS)
	萍乡	芦溪县	750	熊耀国 7879 (LBG)、赵万义等 LXP-13-09758 (SYS)
	萍乡	萍乡市	不详	江西调查队 737 (PE)
	赣州	大余县	500	林英 1426 (LBG)
	赣州	寻乌县	650	岳俊三等 1950 (NAS)
	赣州	上犹县	不详	Anonymous (70) 549 (PE)
	吉安	井冈山市	600	王江林和张少春 8220424 (LBG)
	吉安	遂川县	不详	236 部队 500 (PE)
	鹰潭	贵溪市	560	沈黄胡 155 (LBG)
湖南	湘西	保靖县	385~500	郭宝林和罗秀珍 89015 (IMD)、徐艳琴和张科宁 2013008 (JXCM)
	湘西	龙山县	1 000~1 087	刘林翰 1560 (PE)、徐艳琴和张科宁 2013006 (JXCM)
	湘西	古丈县	171	栗林 4331261409060580 (JIU)
	湘西	花垣县	721	郭宝林 A74 (IMD)
	湘西	吉首市	300	郭宝林 A86 (IMD)
	湘西	永顺县	600	北京队 1192 (PE)
	永州	江华县	235~341	裴利宽 515 (IMD)、徐艳琴和张科宁 2013022 (JXCM)
	长沙	浏阳市	163	徐艳琴和许瑛 2012020 (JXCM)
	郴州	宜章县	不详	梁宝汉 83089 (IBSC)
	衡阳	衡山县	800	陈重明和岳俊三 1783 (NAS)
	怀化	芷江县	360	徐艳琴和许瑛 2012019 (JXCM)
	邵阳	新宁县	357	郭宝林 A61 (IMD)
	永州	江永县	247	徐艳琴和张科宁 2013021 (JXCM)
	张家界	慈利县	—	朱国兴 31 (IBK)
浙江	湖州	安吉县	350~900	郭宝林 509 (IMD)、俞力鹏和邓懋彬 97027 (PE)、方炎明等 975183 (PE)、贺贤育 24118 (HHBG)
	台州	天台县	1 160	0020 (NAS)、951 (NAS)、28407 (HHBG)、1224 (NAS)
	丽水	龙泉市	278	郭宝林 510 (IMD)、Anonymous 22076 (HHBG)、浙江植物资源普查队 22186 (HHBG)

续表 2

省	市州	县	海拔/m	标本号	
浙江	丽水	遂昌县	480	余孟兰等 25887 (NAS)	
	杭州	临安区	550	Anonymous 315 (HHBG)、贺贤育 22644 (NAS)、浙江植物植物资源普查队 29860 (NAS)	
	衢州	开化县	750	章绍尧等 26192 (NAS)	
	金华	磐安县	不详	洪林 2895 (HHBG)	
福建	南平	武夷山市	200~700	武改队 2206 (PE)、王名金等 2414 (NAS)、简焯坡等 401688 (PE)	
	南平	顺昌县	350~400	李明生和李振宇 5390 (PE)、李明生和李振宇 5535 (PE)	
	南平	蒲城县	不详	1 (IMD)	
	福州	永泰县	不详	林英 252 (PE)、H. H. Chung 1359 (AU)、H. H. Chung 2637 (AU)、锺心煊 3187 (AU)	
	龙岩	长汀县	不详	Ling S.N. s.n. (PE)、Ling (AU)	
	龙岩	连城县	不详	厦大梅花山采集队 1037 (AU)	
	三明	永安市	不详	Y. Ling 2567 (AU)、Ling Yong s. n. (PE)	
	湖北	咸宁	崇阳县	195~830	梁盛业 590214 (HIB)、梁盛业 390 (HIB)、梁盛业 605 (HIB)、梁盛业 625 (HIB)
	咸宁	通山县	300	鄂 2667 (HIB)	
	咸宁	赤壁市	不详	李世顺 6 (GXMI)	
	黄冈	罗田县	93~350	陈建中 197 (HIB)、黄仁煌 2142 (HIB)、徐艳琴和许瑛 2012002 (JXCM)	
	黄冈	麻城市	不详	梁盛业 61072 (HIB)	
	恩施	鹤峰县	1 236	徐艳琴和张科宁 2013005 (JXCM)	
	黄石	阳新县	250	汪前生 514 (HIB)	
	贵州	铜仁	江口县	888	潘承魁 522222160721020LY (GZTM)
	铜仁	德江县	1 023	李衡 522227160708009LY (GZTM)	
	铜仁	松桃县	437	李杰 522229140914337LY (GZTM)	
	铜仁	梵净山	不详	杨世群 26 (GZTM)	
	黔东南	天柱县	485	俞泽华 63 (N)、黔东队 75-1401 (HGAS)	
	毕节	赫章县	不详	刘飞 522428150705026 LY (GZTM)	
广东	韶关	乳源县	290	粤 71 12 (IBSC)、34 (IBSC)、高锡朋 54112 (IBK)、徐艳琴和许瑛 2012021 (JXCM)	
	韶关	乐昌市	170	陈少卿 219 (IBSC)、南岭队 3737 (IBSC)	
	清远	连州市	160	裴利宽 516 (IMD)、莫民淇 1068 (IBSC)、1483 (IMD)	
	桂林	全州县	213~249	裴利宽 514 (IMD)、胡友露等 41411 (GXMI)、徐艳琴和张科宁 2013020 (JXCM)	
	桂林	龙胜县	不详	广福林区采集队 790 (IBK)	
	贺州		不详	陆文光和冯恒光 13363 (GXMI)	
	陕西	安康	旬阳县	720	旬阳队 509 (WUK)、旬阳分队 836 (WUK)
	西安	鄠邑区	不详	郭本兆 933 (WUK)	
四川	成都	都江堰市	880~1 100	朱大海等 101 (HX)、朱大海 2528 (HX)	
	宜宾	江安县	780	叶丰山 99 (SM)	
	遂宁	射洪市	不详	普查队 413 (SM)	
河南	信阳	浉河区	500	王金平 T0079 (HNEU)	
重庆	重庆	彭水县	500~700	普查队 214 (SM)、普查队 1455 (SM)	
	重庆	秀山县	1 000	普查队 405 (SM)	
	重庆	黔江区	1 200	普查队 224 (SM)	
	重庆	丰都县	630	王金敖和王雅轩 49 (CDBI)	
	重庆	垫江县	800	垫江中普队 82 (SM)	
	重庆	合川区	不详	合川普查队 731 (SM)	

表 3 光叶淫羊藿分布信息

Table 3 Distribution information of *Epimedium sagittatum* var. *glabratum*

省	市州	县	海拔/m	标本号
贵州	黔南	都匀市	980~1 040	蔡仁莲 200812807(QNUN)、段兴友 200812625(QNUN)、何书恒 200810837(QNUN)、李瀚 200812087(QNUN)、龙安炳 200810098(QNUN)、覃领鲜 200812469(QNUN)、杨通慧 200712358(QNUN)、易建华 20081135(QNUN)、易建华 200812570(QNUN)、尹家萍 200812808(QNUN)
				贵州队 1067(PE)
湖北	黔西	望谟县	1 340	Luo Yi-bo 512(PE)
	铜仁	江口县	1 000	张燕君和李晓东 026(HIB)、张燕君 062(HIB)、张燕君和李晓东 020(HIB)、邹兴森 74004(HIB)、郭宝林和刘京晶 816(IMG)、郭宝林和罗秀珍 89011(IMG)、郭宝林和罗秀珍 89014(IMG)
	恩施	恩施市	350~500	郭宝林和刘京晶 817(IMG)、邹兴森 74011(HIB)、郭宝林 A27(IMG)
	恩施	咸丰县	549~700	王映明 2224(HIB)
	恩施	利川市	1 170	郭宝林 A04(IMG)
江西	萍乡	来凤县	439	熊耀国 07893(LBG)、徐艳琴和许瑛 2012009(JXCM)
广西	桂林	上栗县	322	吴磊和莫水松 3046(BNU)
		阳朔县	150~120	

应俊生和 Stearn 均认为,淫羊藿属各物种几乎都是窄域种,没有广布种^[27-28]。但箭叶淫羊藿是淫羊藿属分布较广的种,我国安徽、江西、湖南、浙江、福建、湖北、广东、贵州、广西、陕西、四川和河南共 12 省及重庆市均有分布。其中,以安徽、江西、湖南和湖北 4 省分布区域最丰富。光叶淫羊藿主要分布于贵州省和湖北省,江西省和广西省仅有少量分布。

从生境来看,箭叶淫羊藿及其光叶变种海拔分布范围为 40~1 340 m,主要生长在灌丛和沟谷中及水沟边等荫蔽度较大处,分布区为东经 103° 37' 12"~121° 01' 48",北纬 24° 25' 12"~34° 06' 00",常分布于北坡或东北坡,土壤常为湿润的黄壤或砂壤。主要伴生植物有马尾松、十大功劳、毛竹、臭椿、鸢尾、玉竹、紫堇、虎耳草和黄精等^[29]。根据本课题组广泛的实地调查,除江西省武宁县和安徽省黄山市等一些山地偶有较大面积的成片分布外,箭叶淫羊藿一般以稀疏的片状或条带状分布于狭小区域,资源量并不丰富^[9]。因此,其分布信息极易受到人为干扰或生境变化的影响。如,本课题组曾 2 次对浙江省衢州市开化县一个居群开展调查。2005 年,箭叶淫羊藿在该地的分布尽管稀疏,但较常见。2012 年,再次调查该地时,野生个体完全无从找寻。

值得注意的是,箭叶淫羊藿形态变异较大,不论是野生居群,还是同质园栽培居群,居群间在株高、叶长、叶宽、长宽比、叶片面积、叶片干重、花序轴长、小花数量、花部颜色、大小及非腺毛等性状上均存在显著差异^[29-30]。同质园栽

培居群非腺毛和花粉形态的系统观测表明,即便剔除环境因素影响,居群间仍存在巨大差异和多样性^[31-32]。形态上的分化往往源于关键性状特征强烈选择作用引起的适应性分化,同质园栽培个体和居群间的形态差异暗示了地方适应及相关性状的遗传分化^[33]。笔者对箭叶淫羊藿 11 个居群基于 SSR(simple sequence repeats)遗传标记的遗传多样性分析,证实所有居群间均存在显著遗传分化^[34]。

箭叶淫羊藿与同属其他物种区分困难,产区居民一般将淫羊藿属植物统一称谓、统一采用和相互混杂^[29]。使得淫羊藿药材实际来源远比药典规定的复杂,基原混乱问题异常突出,加剧了药材质量不稳定^[15]。郭宝林和肖培根曾报道湖北省、四川省和贵州省等部分地区常将粗毛淫羊藿 *E. acuminatum* Franch. 认作箭叶淫羊藿^[35]。在本次标本整理及核实中,发现很多标本鉴定存在错误或不确定,大量原本鉴定为箭叶淫羊藿的标本后来被更正为其他物种。被错误鉴定的远不止粗毛淫羊藿 [如熊济华和蒋兴麟 33481(IBM)、方文培 802(IBM)、李国凤 60923(IBM)、西南师范学院 560(IBM)、杨光辉 54207(IBM)、方文培 15803(IBM)、刘正宇 4742(IMC)、刘正宇 840770(IMC)、S. L. Sun 2489(KUN)、郑万钧 10363(KUN)、普查队 396(SM)、普查队 1105(SM)、四川植物 177(WUK)]。还包括柔毛淫羊藿 *E. pubescens* Maxim. [如候喜祥 781(IBM)、郭本兆 4405(WUK)、唐昌林 908(WUK)、陕西中草药普查队 1573(WUK)、杨金祥和梁一民 2828(WUK)]、淫羊藿 *E. brevicornu* Maxim. [如张晋豫 25(HNEU)、邢智峰 97023

(HNEU)、包士英和严生俊 80 (QTPMB)、包士英和严生俊 1298 (QTPMB)、邢吉庆 436 (WUK)、邢吉庆 817 (WUK)、付坤俊 13096 (WUK)、黎斌和牛忠磊 2006017 (WUK)、天平山淫羊藿 *E. myrianthum* Stearn [如植被调查队 653 (CSFI)、韦用禄 51179 (GXMI)、陆志松 522223140324015 LY (GZTM)、黔南队 338 (HGAS)、张志松 400943 (HGAS)]、木鱼坪淫羊藿 *E. franchetii* Stearn (如郑重 63 (HIB)、郑重 81 (HIB)、鄂神农架植考队 30945 (PE)、鄂神农架植考队 30418 (PE)、刘瑛 413 (WUK))、黔岭淫羊藿 *E. leptorrhizum* Stearn [如浙江队 8393 (NAS)、李洪钧 8738 (WUK)]、拟巫山淫羊藿 *E. pseudowushanense* B. L. Guo [如黔南队 1389 (KUN)、黔南队 1727 (KUN)]、时珍淫羊藿 *E. franchetii* ssp. *Lishihchenii* (Stearn) S. X. Liu [如李丙贵 076 (IBSC)、赵保惠 259 (IBSC)、杨祥学 11210 (IBSC)、聂敏详等 8427 (LBG)、熊杰 06773 (LBG)、王名金和邹垣 1650 (NAS)、岳俊三 2081 (NAS)]、星花淫羊藿 *E. stellulatum* Stearn [如邢吉庆 10797 (WUK)、邢吉庆 11076 (WUK)]、宝兴淫羊藿 *E. davidii* Franch. [如孙必兴 233 (IBSC)]、湖南淫羊藿 *E. hunanense* (Hand.-Mazz.) Hand.-Mazz. [如沈中瀚 30 (CSFI)、武陵队 2238 (IBSC)、刘林翰和何颀州 16317 (WUK)]、镇坪淫羊藿 *E. ilicifolium* Stearn [如 T. N. Liou 11308 (WUK)]和天全淫羊藿 *E. flavum* Stearn [如杨亚滨 21673 (IBSC)]，共涉及 13 个类群。此外，还有大量标本因缺乏花部特征和相应描述而无法确定物种，如杜裕 522428141109027 LY (GZTM)、辛泽华 43 (HNEU)、邢吉庆 3562 (NAS)、59 年秦岭队 969 (PE)、鄂神农架植考队 30418 (PE)、钟补求 2423 (PE)、付坤俊 12080 (WUK)、陕西中草药科研组 4411 (WUK)、邢吉庆 2406 (WUK) 和旬阳队 509 (WUK) 等。

值得关注的是，腊叶标本鉴定错误现象在淫羊藿属并非特例。本课题组近 20 年的研究发现，淫羊藿属基于标本信息的资源分布研究，存在以下突出问题：(1) 花部特征对淫羊藿属物种鉴定极为关键，但由于花极易脱落且结构不易观察，该属腊叶标本的花部特征往往不完整，甚至完全缺乏，导致相当一部分标本鉴定存在错误或疑问。其中一个典型的案例是巫山淫羊藿 *E. wushanense* T. S. Ying 发表时所引证的 7 份模式标本实际上包

含了 4 种淫羊藿^[36]。(2) 淫羊藿属类群在近 30 年迅速膨胀，之后又经历大量类群的修订^[37]。因此，该属腊叶标本急需重新鉴定，依据腊叶标本的分布信息也需相应更正或更新。(3) 野外生境的急剧恶化使一些原有分布区和资源量萎缩甚至消失，种质资源分布信息迫切需要更新。(4) 淫羊藿属植物花期较短(多集中于 4 月份)，但多数物种尚未开展花期系统和深入的野外调查。

2 质量特征

2.1 采收期含量变化

淫羊藿属药用植物在不同采收期其黄酮类成分含量不同。朱朝德等^[38]研究表明，箭叶淫羊藿叶片中淫羊藿苷和总黄酮以花期，即 4 月前后最高，分别为 1.78% 和 7.92%，之后迅速下降，7 月最低，分别为 0.34% 和 3.65%，8 月又开始回升，到 10 月出现第 2 个峰值，分别为 0.95% 和 4.40%，但此时的含量远低于花期(约 1/2)。任龙飞等^[39]研究结果与之相似，3 月底时，箭叶淫羊藿中朝藿定 A (0.40%)，朝藿定 B (0.38%)，朝藿定 C (10.84%) 和淫羊藿苷 (3.08%) 含量均最高，但此时处于生长初期，产量最低 (244.67 g/m²)。各化学成分含量在 4 月末显著降低，7~10 月含量差别不大，但 8 月产量 (2 798.44 g/m²) 显著高于其他月份。通过对产量与活性成分之和的乘积进行评价，认为 8 月为最适宜采收时期。

箭叶淫羊藿不同采收期黄酮类含量的动态累积与属内多个物种呈相似趋势，大多出现 2 个高峰，生长初期或花期的黄酮类含量显著高于其他时期。天平山淫羊藿和粗毛淫羊藿均报道其在花期 (4~5 月) 总黄酮和淫羊藿苷含量达到最高^[40-41]。巫山淫羊藿中朝藿定 C 含量在 5~6 月达到峰值，10 月出现另一个峰值^[42-43]。但最适采收期一般考虑产量与活性成分总量的乘积，常以生物量最大的时期占优势。如朝鲜淫羊藿黄酮类成分含量在花期 (5 月) 及果期结束时 (8 月) 呈现 2 个高峰^[44-45]，但 8 月叶片生物量更高，多项研究支持在 7 月底到 8 月初较为合适^[46-47]。

上述结果表明，采收期是影响淫羊藿质量非常重要的因素。徐艳琴等^[48]因此提出，为使研究结果具有可比性，开展药材质量评价研究时必须保证所有分析样本采收期一致，建议药材质量评价研究确定一个易判断且可操作的采收期，如花期。

2.2 不同部位含量变化

《中国药典》关于淫羊藿药材的药用部位, 历经多次修改。1963 年版药典规定为“茎叶”^[16], 自 1977 年版至 2005 年版(共 6 版)均为“地上部分”(淫羊藿夏秋季采收时, 花序基本枯萎凋落, 地上部分实际等同于茎和叶, 作者注)^[17-22], 2010 年版之后更变为“叶”^[1,23]。尽管药典收录的部位都不包含地下部分, 但淫羊藿属植物为浅根性植物, 药材采收时, 为提高效率, 通常连茎带叶扯起, 扎成小把, 这种方法极易将根茎连带拔起。且根据本课题组调查, 在湖北、贵州和四川等省份, 民间常以淫羊藿属植物的地下部分(含根茎和根)药用。

郭宝林等^[49]对箭叶淫羊藿不同部位 9 种黄酮总含量进行测定, 结果表明根茎及根(7.31%)>叶(3.29%)>茎(0.39%), 根茎和根的含量为叶的 2.22 倍, 茎中含量极低。但之后研究均表明叶的含量高于根。贵州产箭叶淫羊藿不同部位总黄酮含量为叶(10.82%)>根(9.41%)>茎(2.15%)^[50]。湖北产箭叶淫羊藿叶和茎总黄酮含量分别为 4.93%和 0.24%, 叶的含量为茎的 20.6 倍^[51]。四川产箭叶淫羊藿不同部位淫羊藿苷和总黄酮含量为叶(0.15%和 6.07%)>根(0.07%和 4.53%)>茎(0.01%和 1.26%)^[52]。罗堃等^[53]比较箭叶淫羊藿各部位淫羊藿苷及总黄酮含量, 结果表明叶(0.85%和 8.65%)>地上部分(0.61%和 7.26%)>全草(0.20%和 6.62%)>根(0.09%和 6.54%)>茎(0.08%和 2.00%)。杜真辉的研究结果与上述研究一致, 证实箭叶淫羊藿朝藿定 A~C、淫羊藿苷、总黄酮及浸出物的含量均为叶显著高于根和茎^[54]。许婷等^[55]对陕西省和四川省产箭叶淫羊藿不同部位朝藿定 A~C、淫羊藿苷和宝藿苷 I 含量进行测定, 结果显示为叶>叶柄>茎。此外, 一龄到三龄茎上叶的总黄酮含量也有一定差异, 三龄茎上叶的含量最高(6.69%), 一龄茎上叶的含量最低(6.12%)^[56]。

整体来看, 箭叶淫羊藿叶的活性成分较其他部位高, 茎含量极低。需要说明的是, 淫羊藿属植物的地下部分包括根茎和根, 从生物量来看, 无论是结节状根茎类型还是细长根茎类型的物种, 均以根茎为主体。因此, 以上研究的“根”实际可能是指地下部分, 即包括根茎和根。从整体研究结果来看, 地下部分的含量不如叶, 不支持其药用。更重要的是, 根茎是淫羊藿属植物繁殖和自然更新的主要方式, 从资源保护和可持续利用角度出发, 也不建议

地下部分入药。以上研究体现了《中国药典》2010 年版对药用部位修订的合理性。

2.3 不同产地质量特征

2.3.1 不同产地的含量差异 《中国药典》2015 年版对淫羊藿的限量标准为淫羊藿苷含量不得低于 0.5%, 总黄酮不低于 5.0%^[1]。2019 年, 《药材与饮片质量标准草案-公示稿》修订为朝藿定 A、朝藿定 B、朝藿定 C 和淫羊藿苷, 即淫羊藿多苷(ABCI)总含量不得少于 1.5%, 总黄酮不低于 5.0%^[57]。

关于箭叶淫羊藿不同产地种质的质量评价, 自 20 世纪 90 年代开始, 陆续有研究报道, 检测成分从单一指标, 如淫羊藿苷或/和总黄酮^[52-53,58], 到 4 种主要黄酮类成分, 即朝藿定 A~C 和淫羊藿苷^[11-12,14,59-60]。共涉及 13 个省和直辖市(表 4)。以上研究结果表明, 总黄酮含量达标率较高, 为 68.00%。淫羊藿多苷含量达标率为 58.06%。淫羊藿苷含量达标率仅为 27.85%, 为限制箭叶淫羊藿质量的主要因素。

此外, 同样是福建省宁化县的样品, 郭宝林等^[62]的结果为淫羊藿苷和淫羊藿多苷含量均不达标, 但裴利宽等^[13]测得淫羊藿苷、淫羊藿多苷和总黄酮均达标。提示即便是同一产地的样本, 不同研究的结果可能存在较大差异。徐艳琴等^[48]曾系统分析淫羊藿质量评价研究, 提出其中存在 2 个突出问题: (1) 由于采收期不一致导致大量研究结果没有可比性。(2) 由于样本全面性不足导致评价结果出现片面性和局限性, 缺乏对药材质量的全面掌握。因此, 建议后续研究应在采收期一致的前提下, 注重取样策略及分析样本的全面性和代表性。随后, 本课题组对统一花期采样的 16 个箭叶淫羊藿野生居群(20~30 个体/居群)进行基于淫羊藿多苷的含量测定。结果表明, 不同居群的质量稳定性和均一性均不理想。从淫羊藿苷含量来看, 仅 5 个居群达到药典标准(达标率为 31.25%), 4 个居群低于标准, 7 个居群甚至未检出^[14]。从淫羊藿多苷含量来看, 仅 6 个居群达到修订草案标准(达标率为 37.5%)。这是目前对箭叶淫羊藿最全面和系统的质量评价。且以上居群均同质园栽培于江西中医药大学。近期, 本课题组进一步对同质园栽培 6 年以上的居群开展了质量评价。结果表明, 不同居群间质量依然差异巨大, 说明遗传因子是塑造其质量的重要因素, 与前期研究结果一致^[60-61], 且已证实箭叶淫羊藿遗传多样性水平与淫羊藿苷含量显著或近显著正相关^[34]。

综合以往研究表明,箭叶淫羊藿不同产地/居群间活性成分含量差异较大(表 4),整体质量极不稳定。主要活性成分的变异范围为朝藿定 A: 0~1.65%,朝藿定 B: 0~1.72%,朝藿定 C: 0~7.62%,淫羊藿苷: 0~4.62%,淫羊藿多苷: 0~14.89%,

总黄酮: 2.69%~14.00%。整体来看,湖南省、湖北省和四川省质量较优,贵州省次之,江西省、安徽省、浙江省、广东省和广西省质量最次。与郭宝林等^[62]研究结果,即贵州质量最好,华中比较差,华东和华南则更差不完全一致。

表 4 不同产地箭叶淫羊藿的质量比较

Table 4 Quality comparison of different germplasm of *E. sagittatum*

产地	朝藿定 A/%	朝藿定 B/%	朝藿定 C/%	淫羊藿苷/%	淫羊藿多苷/%	总黄酮/%	合格率/%	参考文献
湖南省	0.18~0.31	0.22~0.54	1.89~5.92	0.35~2.51	3.09~8.83		淫羊藿苷: 40.00	12, 63
湖南省保靖县		0.35	0.96	0.50			淫羊藿多苷: 49	
湖南省花垣县						10.72~11.56	71.43	58
湖南省怀化市	1.34	1.32	7.62	4.62	14.89			14
湖南省吉首市	0.21	0.22	0.45	0.43	1.31	8.72~9.20		14, 58
湖南省江华县	—	—	6.13	0~0.16	3.62~6.29	7.03		13-14
湖南省江永县	—	—	4.53	—	4.53			14
湖南省浏阳市	—	—	0.40	—	0.40			14
湖南省龙山县	0.21	0.22	0.45	0.43	1.31	5.12~13.24		14, 58
湖南省邵东市	—	—	—	0.04	0.04			11
湖南省新宁县	—	—		2.35	7.33	14.00		13
湖南省宜章	—	—	2.10	—	2.10			64
湖南省永顺县						8.20~12.16		58
湖南省张家界市	0.55	0.68	2.69	0.62	4.54			64
贵州省				0.85		8.65	淫羊藿苷: 50.00	53
贵州省贵阳市						10.82	淫羊藿多苷: 50	
贵州省雷山市			4.90	—			66.67	65
贵州省松桃县		0.78	4.02	0.51~1.34		7.18~7.48		66-67
贵州省新窑镇	0.13	0.22	1.12	0.26	1.73			63
贵州省修文县	0.19	0.24	1.50	0.51	2.44			63
贵州省沿河县				0	0.56	3.73		13
四川省	0.07~0.34	0.08~0.44	0.67~3.41	0.13~0.95	0.95~5.14		淫羊藿苷: 33.33	68, 11, 55, 63
四川省巴中市				0.44		8.13	淫羊藿多苷: 69	
四川省峨眉山市				0.51		2.69	83.33	70-71
四川省成都市	0.27	0.29	1.98	1.26	3.79			59
四川省广元市	0.14	0.24	1.33	0.36	2.08			63
四川省南充市				0.15		6.07		52
安徽省	0.04~0.13	0.05~0.13	0.08~0.12	0.03~0.16	0.20~0.54		淫羊藿苷: 0	11
安徽省黄山市	0.00~0.06	0.00~0.07	0.00~0.12	0.00~0.06	0.00~0.31	3.27~3.48	淫羊藿多苷: 12-14	
安徽省金寨县	0.90	0.24~1.34	0.07~0.39	0.07~0.39	1.66~3.02	9.42	28.57	12-13, 62
安徽省淮北市	0.05	0.05	0.38	0.05	0.53			11
安徽省霍山县				0		5.14		13
安徽省休宁县				0		3.85		13
湖北省	0.28	0.40~0.78	2.00~4.02	0.23~1.34	2.92	4.93	淫羊藿苷: 66.67	51, 62-63
							淫羊藿多苷: 80.00	
湖北省恩施市				0	0.40	8.78		13
湖北省鹤峰县	0.61	0.61	4.42	1.91	7.55			14
湖北省罗田县	1.65	1.72	0.58	2.37	6.32			14
湖北省咸丰县				1.60	1.85	4.14		13
江西省抚州市	—	—	1.13	—	1.13		淫羊藿苷: 16.67	14
江西省萍乡市	—	—	1.35	—	1.35		淫羊藿多苷: 33.33	14
江西省上饶市	0.12~0.17	0.12~0.19	0.81~1.04	0.15~0.34	1.20~1.74			64
江西省武宁县	0.48	0.47	1.67	1.15	3.77			14
江西省婺源县	—	—	0.53	—	0.53			14

续表 4

产地	朝藿定 A/%	朝藿定 B/%	朝藿定 C/%	淫羊藿苷/%	淫羊藿多苷/%	总黄酮/%	合格率/%	参考文献
浙江省	0.07~0.17	0.06~0.17	0.21~1.40	0.06~0.14	0.69~1.59		淫羊藿苷: 28.57	11
浙江省安吉县	0.19	0.25	0.64	0.54	1.62~1.63	5.77	淫羊藿多苷: 50.00	13, 59
浙江省龙泉市				0	0.58	3.70		13
浙江省衢州市	—	0.12	0.19	0.25	0.55			14
浙江省临海市		0.21	0.81	0.32				62
广西省	0.13	0.14	0.09	0.15	0.51		淫羊藿苷: 0	11
广西省灵山县				0.33			淫羊藿多苷: 40.00	72
广西省全州县	0.09~0.26	0.12~0.30	0.51~1.08	0.08~0.33	0.80~1.96	6.88		13-14, 59
广西省玉林市	0.19	0.22	0.88	0.28	1.56			64
广东省	0.06~0.12	0.01~0.11	0.58~2.32	0.08~0.11	0.87~2.47		淫羊藿苷: 0	11-12
广东省连州市				0.04	0.64	5.92	淫羊藿多苷: 40.00	13
广东省韶关市	—	—	2.73	—	2.73			14
陕西省	0.32~0.68	0.40~0.81	2.92~5.13	0.49~0.72	4.36~7.11		淫羊藿苷: 66.67	55
							淫羊藿多苷: 100.00	
陕西省安康市				1.55				72
福建省宁化县		<0.05	1.06	0~0.67	2.24	9.56	淫羊藿苷: 50.00	13, 62
							淫羊藿多苷: 100.00	
河南省	0.11	0.45	0.13	0.11	0.80		淫羊藿苷: 50.00	11
							淫羊藿多苷: 0	
重庆市	0.23	0.34	1.85	0.38	2.80		淫羊藿苷: 0	63
							淫羊藿多苷: 100.00	

“—” 低于检测限

“—”levels of all individuals were lower than those of the minimum linear range

从资源利用策略来看,郭宝林等^[62]认为不同产地来源的箭叶淫羊藿药材不能一视同仁。许瑛等^[14]进而提出,湖南省芷江县、湖南省龙山县、湖北省鹤峰县和湖北省罗田县这 4 个居群的质量远高于药典标准,是非常优异的种质。从表 4 可知,湖南省所产箭叶淫羊藿质量普遍较优,为优异种质筛选的重点,且该省资源较为丰富,其种质和生境均可作为人工栽培提供参考。部分省份的箭叶淫羊藿质量不稳定且研究样本数较少,但个别地区种质含量较高,如湖北省罗田县和鹤峰县、四川省成都市和江西省武宁县。安徽省、浙江省、广东省及广西省等地的箭叶淫羊藿其活性成分含量极低,安徽省黄山市种质甚至未检测到活性成分^[14,59],不宜药用,但可考虑作为林下地观赏种质^[14]。

多位学者曾提出,是否将箭叶淫羊藿保留为药典品种有待商议^[14,62]。但从公示稿标准来看,箭叶淫羊藿的达标率从以淫羊藿苷为标准的 27.85% 提升至以淫羊藿多苷为标准的 58.06%,提示以单一成分作为箭叶淫羊藿质量控制的标准既不符合中药整体作用(多成分共同作用)特点,也限制了其资源利用。

2.3.2 不同产地化学型差异 中药材的化学成分变异直接影响其生物活性和临床疗效,分析箭叶淫羊

藿种内化学型变异,对不同产地进行区分,是质量控制的重要内容,也是保障临床用药有效性的前提。

Xie 等^[73]对淫羊藿属植物 5 个药典种及 8 个非药典种进行指纹图谱分析,根据淫羊藿多苷所构成的组峰,即“ABCI 区”化学成分组成,将所有样品分为 3 个大类:广义巫山淫羊藿模式(extensive E. w. pattern)、淫羊藿(心叶淫羊藿)模式(E. b. pattern)和朝鲜淫羊藿模式(E. k. pattern)。其中,包含箭叶淫羊藿在内的 11 个物种均属于广义巫山淫羊藿模式,该模式以朝藿定 C 为主导峰。

箭叶淫羊藿开展了较全面的化学型研究^[34,60,74-75],大致分为 5 种类型。一型为 4 种活性成分的含量极低或不存在,包含安徽省黄山市和浙江省衢州市种质。二型仅含朝藿定 C,其余 3 种成分不存在或极低,包含湖南省浏阳市、江西省上栗县、湖南省江永县、江西省婺源县、江西省南丰县、广东省乳源县和湖南省江华县种质。三型以朝藿定 C 为主要成分,其余 3 种为次要成分。此类居群占据了箭叶淫羊藿的主要分布区,包含广西省全州县、湖南省芷江县、湖南省龙山县、湖北省鹤峰县、江西省武宁县和湖南省慈利县种质。四型以朝藿定 C 和淫羊藿苷共同主导,包含湖南省保靖县、广西省柳州市和贵州省镇远县种质。五型无主导峰且各峰均较高,

仅包含湖北省罗田县种质。植物次生代谢物有助于药用植物在不同的环境中保持种群适宜性^[76]。箭叶淫羊藿地理分布广泛，其化学型多样性可能是地方适应的结果。

3 小结与展望

3.1 箭叶淫羊藿的质量特征

箭叶淫羊藿作为淫羊藿属植物中种内变异范围最大的物种，无论是植物形态、遗传变异，还是化学型都存在丰富多样性，可能是多型种^[30-31,34,75]。暗示对箭叶淫羊藿的研究，样本的选择需非常谨慎^[31]。样本要尽可能全面，因为在样本数量不足的情况下，所获结果都只是子集^[14,31-32]。从许瑛等^[14]的研究结果来看，居群间，甚至是居群内的个体间，都可能存在较大变异，以居群为基础的系统研究对全面掌握种质质量特征和规律，评估其质量具有重要意义。

从评价指标来看，由于化学型多种多样，包括朝藿定 C 主导、朝藿定 C 和淫羊藿苷共同主导和空白谱等。这种组分比例差异可能会对临床效果产生影响，应予以关注。同时也说明，单一指标成分或总黄酮含量无法精准评价箭叶淫羊藿的品质^[77]，限制了其资源利用。这正是国家药品标准修订草案公示稿将其评价标准修订为淫羊藿多苷的原因和意义。此外，已有多篇研究报道，淫羊藿药材不同黄酮类成分在一定条件下会发生转化，如，3'''-羰基-2''-β-L-喹诺糖基淫羊藿苷（3'''-carbonyl-2''-β-L-quinovosyl icariin）经加热可转化为淫羊藿苷^[78]。朝藿定 C 在肠道中失去 1 个鼠李糖基将转化成淫羊藿苷^[79]。且有报道淫羊藿药材经高温加热后，朝藿定 C 也可转化为淫羊藿苷^[80]。暗示无论是淫羊藿苷主导，还是朝藿定 C 主导，均为优异种质，但利用时需区别对待。若以淫羊藿苷为利用目标，则对于朝藿定 C 主导的种质资源，可参考 Sun 等^[78,81]的处理方法（150 °C 加热 30 min）来提升淫羊藿苷的含量。

箭叶淫羊藿质量受产地和采收期等因素影响较大，导致药材质量极不稳定。邓爱平等^[15]建议加强淫羊藿药材的 GAP 种植，做到种质可控、产地可控、采收可控和加工可控。这是解决淫羊藿药材资源和质量双重问题的有效措施和必然趋势。但如何保障和提高栽培药材质量是重点和难点，其关键技术问题（如种质和生境如何选择）和科学问题（详述如下）须首先突破。

3.2 生理生态对品质影响及机制

清晰认识药效成分的积累规律及其生理生态机制是实现药材质量控制的重要基础^[82]，对筛选适宜种植区、改进栽培技术及明确采收期等均具有指导意义。但这也是目前药材质量控制技术研究的瓶颈^[82]。

影响中药材质量的生态因素主要是指气候、土壤、地质等生态因子对药材结构、性状和药效成分等的影响，即环境胁迫导致同种异地药材质量不同^[82]。其中，光照对于植物生长发育和品质影响的研究是热点。淫羊藿为喜阴植物，对多个物种的研究发现，光照条件与有效成分积累密切相关，增加光照利于总黄酮和淫羊藿苷含量积累^[83-86]。但全光照（自然光）下，朝鲜淫羊藿植株长势及生物量都不理想^[83-84]。而适度遮光处理不但可以保障有效成分含量和生物量^[84]，还可提高结实率^[86]。因此，朝鲜淫羊藿规范化生产中建议适当遮阴^[84]。对粗毛淫羊藿的研究也表明，林缘旷地强光胁迫生境下淫羊藿苷和总黄酮含量最高。适度光照胁迫可促使药用成分积累，却不利于生物量增长^[85]。对箭叶淫羊藿不同光强处理研究表明，多糖含量与光照强度呈显著负相关。黄酮类成分含量则与光照强度呈复杂关系。4 月份，随光照强度增加，总黄酮含量先升高后下降，8 月份含量与光照强度呈正比^[87]。进一步分析表明，强光利于朝藿定 A 和朝藿定 B 的合成，但会降低朝藿定 C 和淫羊藿苷的含量^[61,87]。在光质影响方面，发现黄光不但可促进拟巫山淫羊藿生长发育提高生物量，还可提高黄酮类成分含量^[88]。因此，各物种如何权衡产量和质量值得探索，这为开展环境胁迫对药用植物生长发育与次生代谢物的机制研究提供了契机。

关于温度对淫羊藿生长及质量影响的研究相对较少。范曾丽^[89]对巫山淫羊藿和粗毛淫羊藿进行 2 °C 和 5 °C 增温处理，发现在增温 2 °C 条件下，2 种植物的生物量均最大。说明适当增温可增加生物量积累，但过高将受到限制。同时，栽培温度对活性成分含量影响也较大。粗毛淫羊藿和巫山淫羊藿中均发现，温度与总黄酮和淫羊藿苷含量均呈显著负相关，表明增温不利于成分积累^[89]。提示淫羊藿进行人工栽培生境选择时，需关注温度对质量的影响。同时，也为后续生态因子对药材质量影响机制研究提供了启示。

对巫山淫羊藿的施肥研究表明，随着 N、P、K 施肥量提高，产量和有效成分含量均呈先升后降的

趋势,且 N、P、K 肥间相互作用存在值域,低于值域时为协同促进作用,高于值域时表现为拮抗作用^[90]。拟巫山淫羊藿生物量和叶干重随氮浓度增加而显著升高,但氮浓度对有效成分含量的影响缺乏明显规律^[91]。

研究生理生态对药效成分形成与积累的影响,阐明其主导因子,并进一步揭示影响药效成分合成的关键酶与激素系统变化和响应过程,是最终实现中药材质量控制的关键^[82]。目前,有关生态环境影响中药材次生代谢产物形成及积累规律并触及机制的研究并不多见。淫羊藿中仅见柔毛淫羊藿开展了光胁迫对活性成分合成机制的初步分析^[92],后续研究值得重点关注和深入。

3.3 药材质量形成的分子机制探索

中医药发展已上升为国家战略。优质药材是中医药发展和走出国门的源头和物质基础^[93-95]。但中药材质量稳定性和一致性控制难题日益突出,并成为影响中药产品质量的制约因素和核心问题,国家和行业高度重视^[82]。无论是野生还是栽培药材,质量形成机制研究都是难点^[96],为中药学领域长期关注的热点和研究前沿。

药材质量形成机制研究旨在揭示药材成分积累的内在规律并阐明其形成原因。籍此实现中药材质量稳定可控,是保障中药材与中药产品质量的焦点问题和瓶颈,为中药资源评价与开发方向的重大科学问题和未来较长时期的重要研究任^[82]。且随着我国栽培药材主流化^[97],迫切需要开展药材质量形成机制研究以保障药材种植的质量控制和提升。

遗传因素在药材品质形成过程中发挥至关重要的作用。宋代《本草图经》提出“种质攸关观”,认为决定药材质量的首要因素是种质(遗传因素)^[98]。我们前期研究也已证实箭叶淫羊藿的含量与遗传多样性存在显著或近显著相关^[34]。众多研究对影响药材质量的分子机制进行了探索^[99-100]。但多为药材质量规律(特征)的描述和单一/少量基因序列特征分析,采用组学手段从整体水平研究基因功能、基因表达并涉及机制的研究并不多见,距离从根本上阐明质量形成机制还有较大差距,制约了质量控制技术创新和突破^[82]。

随着淫羊藿主要活性成分的分子合成机制逐步阐明,加深了对箭叶淫羊藿品质形成的认知。淫羊藿中有效活性成分为黄酮醇苷类物质,含特殊的异戊烯基结构,为类黄酮合成途径重要分支的末端产

物。淫羊藿属植物中有效活性成分的含量在不同物种、不同居群(产地)、不同环境、甚至不同发育期都表现出显著差异^[48,59,101]。箭叶淫羊藿类黄酮代谢途径相关基因的克隆和功能分析已获得 12 个结构基因和 4 个代谢调控基因,类黄酮途径相关基因与淫羊藿多苷及花青素苷合成的相关性研究也已开展,表明一些调控因子控制着有效活性成分的合成^[102-104]。此外,箭叶淫羊藿活性成分合成途径中重要的苯丙氨酸氨裂解酶的特征分析^[105]、类黄酮-3'-羟化酶(F3'H)和类黄酮-3',5'-羟基化酶(F3'5'H)基因特征分析^[106]、R2R3-MYB 转座子特征分析和功能验证均已开展^[107-109]。以上研究使距离完全阐明淫羊藿多苷合成机制仅剩最后几块拼图。为箭叶淫羊藿质量的分子机制研究奠定了良好基础。

整体来看,在药典收录的淫羊藿中,箭叶淫羊藿不同种质的形态和质量差异最悬殊且与遗传因素密切相关,转录组学和分子遗传背景最丰富,开展人工种植的生物学特性最适宜(如适应性强易推广、根茎粗壮易成活、结实率高易繁殖等),是开展药材质量规律及分子机制案例研究的理想材料。

药材质量形成的分子机制研究是中药学、分子生物学、生物信息学等多学科交叉的重大问题,需要从多学科视角与知识层面拓展其研究思路^[90]。其中,转录组学分析值得关注。转录组学具时空特异性,可反映特定条件下全部基因表达调节系统及相互作用的信息,揭示现象与基因表达的内在关系,可为中药质量控制提供分子基础^[110]。采用“代谢组-转录组”整合研究思路,筛选对质量形成起关键作用的遗传因子或关键调控因子,并阐明分子机制应是本领域重点关注方向之一。

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2015.
- [2] Kim D H, Jung H A, Sohn H S, et al. Potential of icariin metabolites from *Epimedium koreanum* nakai as antidiabetic therapeutic agents [J]. *Molecules*, 2017, 22(6): E986.
- [3] Chen F J, Liu B, Wu Q, et al. Icariin delays brain aging in senescence-accelerated mouse prone 8 (SAMP8) model via inhibiting autophagy [J]. *J Pharmacol Exp Ther*, 2019, 369(1): 121-128.
- [4] Choi H M, Kim J Y, Li Z P, et al. Effectiveness of prenyl group on flavonoids from *Epimedium koreanum* nakai on bacterial neuraminidase inhibition [J]. *Molecules*, 2019,

- 24(2): E317.
- [5] Hu L L, Li L L, Zhang H Y, *et al.* Inhibition of airway remodeling and inflammatory response by icariin in asthma [J]. *BMC Complement Altern Med*, 2019, 19(1): 316.
- [6] Teo Y L, Cheong W F, Cazenave-Gassiot a, *et al.* Pharmacokinetics of prenylflavonoids following oral ingestion of standardized *Epimedium* extract in humans [J]. *Planta Med*, 2019, 85(4): 347-355.
- [7] Wu H, Lien E J, Lien L L. Chemical and pharmacological investigations of *Epimedium* species: A survey [J]. *Prog Drug Res*, 2003, 60: 1-57.
- [8] 张华峰, 杨晓华. 淫羊藿的生物活性成分及其开发策略研究 [J]. 中草药, 2010, 41(2): 329-332.
- [9] 何顺志, 王悦云, 徐文芬, 等. 贵州淫羊藿药材种质资源的研究 [J]. 种子, 2011, 30(5): 69-71.
- [10] 肖培根, 赵润怀, 龙兴超, 等. 中药资源可持续发展产销情况的宏观分析 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(17): 2135-2139.
- [11] 马清娟, 王 晶, 韩 凌, 等. HPLC 法同时测定淫羊藿药材中 8 种黄酮类成分的含量 [J]. 沈阳药科大学学报, 2014, 31(12): 970-978.
- [12] 徐文芬, 杨 雯, 何顺志, 等. 一测多评法测定淫羊藿中淫羊藿苷和朝藿定 A、B、C [J]. 中草药, 2016, 47(1): 130-137.
- [13] 裴利宽, 黄文华, 何天谷, 等. 中药淫羊藿主要资源种类药材质量的系统研究 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32(21): 2217-2222.
- [14] 许 瑛, 石慧君, 刘少雄, 等. 不同居群箭叶淫羊藿基于淫羊藿多苷成分的质量评价 [J]. 中草药, 2015, 46(15): 2284-2290.
- [15] 邓爱平, 方文韬, 周青罡, 等. 淫羊藿质量影响因素及质控对策分析 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43(5): 1062-1070.
- [16] 中国药典 [S]. 一部. 1963.
- [17] 中国药典 [S]. 一部. 1977.
- [18] 中国药典 [S]. 一部. 1985.
- [19] 中国药典 [S]. 一部. 1990.
- [20] 中国药典 [S]. 一部. 1995.
- [21] 中国药典 [S]. 一部. 2000.
- [22] 中国药典 [S]. 一部. 2005.
- [23] 中国药典 [S]. 一部. 2010.
- [24] 徐艳琴, 许 瑛, 石慧君, 等. 箭叶淫羊藿复合体的分类问题及讨论 [J]. 中草药, 2014, 45(22): 3343-3350.
- [25] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [26] Ying J S, Boufford D E, Brach A R. *Flora of China* (Vol.19) [M]. Beijing: Science Press and Missouri Botanical Garden Press, 2011.
- [27] Stearn W T. The genus *epimedium*, and other herbaceous Berberidaceae [M]. Portland: Timber Press, 2002.
- [28] 应俊生. 淫羊藿属(小檗科)花瓣的演化和地理分布格局的研究 [J]. 植物分类学报, 2002, 40(6): 481-489.
- [29] 徐艳琴, 李作洲, 张学军, 等. 三种药用淫羊藿的地理分布与资源调查 [J]. 武汉植物学研究, 2008, 26(1): 91-98.
- [30] 梁 琼, 张燕君, 徐艳琴, 等. 箭叶淫羊藿居群形态及遗传多样性比较研究 [J]. 植物科学学报, 2013, 31(4): 422-427.
- [31] 徐艳琴, 蔡婉珍, 胡生福, 等. 箭叶淫羊藿同质园栽培居群非腺毛多样性及其分类学启示 [J]. 生物多样性, 2013, 21(2): 185-196.
- [32] 黄 华, 赖华清, 蒋 勇, 等. 箭叶淫羊藿与近缘种天平山淫羊藿花粉形态对比研究 [J]. 广西植物, 2020, 40(9): 1300-1314.
- [33] Ballentine B, Greenberg R. Common garden experiment reveals genetic control of phenotypic divergence between swamp sparrow subspecies that lack divergence in neutral genotypes [J]. *PLoS One*, 2010, 5(4): e10229.
- [34] 徐艳琴. 三种药用淫羊藿的活性成分变异及居群遗传学分析 [D]. 武汉: 中国科学院武汉植物园, 2008.
- [35] 郭宝林, 肖培根. 中药淫羊藿主要种类评述 [J]. 中国中药杂志, 2003, 28(4): 303-307.
- [36] Zhang Y J, Dang H S, Li J Q, *et al.* The *Epimedium wushanense* (Berberidaceae) species complex, with one new species from Sichuan, China [J]. *Phytotaxa*, 2014, 172(1): 39-45.
- [37] 徐艳琴, 黄 华, 蒋 勇, 等. 淫羊藿属分类学研究: 进展、问题与展望 [J]. 广西植物, 2020, 40(5): 601-617.
- [38] 朱朝德, 张转平, 孙全明, 等. 箭叶淫羊藿叶中总黄酮及淫羊藿苷含量的动态变化研究 [J]. 中国中药杂志, 1998, 23(1): 21.
- [39] 任龙飞, 董诚明, 苏秀红, 等. 箭叶淫羊藿适宜采收期的研究 [J]. 中国现代中药, 2018, 20(8): 999-1002.
- [40] 左建平, 安显辉. 不同采收季节的淫羊藿中朝藿定 C 和淫羊藿苷的含量比较 [J]. 中国药业, 2014, 23(7): 13-15.
- [41] 何顺志, 王悦云, 徐文芬, 等. 不同生长期黔产天平山淫羊藿和粗毛淫羊藿叶中黄酮类成分的含量变化研究 [J]. 贵州科学, 2008, 26(3): 34-37.
- [42] 谢娟平, 孙文基. 生长期巫山淫羊藿不同部位 5 种黄酮类成分的动态积累研究 [J]. 中草药, 2009, 40(9): 1480-1483.
- [43] 孙全明, 张转平, 朱朝德, 等. 生长期巫山淫羊藿叶中总黄酮及淫羊藿苷含量变化 [J]. 西北药学杂志, 2000, 15(6): 259-268.
- [44] 陈翠萍, 沙 明. 朝鲜淫羊藿中黄酮类成分在不同采收期的含量变化 [J]. 中国中药杂志, 1996, 21(2): 86-88.
- [45] 于俊林, 姜启娟, 孙仁爽, 等. 朝鲜淫羊藿不同部位不同采收期有效成分的含量测定 [J]. 中国实验方剂学杂志

- 志, 2012, 18(7): 92-95.
- [46] 董然, 冯玉才, 秦佳梅, 等. 长白山区不同产地朝鲜淫羊藿有效成分含量对比分析 [J]. 特产研究, 2003, 25(2): 35-38.
- [47] 唐春风, 黄文华, 彭玉德, 等. 生长季节变化对朝鲜淫羊藿中黄酮类成分的影响 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32(22): 2438-2440.
- [48] 徐艳琴, 陈建军, 葛菲, 等. 淫羊藿药材质量评价研究现状与思考 [J]. 中草药, 2010, 41(4): 661-666.
- [49] 郭宝林, 肖培根. 5种淫羊藿的不同部位的黄酮类成分分析 [J]. 中国中药杂志, 1996(9): 523-525.
- [50] 陈惠玲, 吴珍云, 魏升华. 三种黔产淫羊藿不同部位总黄酮的含量测定及资源利用 [J]. 贵阳中医学院学报, 2000, 22(4): 57-59.
- [51] 张春风, 杨中林. 湖北箭叶淫羊藿不同用药部位中总黄酮含量分析 [J]. 山东中医药大学学报, 2008, 32(6): 516-517.
- [52] Quan Q M, Wu W, Li Y X, *et al.* Variation in icariin and flavonoid contents of barrenwort species [J]. *J Med Plants Res*, 2010, 4(12): 471-476.
- [53] 罗堃, 王元清, 张智敏, 等. 箭叶淫羊藿不同部位中淫羊藿苷及总黄酮含量测定 [J]. 亚太传统医药, 2016, 12(8): 24-26.
- [54] 杜真辉. 箭叶淫羊藿栽培过程中关键技术研究 [D]. 郑州: 河南中医药大学, 2017.
- [55] 许婷, 黄萌萌, 李瑞云, 等. 多基原淫羊藿不同部位质量评价研究 [J]. 中草药, 2020, 51(1): 190-196.
- [56] 杜武庭, 黎云祥, 陈蕉, 等. 箭叶淫羊藿不同年龄茎上叶总黄酮含量比较 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(6): 2547-2548, 2566.
- [57] 药材与饮片质量标准草案-公示稿 [S]. 2019.
- [58] 石进校, 欧阳蒲月, 陈军. 湘西地区几种淫羊藿总黄酮含量的研究 [J]. 中国中药杂志, 2002, 27(3): 227-228.
- [59] Chen X J, Guo B L, Li S P, *et al.* Simultaneous determination of 15 flavonoids in *Epimedium* using pressurized liquid extraction and high-performance liquid chromatography [J]. *J Chromatogr A*, 2007, 1163(1/2): 96-104.
- [60] Chen J J, Xu Y Q, Wei G Y, *et al.* Chemotypic and genetic diversity in *Epimedium sagittatum* from different geographical regions of China [J]. *Phytochemistry*, 2015, 116: 180-187.
- [61] Liang Q, Zhang Y J, Chen J J, *et al.* Quality variation of ten geographic populations of *Epimedium sagittatum* as evaluated in common garden practice [J]. *Genet Resour Crop Evol*, 2016, 63(4): 733-743.
- [62] 郭宝林, 王春兰. 箭叶淫羊藿的黄酮类成分分析和质量评价 [J]. 中草药, 1996(10): 584-586.
- [63] 马越, 李德坤, 叶正良, 等. 基于一测多评法测定淫羊藿中6种黄酮类化合物的含量 [J]. 中药材, 2019, 42(5): 1071-1076.
- [64] 康帅, 张炜, 郑健, 等. 淫羊藿黄酮苷类成分的指纹图谱与含量测定研究 [J]. 中国药品标准, 2018, 19(5): 359-375.
- [65] 董河, 沈红, 张丽, 等. 关于中国药典淫羊藿药材定量指标的商榷 [J]. 中药材, 2016, 39(12): 2794-2797.
- [66] 何顺志, 郭宝林. 贵州产淫羊藿的质量研究 [J]. 药物分析杂志, 1996, 16(5): 291-294.
- [67] 徐文芬, 黄敏, 何顺志, 等. 贵州产淫羊藿药材质量综合考察研究 [J]. 世界科学技术, 2005, 7(2): 125-127.
- [68] Liu J J, Li S P, Wang Y T. Optimization for quantitative determination of four flavonoids in *Epimedium* by capillary zone electrophoresis coupled with diode array detection using central composite design [J]. *J Chromatogr A*, 2006, 1103(2): 344-349.
- [69] 付亮, 袁璟亚, 丁春邦, 等. 四川不同产地淫羊藿总黄酮及淫羊藿苷含量的分析测定 [J]. 现代中药研究与实践, 2015, 29(5): 27-31.
- [70] 张艺, 肖崇厚. 8种川产商品淫羊藿总黄酮的含量测定及资源利用 [J]. 中国中药杂志, 1995(4): 201-202.
- [71] 张艺, 钟国跃. HPLC法测定川产淫羊藿属植物的淫羊藿甙含量 [J]. 中国中药杂志, 1995(5): 265-266.
- [72] 徐玲玲, 黄礼杰, 顾国献. 不同产地和品种淫羊藿中淫羊藿苷的HPLC分析 [J]. 中国现代应用药学, 2000, 17(2): 110-114.
- [73] Xie P S, Yan Y Z, Guo B L, *et al.* Chemical pattern-aided classification to simplify the intricacy of morphological taxonomy of *Epimedium* species using chromatographic fingerprinting [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2010, 52(4): 452-460.
- [74] 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.
- [75] 许瑛, 石慧君, 徐艳琴. 箭叶淫羊藿不同居群淫羊藿多苷的变异研究及利用启示 [J]. 时珍国医国药, 2015, 26(8): 2002-2006.
- [76] Li Y Q, Kong D X, Fu Y, *et al.* The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2020, 148: 80-89.
- [77] 袁航, 曹树萍, 陈抒云, 等. 淫羊藿的化学成分及质量控制研究进展 [J]. 中草药, 2014, 45(24): 3630-3640.
- [78] Sun X G, Li Q, Zhang J, *et al.* The reason leading to the increase of icariin in *Herba Epimedii* by heating process [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2018, 149: 525-531.
- [79] Zhou J, Chen Y, Wang Y, *et al.* A comparative study on the metabolism of *Epimedium koreanum* Nakai-prenylated flavonoids in rats by an intestinal

- enzyme (lactase phlorizin hydrolase) and intestinal flora [J]. *Molecules*, 2013, 19(1): 177-203.
- [80] 孙 娥, 陈玲玲, 贾晓斌, 等. 药材品种与受热时间对淫羊藿饮片中主要黄酮类成分的影响规律研究 [J]. 中药材, 2012, 35(9): 1402-1407.
- [81] 孙欣光, 周 茗, 马百平, 等. 淫羊藿和巫山淫羊藿药材经加热处理淫羊藿苷含量变化研究 [J]. 中国中药杂志, 2019, 44(9): 1857-1861.
- [82] 杨利民, 张永刚, 林红梅, 等. 中药材质量形成理论与控制技术研究进展 [J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(2): 119-124, 129.
- [83] 王 晶, 董 焱, 何立华, 等. 不同扩繁模式对朝鲜淫羊藿有效成分累积的影响 [J]. 中草药, 2013, 44(13): 1827-1830.
- [84] 张永刚, 韩 梅, 韩忠明, 等. 不同生境朝鲜淫羊藿生长与光合特征 [J]. 生态学报, 2012, 32(5): 1442-1449.
- [85] 熊厚溪, 周 涛, 刘光海, 等. 不同生境对粗毛淫羊藿光合色素与次生代谢物质的影响分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(17): 167-170.
- [86] 刘蓬蓬, 王 晶, 雷天莉, 等. 不同生长环境朝鲜淫羊藿结实及有效成分差异分析 [J]. 沈阳药科大学学报, 2014, 31(6): 488-492.
- [87] Liang Q, Wei G Y, Chen J J, *et al.* Variation of medicinal components in a unique geographical accession of horny goat weed *Epimedium sagittatum* Maxim. (Berberidaceae) [J]. *Molecules*, 2012, 17(11): 13345-13356.
- [88] 李小明, 潘俊倩, 落艳娇, 等. 不同光强下光质对拟巫山淫羊藿生长发育和淫羊藿苷类黄酮含量的影响 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(11): 2502-2508.
- [89] 范曾丽. 增温对两种淫羊藿属植物生长发育及生理特性的影响研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2015.
- [90] 张建海, 冯彬彬. 影响巫山淫羊藿品质的施肥指标体系构建 [J]. 中草药, 2015, 46(12): 1819-1824.
- [91] 张云凤. 水培条件下氮素对拟巫山淫羊藿生理特性、产量和品质的影响 [D]. 北京: 北京协和医学院, 2017.
- [92] Zeng S H, Liu Y L, Wang Y. Light stress suppresses the accumulation of epimedin A, B, C, and icariin in *Epimedium*, a traditional medicinal plant [J]. *Acta Physiol Plant*, 2013, 35(11): 3271-3275.
- [93] Guo J, Zhou Y J, Hillwig M L, *et al.* CYP76AH1 catalyzes turnover of miltiradiene in tanshinones biosynthesis and enables heterologous production of ferruginol in yeasts [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2013, 110(29): 12108-12113.
- [94] 黄璐琦, 高 伟, 周雍进. 合成生物学在中药资源可持续利用研究中的应用 [J]. 药学学报, 2014, 49(1): 37-43.
- [95] 段金殿, 郭 盛, 严 辉, 等. 中药材优质优价机制建立制约因素分析及其实施路径探讨 [J]. 中国现代中药, 2019, 21(10): 1283-1287.
- [96] 孟祥才, 郭慧敏, 丛 薇. 中药材栽培生产存在的问题与发展策略 [J]. 中药材, 2017, 40(4): 992-996.
- [97] 孟祥才, 王喜军. 活性氧促进道地药材质量形成的假说及其探讨 [J]. 中草药, 2011, 42(4): 799-804.
- [98] 彭华胜, 王德群, 郝近大, 等. 宋代《本草图经》的药材质量优劣评价观 [A] //第十八届全国药学史暨本草学术研讨会学术论文文集 [C]. 合肥: 中国药学会药学史专业委员会, 2015.
- [99] 程 林. 干旱胁迫黄芩生理生态变化及其黄芩苷生物合成的分子生态机制 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2018.
- [100] 刘甲跃. 基于钾调控的麻黄质量变化及其分子机制研究 [D]. 银川: 宁夏医科大学, 2019.
- [101] Xu Y Q, Li Z Z, Yuan L, *et al.* Variation of epimedin A-C and icariin in ten representative populations of *Epimedium brevicornu* Maxim., and implications for utilization [J]. *Chem Biodivers*, 2013, 10(4): 711-721.
- [102] Zeng S H, Liu Y L, Hu W M, *et al.* Integrated transcriptional and phytochemical analyses of the flavonoid biosynthesis pathway in *Epimedium* [J]. *Plant Cell Tissue Organ Cult*, 2013, 115(3): 355-365.
- [103] 曾少华. 箭叶淫羊藿 EST 开发利用及类黄酮代谢相关基因的克隆分析 [D]. 武汉: 中国科学院武汉植物园, 2009.
- [104] 黄文俊. 箭叶淫羊藿类黄酮代谢途径相关基因的克隆与功能分析 [D]. 武汉: 中国科学院武汉植物园, 2011.
- [105] Zeng S H, Liu Y L, Zou C Y, *et al.* Cloning and characterization of phenylalanine ammonia-lyase in medicinal *Epimedium* species [J]. *Plant Cell Tissue Organ Cult*, 2013, 113(2): 257-267.
- [106] Huang W J, Sun W, Wang Y. Isolation and molecular characterisation of flavonoid 3'-hydroxylase and flavonoid 3', 5'-hydroxylase genes from a traditional Chinese medicinal plant, *Epimedium sagittatum* [J]. *Gene*, 2012, 497(1): 125-130.
- [107] Huang W J, Sun W, Lv H, *et al.* Isolation and molecular characterization of thirteen R2R3-MYB transcription factors from *Epimedium sagittatum* [J]. *Int J Mol Sci*, 2012, 14(1): 594-610.
- [108] Huang W J, Sun W, Lv H, *et al.* A R2R3-MYB transcription factor from *Epimedium sagittatum* regulates the flavonoid biosynthetic pathway [J]. *PLoS One*, 2013, 8(8): e70778.
- [109] Huang W J, Khaldun A B, Lv H, *et al.* Isolation and functional characterization of a R2R3-MYB regulator of the anthocyanin biosynthetic pathway from *Epimedium sagittatum* [J]. *Plant Cell Rep*, 2016, 35(4): 883-894.
- [110] 高 宁, 刘 博, 杨德强, 等. 转录组学在中药研究中的应用现状 [J]. 化学工程师, 2017, 31(6): 50-53.