

# 雪莲的研究进展

黄继红, 谭敦炎\*

(新疆农业大学林学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 从形态学、解剖学、生殖生态学、药用价值及人工繁殖等方面对国产雪莲类植物的研究进展进行了总结, 并对目前在该类植物研究中存在的问题进行了分析, 同时对今后的研究重点进行了探讨, 以为该类资源的利用与保护提供必要的参考。

**关键词:** 雪莲; 形态学; 解剖学; 生殖生态学; 药用价值; 人工繁殖

中图分类号: Q949.783.5

文献标识码: A

## Advances in Studies of Snow Lotuses (*Saussurea*)

Huang Jihong, Tan Dunyan

(College of Forestry Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, 830052)

**Abstract:** This paper has reviewed the research recently developed in snow lotuses on morphology, anatomy, reproductive ecology, medicinal value and artificial propagation in China, and put forward to the problems existed in these studies, and discussed their value and prospects of researches. We hope that these results can provide essential referances material for utilization and protection of this kind of resources.

**Key words:** Snow lotus (*Saussurea*); morphology; anatomy; reproductive ecology; medicinal value; artificial propagation

雪莲是菊科凤毛菊属(*Saussurea* DC)的一类具有通经活血、暖宫散瘀、散寒除湿和强筋助阳等多种功能的药用植物的总称。该属植物全世界约400种, 中国有300种左右, 分属5个亚属, 其中新疆有49种<sup>[1]</sup>。常被用作中药的雪莲原植物共有12种和1变种<sup>[2]</sup>。但这些原植物的名称随产地而不同, 如西藏等地用三指雪兔子(*S. tridactyla* Sch.-Bip. ex Hook. f.); 四川、云南等地用绵头雪莲(*S. laniceps* Hand. Mazz); 甘肃、青海等地用水母雪莲(*S. medusa* Maxim.); 青海也用雪兔子(*S. gossypiphora* D. Don); 新疆用新疆雪莲(*S. involucrata* Kar. et Kir.)等。其中, 新疆雪莲, 又名天山雪莲、雪莲花、雪荷花等。1881年, 由俄国人Karelin和Krilovii最早将其命名为总苞凤毛菊<sup>[3]</sup>。它主要分布于我国新疆的天山及阿尔泰山一带及俄罗斯(西伯利亚)、蒙古、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦(天山)等地。在新疆天山, 它主要生长于海拔2400~4100m的高山草甸、高山冰碛石和流石滩石隙、悬崖峭壁石缝等处。

雪莲类植物生长的自然环境极为严酷, 自然繁殖相当困难。由于具有重要的药用价值, 多年来, 人们对其进行了掠夺式的采挖, 致使该类资源的储量急剧减少, 少数种类已处于灭绝的边缘, 1996年国家已将新疆雪莲列为二级保护植物, 2000年7月国务院13号文件已明令禁止采挖野生雪莲, 2001年卫生部160号、188号文件严令禁止以野生雪莲及其产品为原料生产保健食品。由此可见, 雪莲资源的生存现状及保护问题已

收稿日期: 2002-03-14

基金项目: 中国科学院天山冰川观测开放试验站基金(20004)、科技部农业科技成果转化基金(02EFN216500623)及新疆科技厅中小企业创新基金(CXJJ2001-03)资助项目。

\* 通讯联系人

引起了各级政府的高度重视。因此,深入开展对雪莲类资源及其生物学特性、药用价值等方面的研究,可为处理好保护与开发之间的矛盾,实现该资源的可持续利用提供重要的理论依据。为此,我们在广泛查阅文献的基础上,重点对我国雪莲资源的研究现状从形态学、解剖学、生殖生态学及药用价值等方面进行了简要的总结,并对其存在的问题进行了分析,以期为该类资源的系统研究提供参考。

## 1 形态学

有关雪莲类植物的形态学研究,国内学者曾进行了一些报道:刘发等<sup>[3]</sup>、刘勇民等<sup>[4]</sup>对新疆雪莲的形态特征进行了描述;沈观冕<sup>[6,7]</sup>曾对新疆凤毛菊属植物的分类进行了整理;刘勇民等<sup>[4]</sup>描述了新疆雪莲花粉粒为钝三角形或类圆形,具3沟,外壁有刺状突起。王为义<sup>[8]</sup>观察了唐古特雪莲(*S. tangutica* Maxim)花粉粒的形态为扁球形,具3沟,双层壁,外壁波浪突起上具刺。黄运平等<sup>[9]</sup>曾对我国凤毛菊属28种植物果实形态特征进行了观察比较,发现该属植物瘦果多为长柱形,偶有长棒状,具棱或否,颜色各异。在种内瘦果形状大小、颜色以及斑纹都比较稳定。同时,在扫描电镜下进行观察,发现凤毛菊属果皮纹饰主要有条纹型、孔纹型、网纹型和复合型四种,其中,条纹型又分为有隔条纹亚型和无隔条纹亚型。王伏雄<sup>[10]</sup>对沙生凤毛菊(*S. arenaria* Maxim.)、窄翼凤毛菊(*S. frondosa* Hand.-Mazz.)和禾叶凤毛菊(*S. graminea* var. *ortholepis* Hand.-Mzt.)3个种的花粉粒形态及外壁纹饰进行了扫描电镜观察,发现其花粉粒大小、外壁厚度、突刺长度及每裂片上突刺个数上存在差别:沙生凤毛菊,花粉较大,直径为65~70 μm,外壁厚度不均匀,在赤道部分往往特别厚,可达14 μm,刺长约3 μm,每裂片上具6~7(8)刺;窄翼凤毛菊,花粉直径为52.5(44.5~58.0) μm,外壁厚约8 μm,刺长约2 μm,每裂片上具6刺;禾叶凤毛菊,花粉直径约为47.5(43~54) μm,刺长约3 μm,每裂片上具6刺。

## 2 解剖学

刘勇民等<sup>[4]</sup>对新疆雪莲苞叶的结构进行了观察,从横切面看,上表皮细胞椭圆形或类长方形,排列整齐,外壁稍厚,下表皮外壁亦增厚并可见腺毛和非腺毛的残基,叶肉细胞2~6层,细胞形状不规则,主脉明显向下凸出,上表面微凹,维管束双韧型,3~5个。其粉末为黄绿色,气孔不定式,副卫细胞常3~4个,长轴约42 μm,短轴约32 μm,非腺毛为多细胞,基部细胞短,或为分枝状非腺毛,腺毛头部为多细胞,腺柄常为2列细胞,长40~1 000 μm,腺鳞圆形,柱头和花柱碎片具绒毛或刺状突起,导管有螺旋纹和网纹,直径15~40 μm,纤维成束,细胞壁薄,细胞腔大,含有乳汁管和淀粉粒。王为义<sup>[8]</sup>观察了唐古特雪莲茎、叶的解剖结构,比较了该种单头花序植株和多头花序植株在解剖结构上的差异,并分析了这两种植株在结构上的特化及其对生态环境的适应性。

## 3 生殖生态学

雪莲为多年生一次性开花结实的植物。谭敦炎等<sup>[1,11]</sup>对生长于新疆天山1号冰川附近高山带阳坡砾石质环境中的新疆雪莲的生境、物候学、生物学特性及繁育系统进行了研究,并探究了与其生殖有关的生活史对策。他们在该地选取了2个具代表性的样点,分析了土壤的理化性质,并总结分析了该生境的气候状况。研究表明:雪莲生境的土壤极为贫瘠,表现为弱酸性,在同一分布区中土壤的理化性质没有明显的差异。生境的年均温很低,均在0℃以下,每年5至9月年均温为正值或接近正值,日平均最高温出现在15:00~16:00。在此生境下进入生殖生长的植株其顶芽在4月上旬至5月下旬开始萌动,花期从6月下旬至7月下旬,可维持30 d左右,9月中旬果实成熟,随后果实脱离母体,植株逐渐枯黄死亡。其生育年龄一般为5~6 a,仅以有性繁殖的方式进行繁殖,生殖生长时,形成密集半球形的复头状花序,着生在复头状花序上部的花能正常开花结实,着生在复头状花序基部及茎上叶腋内的头状花序均不能正常开花结实。复头状花序最顶部的花序最先开放,然后依次向下。在同一花序中雪莲的果实有两种颜色,一种为褐色,一种为紫色,但两种果实的萌发特性没有区别,可育花序结实率可达67.5%,果实大小为长×宽=(0.5~0.7)cm×

(0.1~0.2)cm, 千粒重为 3.0114 g, 以风媒进行传播。

通过比较生殖部分(头状花序)和非生殖部分(茎、叶和苞叶)总干重的比例, 认为其总资源供给生殖器官的比例是随着发育时期而不断增加的。

## 4 药用价值

### 4.1 历史记载

早在公元 8 世纪藏族古代药物文献《月王药珍》就对雪莲进行了记载, 后来《西部医典》、《西北域记》、《相园小识》、《兰琉璃》、《晶珠本草》中也对其进行了记载<sup>[12, 2]</sup>。对新疆雪莲的记载, 最早见于清代赵学敏所编的《本草纲目拾遗》一书, 该书对雪莲的形态、生长环境和功用等作了较全面的描述。清代纪昀《阅微草堂笔记》中, 正式起用雪莲这个名称。1936 年贾树模在其《新疆杂记》中也记述过雪莲<sup>[3]</sup>。

### 4.2 化学成分研究

目前对雪莲类药材的化学成分研究较多的有雪兔子、新疆雪莲、绵头雪莲、水母雪莲、星状雪兔子(*S. stella* Maxim.)和丛株雪兔子(*S. tridactyla* Sch. —Bip. var.)6 种。陈发菊等<sup>[2]</sup>对其进行了较详细的总结, 认为该类药材主要含有黄酮类、生物碱、内酯甾醇、多糖及挥发油等多种化学成分, 其中主要的次生代谢物是黄酮及黄酮苷类。以地上药用部分为材料, 通过溶剂处理和层析法对乙醇提取的乙醚、石油醚、乙酸乙酯、正丁醇及碱性氯仿组进行分离, 得到了 60 多个单体化合物以及供药理选用粗提物, 并经红外光谱(IR)、紫外光谱(UV)、质谱(MS)、核磁共振谱(<sup>1</sup>HNMR 和 <sup>13</sup>CNMR)、单晶-X 衍射、化学分析及样品对照确定了其中的 60 个化合物。通过对不同种雪莲化合物类型进行比较发现, 同属雪莲植物体内均含有黄酮类化合物, 近缘种如雪兔子和丛株雪兔子的化学成分类型基本相同; 不同种雪莲又含有种的特征性化合物, 如新疆雪莲中特有的大苞雪莲内酯和大苞雪莲碱, 星状雪兔子中的金合欢素、日本槲寄生、山奈素-3-O- $\alpha$ -L 鼠李糖苷及大黄素甲醚, 这说明同属的雪莲花亚属和雪兔子亚属不同种的雪莲植物在化学成分上既有同一性又存在种的特征性差异。用 GC/MS(气相色谱/质谱)连用技术对新疆雪莲、水母雪莲<sup>[13]</sup>、雪兔子的药用部分的挥发油成分进行定性分析并鉴定出 146 个成分<sup>[2]</sup>。3 种雪莲植物挥发油成分类型主要是萜类、醇类、有机酸类、酮类、酯类、烷烃和少量芳香烃。这些成分类型与凤毛菊属其它植物挥发油成分类型基本一致, 但 3 种雪莲的挥发油组成除共同具有邻二甲酸二酯外, 其于均属不同类型化合物, 这说明挥发油成分在种间存在差异。

### 4.3 药理及临床研究

雪莲的药用成分丰富, 民间已用其治疗多种疾病。近年来, 人们对雪莲在抗炎镇痛、抗早孕、抗衰老及抑制癌细胞增生方面的作用研究得较多。目前对其药理作用的研究主要表现在 6 个方面: ①抗炎作用: 何新等<sup>[12]</sup>通过动物试验证明: 黄酮对大鼠关节急性炎症及小鼠疼痛反应皆有明显的对抗作用。雪莲中不仅黄酮有抗炎镇痛作用, 而且总生物碱对蛋清引起的大鼠后踝关节急性关节炎也有明显的对抗作用, 作用强度与水杨酸钠相似<sup>[14]</sup>。②抗肿瘤作用: 大苞雪莲中的两种黄酮(jaceosidin)和粗毛豚草素对腹水型肝癌细胞 DNA 合成的 ID<sub>50</sub>分别为 70 和 116 ng·ml<sup>-1</sup>, 一般认为对 DNA 代谢的 ID<sub>50</sub>在 1~100 ng·ml<sup>-1</sup>者为有效药物<sup>[15]</sup>。雪莲总碱对癌细胞 DNA 合成的 ID<sub>50</sub>为 51.7 ng·ml<sup>-1</sup>, 也具有极强的抑制作用<sup>[12]</sup>。③对心血管系统的影响: 雪莲总碱和雪莲乙醇提取物均可降低家兔皮肤血管的通透性, 作用极强; 雪莲总碱可使离体兔耳血管收缩; 雪莲乙醇提取物对血管则呈扩张作用; 雪莲总碱和总黄酮均能降低麻醉家兔和麻醉犬的血压; 雪莲总碱对离体兔心有抑制作用<sup>[12]</sup>。④对平滑肌的作用: 雪莲总碱对组胺、毛果芸香碱和乙醇胆碱引起的离体家兔肠平滑肌痉挛有显著的解痉作用, 能部分地对抗组胺引起的豚鼠离体气管环的收缩作用<sup>[12]</sup>。⑤清除自由基及抗疲劳的作用: 雪莲中的多糖、粗毛豚草素和金合欢素(acacetin)均具有清除自由基和抗氧化的能力<sup>[12]</sup>。⑥终止妊娠及收缩子宫的作用: 从水母雪莲中分离出多糖单一组分, 对小鼠有明显终止妊娠作用。大鼠用药后, 子宫收缩振幅, 频率和张力都增加, 其强度与剂量呈正相关<sup>[16]</sup>。临床多用于治疗风湿性和类风湿性关节炎、终止早期妊娠等<sup>[3]</sup>。

## 5 人工繁殖

目前, 对于雪莲的人工繁殖主要集中在组织培养和人工种植两方面。

### 5.1 组织培养

有关雪莲的组织培养研究目前国内已开展了不少的工作。赵德修<sup>[17~21]</sup>、邢建民<sup>[22~24]</sup>、陈发菊<sup>[25]</sup>、杨金玲<sup>[26]</sup>、黄艳<sup>[27]</sup>和李毅等<sup>[28]</sup>对水母雪莲的愈伤组织诱导、理化因子影响、细胞悬浮培养、高产黄酮细胞系筛选等方面进行了全面细致的研究, 基本弄清了水母雪莲组织培养的最佳培养基、温度和光照条件及影响黄酮产量的相关因素。另外, 瓦·古巴诺娃<sup>[29]</sup>、罗明<sup>[30]</sup>分别对新疆雪莲和绵头雪莲进行了组织培养研究。3 种雪莲的培养条件总结见表 1。

表 1 3 种雪莲组织培养外植体及培养条件

Table 1 The explant and cultural conditions of the tissue culture in 3 kinds of snow lotuses

种 名	水母雪莲	新疆雪莲	绵头雪莲
外植体	根、茎、叶	小头花序、茎、叶、花托	种子子叶
愈伤组织	MS+2.0 mg·L <sup>-1</sup> NAA+0.2 mg·L <sup>-1</sup> 6-BA, 3W	MS+0.2 ml·L <sup>-1</sup> NAA+2 ml·L <sup>-1</sup> BA, 30~40 d	N <sub>6</sub> +0.02 mg·L <sup>-1</sup> NAA+2 mg·L <sup>-1</sup> BA, 30~40 d 温度: 25~28 °C 光照度 2 400 lx, 光照 12~14 h·d <sup>-1</sup>
不定芽	MS+0.2~1.0 mg·L <sup>-1</sup> NAA+0.5~4.0 mg·L <sup>-1</sup> 6-BA, 先±4 °C处理 10 d 后置于 25 °C光照培养 2 W	MS+0.01~0.05 ml·L <sup>-1</sup> NAA+0.25~0.50 ml·L <sup>-1</sup> BA, 3~4W	N <sub>6</sub> +0.2 mg·L <sup>-1</sup> NAA+1.5 mg·L <sup>-1</sup> BA+500 mg·L <sup>-1</sup> 水解乳蛋白, 25~30 d, 温度: 25~28 °C, 光照度: 2 400 lx, 光照: 12~14 h·d <sup>-1</sup>
不定根	MS+0.5~1.0 mg·L <sup>-1</sup> NAA+0.1 mg·L <sup>-1</sup> 6-BA, -4 °C处理 2 W, 后置于 25 °C光照培养 3 W	1/2MS+0.1~1.0 mg·L <sup>-1</sup> IAA+5 g 活性炭, 10 °C以下低温处理十几天	N <sub>6</sub> +0.5 mg·L <sup>-1</sup> NAA+0.5 mg·L <sup>-1</sup> IAA+60 mg·L <sup>-1</sup> KCl, 20 d 温度: 25~28 °C, 光照度: 2 400 lx, 光照: 12~14 h·d <sup>-1</sup>

在已研究的 3 种雪莲中, 对水母雪莲的研究最为全面。其愈伤组织存在多形态性, 紫红色的愈伤组织为有效诱导组织。经+4 °C范围内的低温处理(10 d)可促使其不定芽生根。低温的刺激是激发不定芽和不定根发生的重要因素<sup>[25]</sup>。碳源以 40 g·L<sup>-1</sup>的蔗糖最合适<sup>[23]</sup>。细胞悬浮培养中, 75 r·min<sup>-1</sup>, 700~1 000 L·min<sup>-1</sup>和 DCW4.0~5.0 g·L<sup>-1</sup>接种量下细胞生长和黄酮合成比较好<sup>[27]</sup>。16 h 蓝光+8 h 白光和 8 h 蓝光+16 h 白光的组合产生最高的黄酮含量和黄酮生产率<sup>[20]</sup>。试验最终获得水母雪莲幼苗的移栽成活率为 76%; 新疆雪莲则以小头花序为外植体的幼苗移栽效果较好, 其成活率为 50%; 绵头雪莲移栽成活率为 30%。

### 5.2 人工种植

自 1994 年起, 谭敦炎等在乌鲁木齐后峡天山 1 号冰川观测站建立了小面积的新疆雪莲人工种植园, 基本掌握了新疆雪莲温室育苗、炼苗、实生苗的定植、管理技术及苗期病虫害的防治技术, 其人工种植的盆栽新疆雪莲由于花大、花期长、花形独特、珍贵稀有, 1999 年在 99' 昆明世界园艺博览会上荣获了“室内观叶植物类”评比的最高奖——“大奖”。2000~2001 年, 谭敦炎、梁凤丽等与新疆协和天然物产有限公司合作, 在设施育苗获得成功的基础上, 在新疆伊犁巩留林场建立了占地近 2 hm<sup>2</sup> 的我国第一个“天山雪莲人工种植示范基地”。同时, 进一步完善了雪莲人工种植的整套技术体系, 包括: ①雪莲种子处理及催芽技术; ②设施育苗中病虫害防除技术; ③设施育苗中温度、湿度及光照调控技术; ④实生苗的高成活率培育技术; ⑤苗期叶面微肥的研制技术; ⑥野外定植前的炼苗技术; ⑦种植基地的设计及移栽技术; ⑧田间水肥管理及病虫害的

防除技术等,使实生苗的培育成活率达到60%以上,野外定植成活率达90%以上。2002年该成果已得到科技部“农业科技成果转化基金”及新疆维吾尔自治区“中小型企业创新基金”的资助,目前正在进一步扩大人工种植规模。

## 6 现存的问题及前景展望

综上所述,雪莲作为一类珍稀药用植物资源已引起了国内学者的高度关注,但在其基础理论研究方面还不系统。

在生物学特性方面:目前的研究主要集中在形态学、分类学以及组织培养等方面,而在其解剖学、生殖生态学等方面仅见对个别种的零星报道;在营养器官的形态发生、胚胎学等方面的研究尚属空白;对其生长发育过程、传粉生物学及其对特殊生态环境的适应研究尚无人问津,这与雪莲类药材的药用价值及知名度很不相称。因此,今后应首先针对这些问题进行系统全面的观察与探讨,以期为该类资源的开发与保护提供必要的理论依据。

在生理及分子生物学方面:雪莲是一类典型的高山植物,其生长的生态环境条件极为严酷,具有温度低、风大、氧气稀薄、紫外辐射强等特点。在此环境中生长的植物具有抗寒、抗缺氧及紫外辐射等特性。如果能从植物生理学及分子生物学角度,弄清该类植物的生态适应性机制,分离出其所特有的生理活性物质,直接应用到雪莲新产品的开发中,对扩大雪莲类资源的应用范围,增加其产品的科技含量,提高人们的生活质量具有重要的意义;同时通过筛选出与上述抗性相关的基因,利用基因工程技术进行分子育种工作,可望培育出农作物新品种,创造出较大的经济价值。

在资源的开发方面:雪莲作为一类珍稀的植物资源,不仅具有特殊的药用价值,而且还是一类稀有的高山花卉,素有“雪荷花”之美称,被喻为“冰山上的来客”。但目前,人们对雪莲资源的开发不仅多限于民间,而且大多处于出售原植物的原始利用阶段。仅有极少数企业从事雪莲药材及产品的深加工与开发,并且资源的利用率及水平均很低,造成了严重浪费,因此,今后对该类资源开发可以集中力量开展雪莲新医药及新剂型的研发工作,生产出具有特殊疗效的雪莲类新药,为人们的健康服务;还可通过雪莲这一高山花卉资源的开发,为美化人们的生活环境服务。

在资源的保护方面:雪莲作为一类宝贵的植物资源,多年来,由于人们的过度采挖,不仅使其资源储量急剧减少(少数种类正处于濒危的状态),而且严重破坏了高山植被及其生态环境。因此,目前对雪莲类资源的保护一方面应加大力度进行就地保护工作,以保护野生雪莲及其脆弱的生态环境,另一方面,应大力开展雪莲人工种植的技术推广工作,在有雪莲分布的山区进行大规模的人工种植,有效地遏制人们对野生雪莲的采挖,增加山区农牧民的经济收入,创造出更大的生态和社会效益。

### 参考文献:

- [1] 谭敦炎,朱建雯,姚芳,等.雪莲的生殖生态学研究(I)[J].新疆农业大学学报,1998,21(1):1~5.
- [2] 陈发菊,杨映根,赵德修,等.我国雪莲植物的种类、生境分布及化学成分的研究进展[J].植物学通报,1999,16(5):561~566.
- [3] 刘发,刘国钧.新疆雪莲[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1982.
- [4] 刘勇民,沙吾提,伊克木.维吾尔药志(上册)[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1985,385~389.
- [5] 吴征镒.西藏植物志(第四卷)[M].北京:科学出版社,1985,865~914.
- [6] 沈观冕.新疆凤毛菊属分类的初步研究.新疆植物学研究文集[C].北京:科学出版社,1991,102~115.
- [7] 安争夕,沈观冕,翟大彤.新疆植物志[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1999,264~265.
- [8] 王为义.唐古特雪莲的形态学观察及一新变种的描述[J].高原生物学集刊,1987,(7):37~41.
- [9] 黄运平,尹祖棠.凤毛菊属(*Saussurea* DC)植物果皮的微形态特征及其分类意义的初步研究[J].植物研究,1994,14(4):395~400.
- [10] 王伏雄,钱南芬,张玉龙,等.中国植物花粉形态(第二版)[M].北京:科学出版社,1995,147~148.
- [11] 谭敦炎,朱建雯,姚芳,等.雪莲的生殖生态学研究(II)[C].中国植物学会六十五周年年会学术报告及论文摘要汇编.

中国林业出版社出版, 1998, 374~375.

- [12] 赵德修, 赵丽丽. 雪莲花的研究进展[J]. 中草药, 1996, 27(6): 372~374.
- [13] 王文芝. 高效液相色谱法测定雪莲细胞培养组织中黄酮含量[J]. 中草药, 1997, 28(11): 654~655.
- [14] 李观海, 刘发, 赵荣春. 雪莲对大鼠实验性关节炎急性炎症的作用[J]. 药学学报, 1980, 15(6): 368~370.
- [15] 刘力生, 肖显华, 张龙弟, 等. 大苞雪莲中两种黄酮对癌细胞DNA合成的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1985, 21(4): 80~83.
- [16] 林秀珍, 王国祥. 雪莲多糖对离体大鼠子宫的作用[J]. 药学学报, 1986, 21(3): 220~222.
- [17] 赵德修. 雪莲花组织培养的初步研究[J]. 中草药, 1997, 28(11): 682~684.
- [18] 赵德修, 汪沂, 赵敬芳. 不同理化因子对雪莲培养细胞中黄酮类形成的影响[J]. 生物工程学报, 1998, 14(3): 259~264.
- [19] 赵德修, 乔传令, 汪沂. 水母雪莲的细胞培养和高产黄酮细胞系的筛选[J]. 植物学报, 1998, 40(6): 515~520.
- [20] 赵德修, 李茂寅, 邢建民, 等. 光质光强和光期对水母雪莲愈伤组织生长和黄酮生物合成的影响[J]. 植物生理学报, 1999, 25(2): 127~132.
- [21] 赵德修, 李茂寅. 培养基及其组成对水母雪莲悬浮培养细胞生长及黄酮形成的影响[J]. 生物工程学报, 2000, 16(1): 99~102.
- [22] 邢建民, 赵德修, 李茂寅, 等. 水母雪莲悬浮培养细胞和黄酮类活性成分合成[J]. 植物学报, 1998, 40(9): 836~841.
- [23] 邢建民, 赵德修, 李茂寅, 等. 碳源和氮源对水母雪莲悬浮培养细胞生长和黄酮合成的影响[J]. 生物工程学报, 1999, 15(2): 230~234.
- [24] 邢建民, 赵德修, 叶和春, 等. 水母雪莲细胞生物反应器悬浮培养[J]. 植物学报, 2000, 42(1): 98~101.
- [25] 陈发菊, 赵德修, 杨映根, 等. 水母雪莲组织的多态性及其再分化条件的研究[J]. 华中师范大学学报, 2000, 34(3): 331~335.
- [26] 杨金玲, 赵德修, 桂耀林, 等. 水母雪莲体细胞发生及其植株再生[J]. 西北植物学报, 2001, 21(2): 252~256.
- [27] 黄艳, 赵德修, 吕东平, 等. 搅拌式生物反应器悬浮培养水母雪莲的研究[J]. 生物工程学报, 2001, 17(5): 561~562.
- [28] 李毅, 王慧春, 张怀刚, 等. 水母雪莲的幼根培养及其植株再生[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(1): 39~40.
- [29] 瓦·古巴诺娃, 刘杰龙, 石玉瑚. 新疆雪莲的组织培养[J]. 新疆农业科学, 1990(5): 221~222.
- [30] 罗明, 瓦·古巴诺娃. 西藏绵头雪莲的组织培养及其植株再生[J]. 植物生理学通讯, 1999, 35(4): 300~301.