

doi : 10. 16473/j. cnki. xblykx1972. 2017. 06. 001

黄草乌植物的研究进展*

李雪佩¹, 何俊², 贺水莲¹, 孟静¹

(1. 云南农业大学 园林园艺学院, 云南 昆明 650201; 2. 中国科学院昆明植物研究所, 云南 昆明 650201)

摘要: 黄草乌是中国特有的优异植物种质资源。本文概述近 50 年来国内外对黄草乌植物的研究进展, 从生物学特性、化学成分和药理毒性、生药学、分子生物学、内生菌分离以及观赏园艺等方面作了较为详细的总结; 同时, 发现研究中的一些薄弱环节并对后续的研究进行展望, 为今后更深入地开展黄草乌优异种质资源的保护、开发和可持续利用提供参考。

关键词: 黄草乌; 研究现状; 保护; 持续利用; 展望

中图分类号: S 567. 2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-8246 (2017) 06-0001-07

Research Progress of *Aconitum vilmorinianum*

LI Xue-pei¹, HE Jun², HE Shui-lian¹, MENG Jing¹

(1. College of Horticulture and Landscape, Yunnan Agricultural University, Kunming Yunnan 650201, P. R. China;

2. Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming Yunnan 650201, P. R. China)

Abstract: *Aconitum vilmorinianum*, an excellent quality plant endemic to China. In this paper, nearly 50 years research on its biological characteristics, chemical composition and pharmacological toxicity, molecular biology and endophytic fungi separation and ornamental horticulture were summarized. At the same time, some problematical issues associated with this important plant were found and the prospects of the future research were also discussed. The paper would help in finding ways for further research on conservation, appropriate exploitation and sustainable utilization of this plant.

Key words: *Aconitum vilmorinianum*; research progress; conservation; sustainable utilization; prospects

黄草乌 (*Aconitum vilmorinianum*) 属毛茛科 (Ranunculaceae) 乌头属 (*Aconitum*) 多年生草本植物, 又称草乌、藤草乌、大草乌、昆明堵喇、昆明乌头等, 是中国特有植物, 主要分布于云南中部和北部, 以及四川 (会理) 和贵州西部^[1]。黄草乌具有较高的药用价值, 是云南特色药材, 也是云南白药等名贵中成药的主要原料之一, 更是云药伤科药物中不可替代的物质基础^[2]。黄草乌药用部位为其干燥块状母根, 味苦、辛、麻, 性温, 有剧毒, 具有祛风散寒、活血止痛的功效, 临床用于治跌打损伤、风湿关节疼痛、手足厥冷等^[3-4]。作为

云南特色药材, 黄草乌的药用价值历来受到重视, 1974 年和 1996 年版《云南省药品标准》均认为草乌为黄草乌或滇南草乌 (*A. austroyunnanense*) 的块根, 2005 年版的《云南省药品标准》则进一步明确草乌为黄草乌的干燥块根。

近年来, 关于黄草乌的研究报道逐渐增多, 取得了一定进展。本文从生物学特性、化学成分和药理毒性、生药学、分子生物学、内生真菌分离以及观赏园艺等方面对黄草乌的相关研究工作进行综述, 并提出存在问题和建议, 以期今后黄草乌种质资源的进一步研究、保护和持续利用提供依据。

* 收稿日期: 2017-03-22

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金资助项目 (31100178)。

第一作者简介: 李雪佩 (1992-), 女, 硕士研究生, 主要从事乌头属植物种质资源收集与评价研究。E-mail: 835924705@qq.com

通讯作者简介: 孟静 (1981-), 女, 副教授, 博士, 主要从事植物资源收集、评价与创新研究。E-mail: mengjing2514@163.com

1 生物学特性

1.1 植物学特性

黄草乌为多年生草本攀援植物,喜温凉、喜光或半潮湿环境,生于海拔2 100–3 000m的山地灌丛中。块根椭圆球形或胡萝卜形,茎缠绕,叶片五角形,叶柄与叶片近等长。花序有3–6花,萼片紫蓝色,外面密被短柔毛,上萼片高盔形,花瓣无毛;萼筒直,无毛,种子三棱形,只在一面密生横膜翅;8–10月开花^[1]。据《中国植物志》中记载,该种下分为3个变种,黄草乌(原变种)(*A. vilmorinianum* var. *vilmorinianum*)、展毛黄草乌(*A. vilmorinianum* var. *patentipilum*)和深裂黄草乌(*A. vilmorinianum* var. *altifidum*),3个变种的区别主要在于花序轴和花梗毛被类型以及叶片分裂程度。之后王文采依据形态学证据将深裂黄草乌处理为西南乌头(*A. episcopale*)的异名^[5],《Flora of China》接受该处理^[6]。所以,当前黄草乌下仅含原变种和展毛黄草乌变种。另外,细胞学研究结果显示黄草乌为二倍体, $2n=2x=16$ ^[7]。

1.2 种子萌发与栽培繁育

1.2.1 种子萌发

采用块根播种法不仅用种量大而且成本高,若能通过种子播种获得大量种苗将对大规模生产有重要意义。探讨不同温度和激素对种子发芽率和发芽指数影响的研究结果显示,20℃为黄草乌种子萌发的最适温度,GA₃浸泡24h可显著提高种子的发芽率,5℃低温处理35d可显著缩短种子的萌发时间,适合大规模生产^[8]。此外,同属植物黄花乌头(*A. coreanum*)和船盔乌头(*A. naviculare*)均在25℃时种子萌发率最高^[9–10]。相比之下,黄草乌种子的最适宜萌发温度相对较低,这可能与其生长地域不同有关,黄草乌分布地区为低纬度高海拔,前两者为高纬度中高海拔,但三者种子均未表现出休眠特性。

1.2.2 栽培与引种

自21世纪初,人们盲目地收集、引种和过度采挖野生黄草乌趋势日益加剧,造成其分布区锐减,野生资源濒临枯竭。不过,在引种和栽培的过程中,也积累了一些黄草乌的种植和繁育经验^[11]。黄草乌为块根植物,其生长与土壤中无机元素的含量不相关,但对钙、铅、磷的吸收具有富集作用,对砷的富集作用也比较明显^[12]。已在玉溪市华宁

县海拔1 800–2 300m山区建立黄草乌的无公害人工种植技术示范园^[13]。耕作深度为30cm时,丰产性最佳;耕作深度为10cm时,亩产头数最多,繁殖系数最大^[14];一般在10月初到11月底采收质量最佳,但具体采收时间还得根据当地栽培条件而定^[13–15]。

1.2.3 组织培养

通过植物组织培养技术可以在短时间内生产大量种苗,以满足人们进行经济植物栽培时对种苗的需求,该技术在药用植物人工扩繁方面的作用越来越明显。在乌头属植物的组培快繁工作中,通常以茎尖^[16–18]、茎段^[17–20]、叶片^[21]、叶柄^[22–23]、胚轴^[24]和块根^[25]等为外植体开展工作。通过以黄草乌的块根、茎尖、茎段或嫩叶为外植体的比较研究发现,茎段是最适宜的诱导材料,经过诱导培养基为MS+6-BA 2.0mg/L+NAA 1.0mg/L,增殖培养基为MS+6-BA 2.0mg/L+NAA 0.2mg/L和生根培养基为MS+NAA 0.5–1.5mg/L的诱导过程,可以建立黄草乌的离体快繁体系,最高增殖系数达1:3.5,移栽成活率在80%以上^[26]。

2 化学成分和药理毒性

2.1 化学成分

二萜生物碱结构复杂,迄今已有超900种天然二萜生物碱被发表,其中80%以上来自毛茛科乌头属、翠雀属(*Delphinium*)和飞燕草属(*Consolida*)植物^[27]。从植物化学的角度来讲,二萜生物碱可分为C₁₈、C₁₉、C₂₀以及双二萜4类,其中乌头属植物中主要存在C₁₈、C₁₉、C₂₀3种类型^[27]。黄草乌及其变种的根中包含有多种二萜生物碱。早在1965年,已从云南产黄草乌的块根中分离出黄草乌碱甲(vilmorrianine A)、黄草乌碱乙(vilmorrianine B)以及另一种微量生物碱^[28]。之后随着研究方法的不断更新,越来越多的二萜生物碱从黄草乌根中提取出来,迄今为止共分离出41种不同的二萜生物碱,从展毛黄草乌中分离出17种,其中有7种与黄草乌中的二萜生物碱相同(表1)(原文献未标明变种的均以原变种统计)。至今尚未见从黄草乌中分离出乌头碱(aconitine)、中乌头碱(mesaconitine)以及次乌头碱(hypaconitine)的报道,说明黄草乌在化学成分上与《中国药典》收入的同属植物乌头(*A. carmichaelii*)和北乌头(*A. kusnezoffii*)有很大区别^[27]。

表1 黄草乌中二萜生物碱成分

Tab. 1 The diterpenoid alkaloids in *A. vilmorinianum*

编号	化合物名称	骨架结构	文献	编号	化合物名称	骨架结构	文献
1	vilmorrianine A (黄草乌碱甲)	C ₁₉	[28]	2	vilmorrianine B (karakoline) (黄草乌碱乙)	C ₁₉	[28]
3	yunaconitine (滇乌碱)	C ₁₉	[29]	4	vilmorrianine C (黄草乌碱丙)	C ₁₉	[29]
5	vilmorrianine D (sachaconitine) (黄草乌碱丁)	C ₁₉	[29]	6	vilmorrianone (黄乌酮)	C ₂₀	[30]
7	vilmorinine (黄乌宁)	C ₁₉	[31]	8	vilmorisine (黄乌生)	C ₁₉	[31]
9	vilmoritine (黄乌亭)	C ₁₉	[31]	10	vilmoridine (黄乌定)	C ₂₀	[32]
11	acoforine (丽江乌头任碱)	C ₁₉	[33]	12	columbidine (非洲防己碱)	C ₁₉	[33]
13	14-O-acetylsachaconitine (14乙酰基黄草乌碱丁)	C ₁₉	[33]	14	vilmoraconitine	C ₁₉	[34]
15	isotalatizidine (异塔拉定)	C ₁₉	[35]	16	talatisamine (塔拉乌头胺)	C ₁₉	[35]
17	austroconitine (南乌碱乙)	C ₁₉	[35]	18	8-deacetylyunaconitine (8-去乙酰滇乌碱)	C ₁₉	[36]
19	1-epi-16 β -hydroxycardiopetaline	C ₁₉	[37]	20	hemsleyaconitine F	C ₁₉	[38]
21	hemsleyaconitine G	C ₁₉	[38]	22	aconitramine A	C ₁₉	[38]
23	n-ethylhokbusine B	C ₁₉	[38]	24	vilmorrianine E	C ₁₉	[39]
25	vilmorrianine F	C ₁₉	[39]	26	vilmorrianine G	C ₁₉	[39]
27	n-desethyl-n-formyl-8-o-methyltalatisamine	C ₁₉	[39]	28	vilmorine A	C ₁₉	[40]
29	vilmorine B	C ₁₉	[40]	30	vilmorine C	C ₁₉	[40]
31	vilmorine D	C ₁₈	[40]				
32	patentine	C ₁₉	[41]	33	franchetine (大渡乌碱)	C ₁₉	[42]
34	indaconitine	C ₁₉	[42]	35	yunaconitine* (滇乌碱)	C ₁₉	[42]
36	talatisamine* (塔拉乌头胺)	C ₁₉	[42]	37	chasmaconitine (查斯曼尼丁)	C ₁₉	[42]
38	crassicauline A (粗茎乌头碱甲)	C ₁₉	[42]	39	bikhaconine (白头乌宁)	C ₁₉	[42]
40	talatizidine (塔拉定)	C ₁₉	[43]	41	vilmotenitine A	C ₁₉	[44]
42	vilmotenitine B	C ₁₉	[44]	43	vilmotenitine C	C ₁₉	[44]
44	vilmorine D*	C ₁₉	[44]	45	isotalatizidine* (异塔拉定)	C ₁₉	[44]
46	vilmorrianine B* (黄草乌碱乙)	C ₁₉	[44]	47	vilmorrianine D* (黄草乌碱丁)	C ₁₉	[44]
48	8-deacetylyunaconitine* (8-去乙酰滇乌碱)	C ₁₉	[44]				

注: *代表与黄草乌中生物碱相同。

2.2 药理与毒性

黄草乌根中含有的生物碱是其发挥药用的主要成分, 目前关于该物种生物碱药理方面的研究主要涉及两种成分, 其中黄草乌碱甲具有局部麻醉的作用^[28]; 滇乌碱 (yunaconitine) 具有抗炎镇痛解热^[45]、对机体进行免疫调节^[46]以及改善膝关节疼痛、肿胀、充血和血管渗透等作用^[4]。在抗关节炎方面, 同为 75% 酒精的块根提取液, 黄草乌的效果甚至优于川乌和北乌头^[4]; 在镇痛方面, 滇乌碱对小鼠的半数有效量 (ED₅₀) 为 0.04mg/kg, 而乌头碱为 0.05mg/kg^[47]。滇乌碱的毒性极高, 对小鼠腹腔注射的半数致死量 (LD₅₀) 为 0.585 mg/kg、静脉注射为 0.05mg/kg, 而乌头碱对小鼠腹腔注射的 LD₅₀ 为 0.22-0.31mg/kg、静脉注射为 0.10-0.12mg/kg^[48-51]。已有研究表明, 黄草乌对砷的富集作用比较明显, 而且砷是形成黄草乌有效成分滇乌碱、黄草乌碱甲以及黄草乌碱丙的必要元素^[12]。

2.3 化学指纹图谱研究

化学指纹图谱是从整体上对物质群进行研究, 克服某一成分或几个化合物在样品定性和定量分析中造成的局限性, 其依据主要是化学成分的种类及含量, 可以用来鉴别物种和产地、对植物进行质量评价等^[52]。早期对于黄草乌的指纹图谱的研究主要采用紫外分光光度法、薄层色谱法以及酸碱滴定法, 这些方法比单一的理化鉴别更科学完整, 但难以实现对相关成分的精确定量^[53]。目前, 主要用高效液相色谱法 (HPLC) 对黄草乌中所含的生物碱进行检测, 它可以精确测定黄草乌中滇乌碱的含量, 而且也是当前黄草乌药材质量控制及检测的主要手段^[35,54-55]。

3 生药学研究

生药学是研究生药的品种及来源、有效成分及鉴定以及生药资源的可持续发展和利用的一门学

科。黄草乌的生药学特征为：块根椭圆球形，茎缠绕，叶片坚纸质，五角形，花序有3-6花，根横切面有后生皮层，皮层有石细胞，并含有众多淀粉粒，茎横切面中柱鞘纤维宽广，叶肉组织为异面型，气孔不定式，花粉粒具3个萌发孔^[56]。黄草乌在临床上的运用通常需要经过炮制，以达到加强药效，减除毒性或副作用的目的等。通过对黄草乌采用不同的炮制方法，表明辅料尤其是生姜和甘草对于黄草乌炮制后的有效成分影响比较大，经炮制后总生物碱含量明显减少，同时有大量的非生物碱物质生成^[57-58]。后期的研究不能仅仅以抛去辅料后的制黄草乌为对象，其炮制时所使用的辅料也应当加以考虑。

4 分子生物学研究

分子生物学是在分子水平上研究生物大分子如核酸、蛋白质的结构与功能，进而阐明生命现象的本质。用叶绿体基因片段 *trnH-psbA* 对19个乌头属植物的134份样品进行DNA条形码鉴定研究表明，黄草乌与短柄乌头 (*A. brachypodum*)、瓜叶乌头 (*A. hemsleyanum*)、保山乌头 (*A. nagarum*) 及其2个变种小白撑 (*A. nagarum* var. *heterotrichum*) 和无距小白撑 (*A. nagarum* var. *heterotrichum* f. *dielsianum*) 等聚为一支，仅依靠单一片段无法将其与相关物种进行区分^[59]；黄草乌与滇南草乌形态接近，但在分子水平上两者可通过比对核基因片段 ITS 序列，找出各自特定的变异位点加以区分^[60]；为进一步加强黄草乌在分子水平方面的研究，在前期工作中以云南昆明和武定的黄草乌作为实验材料，利用下一代测序技术已成功开发出18对SSR引物，以期为黄草乌的遗传多样性研究、物种形成和野生资源保护与利用提供新思路^[61]。

5 内生菌分离

植物内生菌是指那些在其生活史的一定阶段或全部阶段生活于健康植物的各种组织和器官内部的微生物，主要有真菌、细菌和放线菌。其分布广，种类多，是获得新的且具有生物学活性天然产物的重要来源^[62]。从植物中分离内生菌并对其进行研究，对部分具有药用价值的濒危野生植物的保护具有重要作用^[63]。已从黄草乌植物的根中共分离出23属内生真菌，其中从茎中分离出7属内生真菌，

但不同文献记载的黄草乌块根所含内生真菌优势属不同，如李治滢等^[64]的研究发现优势属为主壳菌属 (*Chaetomium*)，而尹田鹏等^[65]则认为镰刀菌属 (*Fusarium*) 和青霉菌属 (*Penicillium*) 为其优势属。同种植物同一分布组织中其内生真菌优势属不同，是否与黄草乌分布区不同相关，有待进一步研究论证。

6 观赏园艺

蓝色是目前花卉品种中极缺的色系，培育蓝色花卉成为近年来花卉育种中花色研究及改良的热点之一。乌头属植物的花为蓝紫色，具有很高的观赏及园林应用价值^[66-67]。近几年来，乌头属植物在园林应用方面表现出极大的前景和潜力，国内关于乌头属野生花卉资源的开发利用逐步开展，现已出现乌头切花的商品化生产，通过辐射诱变技术^[68]、栽培技术^[69]、切花保鲜技术^[70]以及生长调节剂对其生长特性影响^[71]的研究，其产业化生产流程正逐渐完善。研究发现，在瓶插试验中，北乌头及华北乌头 (*A. soongaricum* var. *angustius*) 的瓶插天数为7d和9d，且落花现象不明显，而黄花乌头同乌头一样，具有较长的花序，且花小而密集，这4种植物均可作切花品种^[72]；对北京^[72]、西藏^[73]、吉林^[74]、黑龙江^[75]以及陕西^[76-77]等地进行的乌头属野生资源的调查结果显示，这些地区乌头属种质资源丰富，并且绝大多数可用于园林绿化及切花生产；分布于西藏地区的船盔乌头和多花乌头 (*A. fletcherianum*) 可适应海拔5000m以上的生存环境，更是宝贵的高寒花卉基因库。黄草乌花高盔型，茎缠绕，是一种很好的观赏植物，对充实中国园艺花卉植物有着重要作用，通过RT-PCR方法从其花朵中克隆得到的 *F3'5'H* 基因，对蓝色花卉育种具有重要意义^[78]。

7 展望

近50年来，国内外众多学者对黄草乌进行了多方面研究，从早期主要以探索其有效化学成分为主，到后来的引种栽培、组培快繁，以及最近分子生物学工作的开展，黄草乌一直为人们所重视。基于以上对黄草乌近年来研究的概述，发现其研究中的一些薄弱环节，并提出后续可加强研究的若干建议。主要有以下几方面。

7.1 继续加强化学成分研究

黄草乌化学成分的研究主要集中于根部,而在人参(*Panax ginseng*)^[79]、黄芪(*Astragalus membranaceus*)^[80]和三七(*Panax pseudoginseng*)^[81]等药用植物的研究中发现,其地上部分茎、叶、花、果中也含有具药用价值的化学成分。在秦岭产同属植物甘青乌头(*A. tanguticum*)、铁棒锤(*A. pendulum*)、太白乌头(*A. taipaicum*)和松潘乌头(*A. sungpanense*)的地上部分分离出较高含量的生物碱^[82]。当前仍主要从黄草乌植物的块根中获取有效化学成分,其地上部分应加强研究。此外,在前期的野外调查中发现,黄草乌从块根外表皮的颜色上可以区分为“红皮”和“白皮”2种块根,其形成原因以及两者所含化学成分是否存在差异有待进一步研究。

7.2 开展保护遗传学研究和规范化种植

随着云南省“云药之乡”品牌建设的推进,当前云南省内一些黄草乌野生主产区仍把引种、驯化黄草乌野生资源作为发展草乌种植业的主要手段。盲目地收集引种、毁灭性采挖野生黄草乌,已造成其分布区不断萎缩,其野生种质资源受到严重破坏。目前虽已初步建立黄草乌的组培快繁体系和无公害人工种植技术,但在一定程度上仍难满足市场的用药需求。当前,急需开展黄草乌保护遗传学工作,通过理清黄草乌种源、评价黄草乌野生资源的居群遗传多样性和居群遗传结构,从而进一步为黄草乌种质资源的系统搜集、评价、保护和优异基因资源的发掘及育种研究奠定基础,更为黄草乌药材的规范化种植、打通其产业化发展多个受限环节提供依据。

7.3 开展组学层面研究

人类基因组计划完成之后,科学家们又进一步提出后基因组计划,对于生命科学的研究由全部的遗传信息转变为部分基因的功能以及组学的研究^[83]。随着研究手段的发展,对药用或观赏植物开展组学研究正逐渐成为热点。对黄草乌的种下单元及其近缘种,具不同根皮颜色的块根及其内生真菌进行基因组学、转录组学、代谢组学等层面的研究,将为完善其物种鉴定方法,有效减少药用过程中品种混乱现象,寻找和发现新的药物活性成分提供依据,并对其药材质量的控制以及优良种质的选育提供资料。

7.4 进行新品种培育

野生花卉是进行物种培育的重要来源,在日本、欧洲等一些发达国家,已培育出可作为观赏、

园林绿化以及鲜切花的乌头栽培品种,包括阿兰德西(*A. 'Arendsii'*)、蓝色珊瑚(*A. 'Bule Lagoon'*)以及火花(*A. 'Sparks Variety'*)等品种。目前,国内对乌头属植物的研究还主要集中在资源调查以及对野生资源的初步开发阶段,新品种选育方面的工作相对滞后。黄草乌为集药用和观赏价值于一身的优异种质资源,加强对其品种选育的研究,将为进一步的开发和利用黄草乌提供新的产业化发展方向。

参考文献:

- [1]王文采. 中国植物志(第27卷)[M]. 北京:科学出版社,1979.
- [2]王雨来,杜国安,刘邦强. 云南白药现代医学应用概述[J]. 时珍国医国药,2006,17(12):2580-2582.
- [3]吴征镒,周太炎,肖培根. 新华本草纲要(第一册)[M]. 上海:上海科学技术出版社,1983.
- [4]Li M, He J, Jiang L L, et al. The anti-arthritic effects of *Aconitum vilmorinianum*, a folk herbal medicine in Southwestern China [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2013, 147:122-127.
- [5]王文采. 中国毛茛科植物小志(十五)[J]. 植物分类学报, 1993, 31(3):201-226.
- [6]Li L Q, Kadota Y. *Aconitum* Linnaeus. In: Wu CY and Raven P, eds. Flora of China 6 [M]. Beijing/St. Louis: Science Press/Missouri Botanical Garden Press, 2001.
- [7]Yang Q E, Gu Z J, Wu Z Y, et al. A karyomorphological study in *Aconitum* subgen. *Aconitum* (Ranunculaceae) from Yunnan, China [J]. Cathaya, 1993, 5:89-114.
- [8]艾洪莲,何华杰,杨曼思. 黄草乌种子萌发特性研究[J]. 种子, 2015, 34(12):80-82.
- [9]李赫男,王娜. 黄花乌头种子萌发特性的研究[J]. 种子, 2010, 29(1):83-84.
- [10]王立辉,李晖. 濒危藏药材船盔乌头种子萌发特性研究[J]. 现代农业科技, 2011(15):104-106.
- [11]邓廷丰,李培清. 云南野生滇南黄草乌人工驯化栽培技术[J]. 农村实用技术, 2001(1):15-19.
- [12]汪丽娅,孟繁蕴,张文生,等. 黄草乌原药材与土壤无机元素相关性研究[J]. 北京中医药大学学报, 2005, 28(3):68-71.
- [13]李明福. 滇中黄草乌资源开发及种植技术[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(1):11-12, 14.
- [14]周国华,魏明,李俊梅,等. 不同耕作深度对黄草乌产量的影响[J]. 云南农业, 2010(11):26.
- [15]魏明,周国华,李俊梅,等. 人工栽培黄草乌最佳采收期研究[J]. 云南农业, 2011(6):25.
- [16]胡延玉,伍光庆. 乌头的组织培养与再生植株[J].

植物生理学通讯,1985(5):37.

[17]王定康,郭丽红,翟书华. 宣威乌头的组织培养与快速繁殖[J]. 植物生理学通讯,2004,40(4):464.

[18]田迎秋. 乌头种苗的快速繁殖研究及种质资源的RAPD和 AFLP 分析[D]. 雅安:四川农业大学,2007.

[19]林静,何毅. 乌头组培快繁的技术探讨[J]. 贵州科学,1998,16(2):120-123.

[20]雷颖,任一杰,沈晓燕. 松潘乌头嫩茎高效再生体系的建立[J]. 园艺学报,2015,42(7):1393-1399.

[21]关文灵,王黎,郑思乡. 乌头植株再生体系的建立[J]. 中草药,2003,34(6):561-563.

[22]张继,廖天江,杨宁,等. 高乌头愈伤组织诱导及增殖研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版),2008,44(1):83-87.

[23]张继,田玉汝,杨宁,等. 野生高乌头组织培养及快速繁殖[J]. 生物学通报,2010,45(1):40-41.

[24]于荣敏,徐秀泉,赵昱. 黄花乌头体细胞胚胎发生及其植株再生[J]. 中草药,2004,35(8):932-935.

[25]雷颖. 松潘乌头块根愈伤组织诱导及再生体系的建立[J]. 植物生理学报,2014,50(11):1727-1732.

[26]王卜琼,韦建荣,李红仙,等. 黄草乌离体快繁技术研究[J]. 中国农学通报,2008,24(7):235-237.

[27]肖培根,王锋鹏,高峰,等. 中国乌头属植物药用亲缘学研究[J]. 植物分类学报,2006,44(1):1-46.

[28]朱元龙,朱任宏. 中国乌头的研究 VIII. 黄草乌根中的生物碱[J]. 药学学报,1965,12(3):167-170.

[29]杨崇仁,郝小江,周俊. 黄草乌碱乙和碱丁的结构[J]. 云南植物研究,1979,1(2):41-42.

[30]吴凤镔. 黄乌酮的 X-射线结构测定[J]. 天然产物研发与开发,1991,3(1):35-39.

[31]丁立生,陈耀祖. 黄草乌中的新二萜生物碱[J]. 化学学报,1992,50(4):405-408.

[32]丁立生,吴凤镔,陈耀祖. 一个新骨架二萜生物碱[J]. 化学学报,1994,52(9):932-936.

[33]Rahman A U, Choudhary M I. Diterpenoid and steroidal alkaloids [J]. Natural Product Reports,1997,14:191-203.

[34]Xiong J, Tan N H, Ji C J, et al. Vilmoraconitine, a novel skeleton C₁₉-diterpenoid alkaloid from *Aconitum vilmorinianum* [J]. Tetrahedron Letters,2008,49:4852-4853.

[35]望艳. 基于物质基础的黄草乌药材质量标准研究[D]. 昆明:云南中医学院,2013.

[36]Shu X K, Li J, Liu F, et al. Accelerated solvent extraction and pH-zone-refining counter-current chromatographic purification of yunaconitine and 8-deacetylyunaconitine from *Aconitum vilmorinianum* Kom. [J]. Journal of Separation Science, 2013,36:2680-2685.

[37]唐天兴,陈东林,王锋鹏. 黄草乌中的新的二萜生物碱[J]. 有机化学,2014(34):909-915.

[38]汪焕芹,刘波,詹睿,等. 黄草乌二萜生物碱成分研究[J]. 云南农业大学学报,2014,29(5):773-777.

[39]Chen C L, Tan W H, Wang Y, et al. New norditerpenoid alkaloids from *Aconitum vilmorinianum* Komarov [J]. Journal of Natural Medicines,2015,69:601-607.

[40]Yin T P, Cai L, Fang H X, et al. Diterpenoid alkaloids from *Aconitum vilmorinianum* [J]. Phytochemistry, 2015, 116: 314-319.

[41]Ding L S, Chen Y Z, Wu F E, et al. A diterpenoid alkaloids from *Aconitum vilmorinianum* var. *patentipilum* [J]. Phytochemistry, 1990,29(11):3694-3696.

[42]丁立生,陈耀祖,李伯刚. 展毛黄草乌的生物碱研究[J]. 植物学报,1991,33(10):807-809.

[43]Yunusov M S. Diterpenoid alkaloids [J]. Natural Product Reports,1993,10:471-486.

[44]Cai L, Fang H X, Yin T P, et al. Unusual C₁₉-diterpenoid alkaloids from *Aconitum vilmorinianum* var. *patentipilum* [J]. Phytochemistry Letters,2015,14:106-110.

[45]林志共,蔡文,唐希灿. 滇乌碱的抗炎和镇痛作用[J]. 中国药理学与毒理学杂志,1987,1(2):93-99.

[46]李晓玉,蒋开明,林子英. 滇乌碱的免疫调节作用[J]. 中国药理学与毒理学杂志,1987,1(2):100-104.

[47]Eric N, Xu Y Y, Li Y B, et al. A review on phytochemistry, pharmacology and toxicology studies of *Aconitum* [J]. Journal of Pharmacy and Pharmacology,2014,67:1-19.

[48]陈泗英. 滇乌碱的结构[J]. 化学学报,1979,37(1):15-19.

[49]王慕邹,肖培根,高凤英,等. 大乌头及藤乌头类乌头的调查鉴定与成分分析[J]. 药学学报,1983,18(12):929-933.

[50]Bisset N G. Arrow poisons in China (Part II): *Aconitum*-botany, chemistry, and pharmacology [J]. Journal of Ethnopharmacology,1981,4:247-336.

[51]Zhou G H, Tang L Y, Zhou X D, et al. A review on phytochemistry and pharmacological activities of the processed lateral root of *Aconitum carmichaelii* Debeaux [J]. Journal of Ethnopharmacology,2015,160:173-193.

[52]李妍,张霖,金航,等. 化学指纹图谱技术在食(药)用真菌研究中的应用[J]. 食品科学,2016,37(1):222-229.

[53]杨秀兰,文正洪. 黄草乌质量标准研究[J]. 中国民族民间医药杂志,2005(1):54-57.

[54]金永清,韦建荣,张雯浩. HPLC 法测定黄草乌中滇乌碱含量的研究[J]. 中药新药与临床药理,1998,9(3):174-176.

[55]汪丽娅,张文生,杜树山,等. 黄草乌 HPLC 指纹图谱分析方法研究[J]. 北京中医药大学学报,2006,29(8):548-550.

[56]徐春燕,朱兆云,高丽,等. 黄草乌的生药学研究

- [J]. 云南中医中药杂志,2009,30(2):26-29.
- [57]贺圣歆. 黄草乌不同炮制方法对比研究[D]. 昆明:云南中医学院,2015.
- [58]王艳. 黄草乌药材非生物碱成分及其炮制前后对比研究[D]. 昆明:云南中医学院,2016.
- [59]He J, Wong K L, Shaw P C, et al. Identification of the medicinal plants in *Aconitum* L. by DNA barcoding technique [J]. *Planta Medica*, 2010, 76:1622-1628.
- [60]张晓南, 杜春华, 符德欢, 等. 黄草乌及其混淆品 ITS 序列的分析鉴别[J]. *中药材*, 2012, 35(9):1410-1413.
- [61]He J, Zhang Z R, Yang J B, et al. Isolation and characterization of 18 microsatellites for *Aconitum vilmorinianum* Kom. (Ranunculaceae) using next-generation sequencing technology [J]. *Conservation Genetics Resources*, 2015, 7: 579-581.
- [62]徐范范, 金波, 丁志山. 药用植物内生真菌产次生代谢产物的研究进展[J]. *医学综述*, 2010, 16(17):2667-2669.
- [63]艾嫦, 朱妍妍, 赵长琦. 乌头属植物化学成分、药理作用及其内生菌的研究进展[J]. *天然产物研究与开发*, 2012, (24):248-259.
- [64]李治滢, 杨丽源, 李绍兰, 等. 滇南黄草乌内生真菌抗菌活性的筛选[J]. *时珍国医国药*, 2009, 20(5):1027-1029.
- [65]尹田鹏, 俞静, 王家鹏, 等. 黄草乌根部内生真菌的分离与鉴定[J]. *中国医药导报*, 2016, 13(30):9-11, 48.
- [66]关文灵, 李世锋, 郑思乡. 云南乌头属花卉资源及其开发利用[J]. *中国野生植物资源*, 2000, 21(6):22-26.
- [67]徐延涛, 吴福川, 王玉英. 花卉乌头育种的研究及应用前景展望[J]. *中国园艺文摘*, 2012(10):22-23.
- [68]屈云慧, 徐延涛, 熊丽, 等. 切花乌头的辐射诱变技术初报[J]. *西南农业学报*, 2007, 20(5):1138-1139.
- [69]李进昆, 屈云慧. 野生乌头切花栽培技术[J]. *北方园艺*, 2007(8):166.
- [70]李进昆, 屈云慧, 熊丽, 等. 预处理对乌头切花保鲜效果的影响[J]. *江苏农业科学*, 2007(5):218-219.
- [71]解玮佳, 李兆光, 徐春莲, 等. 矮壮素对乌头生长特性的影响[J]. *浙江农业科学*, 2009(1):82-84.
- [72]樊亚妮. 中国北方地区部分乌头属植物种质资源调查及其引种繁育研究[D]. 北京:北京林业大学, 2007.
- [73]马景锐, 薛辉, 徐磊, 等. 西藏乌头属植物多样性研究及其应用[J]. *广东农业科学*, 2015(20):26-33.
- [74]高文韬, 王旭东, 黄云峰, 等. 吉林省乌头属植物资源调查研究[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(31):13668-13669.
- [75]王俊颖, 朱津梅, 马淑杰. 大兴安岭林区乌头属花卉资源及开发前景[J]. *中国园艺文摘*, 2013(2):124-125.
- [76]李璟琦, 贺钰, 左倩, 等. 陕西秦岭乌头属植物资源及其利用研究[J]. *陕西农业科学*, 2014, 60(7):17-21.
- [77]李璟琦, 谢梓焱, 贺钰, 等. 太白山自然保护区乌头属花卉资源及其利用[J]. *陕西农业科学*, 2015, 61(11):66-68.
- [78]马璐琳, 王祥宁, 贾文杰. 黄草乌 *Av-F3'5'H* 基因的克隆与表达分析[J]. *西南农业学报*, 2015, 28(6):2438-2443.
- [79]王丹, 赵余庆. 人参地上部分现代药学的研究进展[J]. *中国现代中药*, 2008, 10(7):11-14.
- [80]谢新然. 黄芪地上部分化学成分及代谢组学研究[D]. 太原:山西医科大学, 2016.
- [81]杨晶晶, 刘英, 崔秀明, 等. 高效液相色谱法测定三七地上部分 γ -氨基丁酸的含量[J]. *中国中药杂志*, 2014, 39(4):606-609.
- [82]杨长花, 王西芳. 秦岭产4种乌头地上部分生物碱含量测定[J]. *西北药学杂志*, 2008, 23(6):364-365.
- [83]王龔, 许文涛, 赵维薇, 等. 组学技术及其在食品科学中应用的研究进展[J]. *生物技术通报*, 2011(11):26-32.