

· 综述 ·

花楸属植物的研究进展

刘亚辉^{1,2}, 李佳兴¹, 周良云³, 杨健¹, 王升¹, 郭兰萍^{1*}

(1. 中国中医科学院 中药资源中心 道地药材国家重点实验室培育基地, 北京 100700;

2. 中国中医科学院 博士后科研流动站, 北京 100700;

3. 广东药科大学 中药学院, 广州 510006)

[摘要] 花楸属植物中富含黄酮类、联苯类、萜类及有机酸类成分,具有镇咳平喘、抑菌和抗氧化作用,也是良好的园林应用树种,应用前景十分广阔。为进一步利用开发该属植物,该文总结了近年来花楸属植物在环境胁迫、化学成分分析、药理药效和繁殖栽培等方面的研究成果,获得以下发现:①该属植物分类系统不确定,类群范围界定还需要更多的证据;②对该属植物的研究只集中在水榆花楸、黄山花楸、花楸树、天山花楸和欧洲花楸少数几个种,对其他种研究较少;③现有的研究内容多集中在化学成分分析和繁殖栽培等方面,对该属植物有效成分的形成及作用机制鲜有报道。整体而言,花楸属植物的研究尚处于起步阶段,该文将为促进花楸属植物的种质资源合理利用提供理论依据和研究思路。

[关键词] 花楸属; 化学成分; 药理药效; 繁殖; 栽培; 环境胁迫

[中图分类号] R22;R24;R28;R9;G353.11 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2019)11-0195-11

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20190547

[网络出版地址] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20181115.2209.046.html>

[网络出版时间] 2018-11-19 11:29

Research Advances in *Sorbus* Plants

LIU Ya-hui^{1,2}, LI Jia-xing¹, ZHOU Liang-yun³, YANG Jian¹, WANG Sheng¹, GUO Lan-ping^{1*}

(1. *State Key Laboratory Breeding Base of Dao-di Herbs, National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China;*

2. *Center for Post-doctoral Research, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China;*

3. *School of Traditional Chinese Medicine, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China)*

[Abstract] The chemical constituents of plants from the genus *Sorbus* are mainly flavonoids, biphenyls, terpenoids and organic acids. Pharmacological researches proved that the chemical components isolated from *Sorbus* plants has antitussive, relieving asthma, antibacterial and antioxidant effect. Moreover, the *Sorbus* plants were used as landscape trees. There is a bright developing prospect about *Sorbus* plants. In this review, we give an overview of the significant progress and the latest findings made in *Sorbus* plants, such as the stress response, chemical compositions, pharmacological activities and the propagation technology. The results including as following: ①more evidences are needed for species identification of *Sorbus*, ②the researches about *Sorbus* plants is focused on only a few species (*S. alnifolia*, *S. amabilis*, *S. pohuashanensis*, *S. tianschanica*, *S. aucuparin*), ③the existing researches centre upon chemical composition analysis and propagation and cultivation; the formation and mechanism of active components are rarely reported. Thus, the research of *Sorbus* plants is still

[收稿日期] 20181015(003)

[基金项目] 国家自然科学基金项目(81703655);国家重点研发计划项目(2017YFC1700701);中国博士后科学基金项目(2017M621040);中央本级重大增减支项目(2060302)

[第一作者] 刘亚辉,博士,助理研究员,从事中药资源研究,E-mail:liuyahui2049@163.com

[通信作者] *郭兰萍,博士,研究员,从事中药资源研究,Tel:010-64011944,E-mail:glp01@126.com

in the early period, and this review paper will provide theoretical basis and reference for further research of *Sorbus* plants.

[**Key words**] *Sorbus*; chemical constitute; pharmacodynamics; propagation; cultivation; environmental stress

花楸属是蔷薇科苹果亚科中的一个属,由于该属植物性状变异较大,并且属内多倍化和无融合生殖现象较为常见,研究者对于此类群的界定有着不同认识,存在广泛的争议。例如,《中国植物志》^[1]认为花楸属植物全世界约有 80 余种,分布在北半球(亚洲、欧洲、北美洲);中国产 50 余种。Phipps 等^[2]认为花楸属(广义花楸属)植物包括了 6 个亚属,共 258 种。《中国植物志》(英文版)^[3]则认为花楸属植物全世界有 100 余种,广泛分布在亚洲、欧洲、北美洲;中国产 67 种(43 个特有种)。为了清晰界定该属的范围及其属下类群的系统位置,科研工作者一直在尝试从多方面寻找相关证据,包括形态学^[4]、细胞学^[5-7]、解剖学^[8]和分子生物学^[9-12]等。虽然由此产生了大量新的分类证据,可该属类群的界定至今没有统一。但不论以哪种分类观点来看,花楸属植物都是分布广阔的大属植物,中国的种类占到近 2/3,表明其分布、分化中心在中国^[4,13]。

近十年来,虽然对花楸属植物的研究取得了一些成就,但其中仍存在许多亟待解决的问题:①该属类群系统定位还不清晰。②现有对该属植物的研究只集中在少数几个种,关于其他种的研究相对滞后;有 20 个种除了提到分类地位外,再无其他相关研究报道。③现有研究报道的这几个种,研究内容集中在繁殖栽培技术及园林应用、化学成分和药理药效,很少涉及分子水平的机制研究。④花楸属植物抗逆性强,且具有明显的生物应激特异性,是研究环境逆境影响中药材道地性形成的理想材料,目前,这方面的研究也刚刚起步^[14-15]。基于上述研究现状,本文总结了花楸属植物在生境、环境胁迫、化学成分、药理药效和繁殖栽培等方面的现有研究成果,以期为解决该属植物所存在的上述问题提供参考,同时为该属植物的深入研究和全面开发奠定理论基础,但本文暂不对花楸属类群界定及其属下分类问题进行探讨。

1 环境及环境胁迫

1.1 生境 花楸属植物多为中等喜光树种,分布范围广、适应性强。姚德生等^[16]通过分析甘肃花楸属 13 种植物的产地、生境等资料后发现,甘肃花楸属植物多生于山坡、山谷、山梁、溪边,多见于温带阔叶混交林及针阔混交林中,灌丛中极少见。潘刚等^[17]

对西藏东南林区植物调查发现,西藏具有开发利用价值的花楸属植物有 13 种,这些种类多集中于亚高山暗针叶林内、亚高山针阔混交林和部分采伐迹地上。孙康迪等^[18]对青海省蔷薇科植物野生资源进行调查分析后,报道了青海省 5 种花楸属植物野生资源,大多分布于山坡林下,少灌丛。见表 1。

1.2 环境胁迫 环境胁迫既可以影响植物形态的建成,又能影响其次生代谢产物的积累和释放;同时,植物为了适应所生存的环境,在植株形态、生理生化水平以及基因水平都会对逆境产生应答反应,做出有利于生存繁殖的改变;这样的相互作用,被认为是药材道地性形成的关键^[14,23]。光环境是影响植物生长发育和品质形成的重要生态因子,通过光强、光质和光周期来影响植物的生长发育和生理代谢。张振英等^[24]研究了在 0~94% 不同的遮阴处理下石灰花楸幼苗的变化情况,结果显示 67% 的遮阴能促进生物量的积累;随着遮阴程度的增加,石灰花楸叶片厚度降低、表皮细胞等都发生了变化。说明石灰花楸通过改变形态建成及光合生理来适应光环境的改变。同样是光环境,Taulavuori 等^[10]在比较了欧洲花楸和垂枝桦 *Betula pendula* 后得出,欧洲花楸对光周期并不敏感。

彭松等^[25]对花楸树幼苗进行了高温胁迫实验,结果显示 40 °C 条件下,花楸树幼苗叶中丙二醛(MDA)含量增加,超氧化物歧化酶(SOD)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)含量先增加后减少,叶质膜受到严重破坏。柴军红等^[26]通过对花楸树不同季节枝、叶和果实的检测发现,不同组织中活性成分随着季节的变化,呈现不同程度的变化。7~9 月有利于黄酮类成分的累积,为果实的最佳采摘季。轻度和中度的干旱胁迫下,水榆花楸通过改变叶片形态结构及生物量分配方式、气孔关闭、增加热耗散和提高保护酶活性来抵御伤害^[27]。另有科研团队^[15,28-31]经过系统研究发现,环境胁迫下欧洲花楸的生物量及其次生代谢产物均发生了明显的改变;更重要的是,欧洲花楸可能启动不同的次生代谢产物合成途径以应对不同的环境胁迫。

2 化学成分

2.1 水榆花楸 水榆花楸富含黄酮类化合物。

表 1 部分花楸属植物的生境

Table 1 Habitat of some *Sorbus* plants

| No. | 种名 | 生境 | 参考文献 |
|-----|------------------------------|----------------------|---------|
| 1 | 水榆花楸 <i>Sorbus alnifolia</i> | 山坡、山谷、溪边杂木林及针阔混交林 | [16,19] |
| 2 | 黄山花楸 <i>S. amabilis</i> | 常绿落叶阔叶混交林带、落叶阔叶林带 | [20] |
| 3 | 毛背花楸 <i>S. aronioides</i> | 山坡杂木林 | [16] |
| 4 | 欧洲花楸 <i>S. aucuparia</i> | 山麓、溪谷、河流岸边 | [21] |
| 5 | 白叶花楸 <i>S. cuspidata</i> | 山坡、路旁的采伐迹地、栎林、冷杉林 | [17] |
| 6 | 北京花楸 <i>S. discolor</i> | 山地阔叶混交林、阴坡、半阴坡和溪流边 | [16,22] |
| 7 | 石灰花楸 <i>S. folgneri</i> | 山坡、山谷阔叶林 | [16] |
| 8 | 湖北花楸 <i>S. hupehensis</i> | 山坡、山沟杂木林中及林缘 | [16] |
| 9 | 毛序花楸 <i>S. keissleri</i> | 山坡、山谷以及多石坡地疏密林 | [16] |
| 10 | 陕甘花楸 <i>S. koehneana</i> | 杂木林内、山坡、沟谷杂木林 | [16] |
| 11 | 少齿花楸 <i>S. oligodonta</i> | 山坡杂灌林、针阔混交林、暗针叶林内 | [17] |
| 12 | 花楸树 <i>S. pohuashanensis</i> | 山坡、山谷阔叶林中、阴坡、半阴坡和溪流边 | [16,22] |
| 13 | 西康花楸 <i>S. prattii</i> | 高山杂木林中、山坡灌木林、暗针叶林内 | [16,17] |
| 14 | 蕨叶花楸 <i>S. pteridophylla</i> | 冷杉或落叶松林下、林缘 | [17] |
| 15 | 西南花楸 <i>S. rehderiana</i> | 山坡杂灌林、暗针叶林内 | [17] |
| 16 | 红毛花楸 <i>S. rufopilosa</i> | 山坡杂灌林、针阔混交林、暗针叶林内 | [17] |
| 17 | 太白花楸 <i>S. tapashana</i> | 山梁、山坡云杉、冷杉林中 | [16] |
| 18 | 康藏花楸 <i>S. tibetica</i> | 山坡杂灌林、暗针叶林内 | [17] |
| 19 | 川滇花楸 <i>S. vilmorinii</i> | 山坡杂灌林、针阔混交林、暗针叶林内 | [17] |

李秀信等^[32]采用双水相体系对水榆花楸中黄酮类成分的提取工艺进行优化,结果总黄酮得率 9.06%,较其他传统提取工艺显著提高。

2.2 黄山花楸 黄山花楸富含醛类、有机酸类、烷类等化合物,见表 2。程满环等^[33]采用超临界 CO₂萃取技术提取黄山花楸果实、叶和茎 3 个不同部位挥发油成分,运用 GC-MS 对挥发油成分进行检测和鉴定,共鉴定出挥发性成分 130 余种。果实中含量较高的成分有苯甲醛,1-甲酸二十一烷基酯,二十八烷,1-二十二烯,10-十九碳烯酸甲酯和角鲨烯。叶挥发油中含量较高的成分有苯甲醛、苯甲酸、植醇、角鲨烯和 2,3-二氢苯吡啶、亚麻酸。茎中含量较高的成分有苯甲酸、亚麻酸、苯甲醛、亚油酸、棕榈酸和角鲨烯。

2.3 北京花楸 北京花楸中主要成分为黄酮类、糖类和有机酸类化合物。Mikulic-Petkovsek 等^[34]从包括北京花楸在内的 9 个蔷薇科植物的果实中分离到了羟基肉桂酸类衍生物以及黄烷酮类、黄酮醇类化合物等,见表 2。

2.4 毛序花楸 毛序花楸中以黄酮类、甾醇类化合物为主。李波^[35]从毛序花楸枝干的乙醇提取物中

分离得到了 β-胡萝卜素,(-)-表儿茶素以及(+)-儿茶素等化合物,见表 2。

2.5 陕甘花楸 崔素霞等^[36]系统地检测了陕甘花楸成熟期间山梨酸含量的动态变化,结果表明陕甘花楸果实中山梨酸质量分数随着果实的成熟而逐渐下降,最终稳定在 0.004 mg·g⁻¹(以鲜重计算)。

2.6 花楸树 花楸树中富含黄酮类、联苯类化合物等^[37-39]。YU 等^[37]以花楸树果实作为原料,提取其有效成分,发现了有 12 个黄酮类化合物(芦丁、金丝桃苷、山柰酚-3-O-吡喃鼠李糖苷-7-O-吡喃葡萄糖苷、异鼠李素-3-O-芸香糖、金圣草黄素-7-O-葡萄糖、楮树黄酮醇 B、金圣草素、黄杞苷、牡荆素-2-O-鼠李糖苷、甲基花青素、棕矢车菊素、异鼠李素)。ZHOU 等^[38]用酵母提取物刺激花楸树悬浮细胞后检测其产生的化合物,结果表明在刺激一定时间后,花楸树产生了 4 个联苯类化合物(noraucuparin, noraucuparin 5-O-β-D-glucopyranoside, 2'-hydroxyaucuparin 和 2'-hydroxyaucuparin 2'-O-β-D-glucopyranoside)。另外,还有研究人员从花楸树中鉴定出了坡模酸, pomolic acid-3β-acetate, ursolaldehyde, 野鸦椿酸, 3β-acetoxy-urs-11-en-28, 13-

表 2 花楸属部分植物中化合物的统计(一)

Table 2 Chemical compositions isolated from some *Sorbus* plants

(一)

| 种名 | 提取部位 | 化合物 | 参考文献 |
|---|-------|--|------|
| 黄山花楸 | 果、叶、茎 | 苯甲醛 benzaldehyde | [33] |
| | | 苯甲酸 benzoic acid | |
| | | 植醇 phytol | |
| | | α -亚麻酸 α -linolenic acid | |
| | | 二十八烷 octacosane | |
| | | 1-二十烯 1-eicosene | |
| | | 亚油酸 linoleic acid | |
| | | 棕榈酸 palmitic acid | |
| | | 角鲨烯 squalene | |
| | | 北京花楸 | |
| 羟基肉桂酸衍生物 hydroxycinnamic acid derivatives | | | |
| 黄酮醇类 flavanols | | | |
| 黄酮醇类 flavonols | | | |
| 二氢黄酮类 flavanones | | | |
| 二氢查尔酮类 dihydrochalcones | | | |
| 有机酸类 organic acids | | | |
| 毛序花楸 | 枝干 | 24-ethylcholest-5-ene-3,22-diol | [35] |
| | | stigmast-5-ene-3,7-diol | |
| | | β -胡萝卜苷 β -daucosterol | |
| | | (-)-表儿茶素(-)-epicatechin | |
| | | (+)-儿茶素(+)-catechins | |
| | | 丁香醛 syringaldehyde | |
| | | glycerintetracosanate | |
| | | 1,3,5-三甲氧基苯 1,3,5-trimethoxybenzene | |
| 陕甘花楸 | 果实 | 山梨酸 sorbic acid | [36] |

olide, 3 β -acetoxy-urs-12-ene-28-oic acid, 白桦脂酸。

2.7 天山花楸 天山花楸中富含黄酮类、萜类化合物等^[40-42], 见表 3。郁长治等^[40]采用 HPLC-MS 分析了天山花楸植株中的化学成分, 通过对对照品比对, 共鉴定到了 7 个黄酮类化合物。王幻等^[41]采用 HPLC 梯度洗脱法同时检测了天山花楸叶提取物中 6 种黄酮类成分的含量 [芦丁 (0.83 ~ 0.93 mg·g⁻¹), 金丝桃苷 (1.59 ~ 1.94 mg·g⁻¹), 异槲皮苷 (3.26 ~ 3.90 mg·g⁻¹), 槲皮素-3-O-(6"-O-丙二酰基)- β -D-葡萄糖苷 (3.39 ~ 3.98 mg·g⁻¹), 紫云英苷 (1.87 ~ 2.35 mg·g⁻¹), 山柰素-3-O-(6"-O-

丙二酰基)- β -D-葡萄糖苷 (2.58 ~ 3.37 mg·g⁻¹)]。

表 3 天山花楸植物中化合物的统计

Table 3 Chemical compositions isolated from *S. tianschanica*

| 提取部位 | 化合物 | 参考文献 |
|------|--|----------|
| 植株 | 3-咖啡酰基奎宁酸 3-caffeoylquinic acid | [40, 42] |
| | 槲皮素-3-O-己糖苷 quercetin-3-O-hexoside | |
| | 槲皮素-3-O-己糖苷丙二酸 quercetin glycoside 3-O-hexose malonic acid | |
| | kaempferol glycosides 3-O-hexose malonic acid | |
| | 叶 | |
| 叶 | 金丝桃苷 hyperoside | [41] |
| | 橙皮苷 hesperidin | |
| | 异槲皮苷 isoquercitrin | |
| | 槲皮素-3-O-(6"-O-丙二酰基)- β -D-葡萄糖苷 quercetin-3-O-(6"-O-malonyl)- β -D-glucoside | |
| | 山柰酚-3-O- β -D-吡喃葡萄糖苷 kaempferol-3-O- β -D-glucopyranoside | |
| | 山柰素-3-O-(6"-O-丙二酰基)- β -D-葡萄糖苷 kaempferol-3-O-(6"-O-malonyl)- β -D-glucopyranoside | |
| | | |

2.8 欧洲花楸 欧洲花楸中以黄酮类、萜类和联苯类化合物为主^[43-54], 见表 4。欧洲花楸原产于欧洲和亚洲西部, 属于引进种。Olszewska^[43]利用 HPLC-DAD 对 3 种植物 (欧洲花楸, *S. intermedia* 和 *S. aria*) 进行了检测, 确定了槲皮素、山柰酚、异鼠李素和 sexangularetin 在植物叶、花和果实中的含量。Mikulic-Petkovsek 等^[46]对包括欧洲花楸在内的 25 种浆果的化学成分进行分析, 结果发现在欧洲花楸果实中, 总糖质量分数 (1 185 ± 91.3) g·kg⁻¹, 总酚质量分数 (5 407 ± 346) mg·GAE kg⁻¹ [以 1 kg 鲜果中没食子酸毫克当量 (gallic acid equivalents, GAE) 表示总多酚含量], 总有机酸含量达到了 (235 ± 7.2) mmol·kg⁻¹, 其中总有机酸含量是所有 25 种测试样品中最高的。

和花楸树类似, 黄蕾等^[29]以欧洲花楸悬浮细胞为实验材料, 检测酵母提取物处理后的代谢产物, 结果表明胁迫产物中以联苯类化合物为主, 其中 2'-hydroxyaucuparin, 3, 5-dihydroxybiphenyl, noraucuparin, aucuparin 和 eriobofuran 的含量随诱导时间的延长呈现不同的积累规律。其他联苯类化合物还有 isoaucuparin, 2'-methoxyaucuparin, 4'-methoxyaucuparin 和 isoaucuparin (2'-hydroxy-3, 5-dimethoxybiphenyl)^[47-50]。从欧洲花楸中还能检测

表 4 欧洲花楸中化合物的统计

Table 4 Chemical compositions isolated from *S. aucuparia*

| 提取部位 | 化合物 | 参考文献 |
|---|--|----------------|
| 植株 | 芦丁 rutin | [44] |
| | 矢车菊素-3-0-葡萄糖苷 cyanidin-3-0-glucoside | |
| | 金丝桃苷 hyperoside | |
| | 槲皮素 3-0-洋槐糖苷 quercetin 3-0-robinobioside | |
| | 槲皮素 3-0-龙胆二糖苷 quercetin-3-0-gentiobioside | |
| | 表儿茶素没食子酸酯 epicatechin gallate | |
| | 表没食子儿茶素 epigallocatechin | |
| | 异槲皮苷 isoquercitrin | |
| | 3,4',5,7-四羟基-8-甲氧基黄酮 sexangularetin | |
| | 叶、果实 | 山柰酚 kaempferol |
| 熊果酸 ursolic acid | | |
| 2 α -羟基熊果酸 2 α -hydroxyursolic acid | | |
| 花青素 anthocyanidins | | [52] |
| parasorbic acid | | [44] |
| parasorbicacid glucoside | | [53] |
| 没食子酸 gallic acid | | |
| 原儿茶酸 protocatechinic acid | | |
| 亚油酸 linoleic acid | | |
| β -胡萝卜素 β -carotene | | |
| 隐黄质 cryptoxanthin | | |
| prolycopene | | |
| 八氢番茄红素 phytofluene | | [44] |
| 咖啡酸 caffeic acid | | |
| 茎皮 | 对香豆酸 <i>p</i> -coumaric acid | [54] |
| | 羽扇烯酮 lupenone | |
| | 羽扇豆醇 lupeol | |
| | 3 β -acetoxyl ursolic acid | |
| 种子 | α -香树素 α -amyrin | |
| | 齐墩果酸 oleanic acid | [44] |
| | 谷甾醇 sitosterol | |
| | 豆甾醇 stigmasterol | |
| 真菌侵染的组织 | 菜油甾醇 campesterol | |
| | 欧花楸素 aucuparin | [44] |
| 木材 | 胆甾醇 cholesterol | |
| | 4'-甲氧基欧花楸素 4'-methoxyaucuparin | |
| | 2'-羟基欧花楸素 2'-hydroxyaucuparin | |
| | 2'-羟基-3,5-二甲氧基联苯 2'-hydroxy-3,5-dimethoxybipheyl | [44] |
| | 2'-甲氧基欧花楸素 2'-methoxyaucuparin | |
| | 西托糖苷 lyoniside | |

到类胡萝卜素类化合物^[51]。

2.9 其他花楸种植物 Choi 等^[55]在 *S. commixta* 中除了发现木耳醇, 桦木素, 白桦酸, 熊果酸, β -pyrufuran 和 β -谷甾醇 6 个已知化合物外, 还报道了一个新化合物 (1, 2, 4-trimethoxydibenzofuran-3, 9-diol)。Kim 等^[56]则在 *S. commixta* 的茎中发现 2 个新酚苷类成分——sorcomisides A 和 sorcomisides B。其他一些花楸属植物中所含化合物见表 5。

3 药理药效

3.1 镇咳平喘 王丹等^[65]将干燥的天山花楸按中药 5 类新药要求制得天山花楸平喘胶囊, 并研究其药效。结果表明该制剂能明显延长小鼠咳嗽潜伏期, 减少咳嗽次数; 能促进小鼠气管酚红排泄; 对磷酸组胺引起的大鼠哮喘具有保护作用, 使大鼠哮喘潜伏期明显延长; 并可极显著地抑制小鼠足跖肿胀度。同时, 天山花楸平喘胶囊能显著提高小鼠的碳廓清指数以及血清溶血素水平。由此可见, 天山花楸平喘胶囊具有良好的镇咳、祛痰、抗炎、平喘及免疫调节作用。相关研究小组还同时发现, 天山花楸枝叶提取物的上述功效作用明显优于其果实提取物^[66]。苦杏仁苷水解生成苯甲醛, 广泛存在于蔷薇科植物种子中, 具有多种药理作用, 其较强的祛痰能力得到了国内外的广泛关注^[67]。黄山花楸果实和叶子中挥发油中所占比重最大的成分为苯甲醛, 可以推断黄山花楸果实和叶同样具有祛痰止咳、润肺平喘的功效。

3.2 抑菌作用 李乐等^[68]提取了天山花楸叶中的多糖, 并验证了其对抗枯草杆菌具有明显的抑菌作用。欧洲花楸中提取到的联苯类化合物可以作为植物植保素抑制病原微生物的生长代谢, 例如苹果亚科植物中发生的火疫病, 由火疫病欧文氏菌引起, 欧洲花楸中产生的 aucuparin 和二苯并呋喃可以抑制火疫病欧文氏菌的增殖^[50]。Khalil 等^[69]证实, 欧洲花楸中的 3,5-dihydroxybiphenyl 对防治苹果黑星病具有一定的效果。

3.3 抗氧化作用 花楸属植物提取物的抗氧化作用主要表现在清除自由基、抗脂质过氧化及清除超氧阴离子等方面^[70]。胡丰林^[71]对安徽省一些用材树种鲜叶提取物清除 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 自由基的活性测定结果显示, 黄山花楸叶提取物在相当原鲜叶质量浓度为 0.5 g·L⁻¹ 于 37 °C 孵育 20 min 后, 对 0.5 mmol L⁻¹ DPPH 自由基的清除率达 61.3%, 呈现出了较高的抗氧化能力。李波^[35]从毛序花楸中分离得到的 (-)-表儿茶素和

表 5 花楸属部分植物中化合物的统计(二)

Table 5 Chemical compositions isolated from some *Sorbus* plants (二)

| 种名 | 提取部位 | 化合物 | 参考文献 | | |
|---------------------------|--------|---|------|--|------|
| <i>Sorbus commixta</i> | 果实 | sorcomiside A | [56] | | |
| | | sorcomiside B | | | |
| | | (+)-南独木树脂粉(+)-lyoniresinol | | | |
| | | 西托糖苷 lyoniside | | | |
| | | tiliamuroside A | | | |
| | | nudiposide | | | |
| | | ssioriside | | | |
| | | prupaside | | | |
| | | (7 <i>S</i> ,8 <i>R</i>)-dihydrodehydrodiconiferyl alcohol 9- <i>O</i> - α - <i>L</i> -rhamnoside | | | |
| | | methyl-syringate α - <i>L</i> -rhamnoside | | | |
| | | 2,3-dihydroxy-1-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)-1-propanone | | | |
| | | cecropiacic acid | | | |
| | | 叶 | | 羽扇豆醇 lupeol | [57] |
| | | | | β -sitosteryl-3- <i>O</i> - β -glucopyranoside | [58] |
| 羽扇烯酮 lupenone | [59] | | | | |
| 樱花素 sakuranetin | [60] | | | | |
| <i>S. torminalis</i> | 花、茎、果实 | 花色苷 anthocyanins | [34] | | |
| | | 绿原酸(5- <i>O</i> -咖啡酰基奎宁酸) chlorogenic acid(5- <i>O</i> -caffeoylquinic acid) | | | |
| | | 原花青素 procyanidins | | | |
| <i>S. domestica</i> | 果实 | 肉桂酸 cinamic acid | [61] | | |
| | | 槲皮素 quercetin | [62] | | |
| | | 白桦脂醇 betulin | | | |
| | | 23-hydroxybetulin | | | |
| <i>S. decora</i> | 树皮 | 23,28-dihydroxylupan-20(29)-ene-3 β -caffeate | [63] | | |
| | | α -香树素 α -amyrin | | | |
| | | 乌发酵 uvaol | | | |
| | | 3 β ,23,28-trihydroxy-12-ursene | | | |
| | | 23,28-dihydroxyursan-12-ene-3 β -caffeate | | | |
| | | 白桦脂醇 betulin | | | |
| | | 白桦脂酸 betulinic acid | | | |
| | | 23-羟基白桦酸 23-hydroxybetulin | | | |
| <i>S. americana</i> | 树皮 | 23,28-dihydroxylupan-20(29)-ene-3 β -caffeate | [63] | | |
| | | 白桦脂酸 betulinic acid | | | |
| | | α -香树素 α -amyrin | | | |
| | | 乌发酵 uvaol | | | |
| | | 3 β ,23,28-trihydroxy-12-ursene | | | |
| | | 23,28-dihydroxyursan-12-ene-3 β -caffeate | | | |
| <i>Sorbus cashmiriana</i> | 植株 | sorbicins A | [64] | | |
| | | sorbicins B | | | |

(+) -儿茶素具有较强的抗氧化能力,在低质量浓度($300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)下测得样品对 DPPH 的清除率可达 80% 以上,其抗氧化能力强于二丁基羟基甲苯(BHT)。欧洲花楸的提取物实验也发现了上述现象,表现出了很强的抗氧化能力^[72]。YU 等^[37]从花楸树果实中提取所得黄酮类化合物具有很好的抗氧化活性,能够预防体内心肌和体外细胞受到三氧化二砷(ATO)诱导的凋亡和损伤。

4 繁育技术及园林应用

4.1 花楸属植物现存生长问题 花楸属植物主要应用在野外观赏、民间用药、纤维造纸等方面,但物种资源结构性分析结果显示,花楸属植物存在种群密度减少等问题。如邱靖等^[73]对水榆花楸的结构分析显示,水榆花楸灌木层中间竞争较激烈,推断如果没有良好的幼苗补充和栽培,种群群落将会大幅度衰减。吕寻等^[74]对小陇山锐齿栎原始群落林空间结构特征分析显示,水榆花楸在小树阶段、中径木阶段和大树阶段都不具有竞争优势。又如北京花楸实生育苗的后代变异较大、扦插无性繁殖时生根率低、存在种子发芽率低等问题^[75-76]。因种子存在休眠现象和对环境适应能力较差等因素^[77],导致黄山花楸种群遗传多样性较低,早在 1980 年代就被我国列为三级珍惜濒危保护植物,为珍贵的高山树种之一^[78-79]。

4.2 繁殖技术开发及应用 花楸属植物多为乔木、稀灌木,利用传统的繁殖方法丰富种群多样性、进行优势种选育及驯化,存在周期长和效率低等问题,极大地限制了其规模化、产业化发展。目前,涉及繁殖技术开发及应用的花楸属植物有水榆花楸、黄山花楸、北京花楸、花楸树、天山花楸、华西花楸和欧洲花楸。传统的繁殖方法主要包括种子繁育^[80-81]和扦插育苗^[82-86]。一直以来对于花楸属植物的繁殖技术不断改进,多个研究小组利用外源一氧化氮(NO)供体(SNP),通过培养皿法发芽试验促进花楸属植物成熟合子胚胎萌发率^[87-88]。魏文财^[83]用 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ GGR6 号生长调节剂浸泡天山花楸枝条 6 h 后生根效果最好,并已在批量育苗繁殖上得到推广。余萍等^[86]利用 200 mg L^{-1} 赤霉素(GA_3)浸种 6 h 和沙藏 5 h 等技术,使欧洲花楸种子发芽率得到明显提高。

随着现代生物技术的快速发展,许多学者针对上述问题进行了大量的探索研究^[89]。植物组织培养快繁技术得到广泛应用,如王亮^[90]报道了水榆花楸一年生苗的生长过程,为培育优质壮苗提供了依据。杨玲等^[91]和王爱芝等^[92]突破了花楸树种子催

芽和圃地播种出苗等技术瓶颈,建立了以幼胚下胚轴为外植体和试管内外生根相结合的组织培养微繁育苗木技术体系。朱虹^[93]以 1 年生欧洲花楸带侧芽茎段为材料进行诱导启动、分化增殖、生根、炼苗和移栽研究,筛选出了各阶段最适培养基,建立了欧洲花楸的无菌快繁体系,为该种植物种质资源保护及快速繁殖开辟了有效途径。西伯利亚花楸 *S. sibirica* 原产于俄罗斯,为喜光和半耐阴树种,耐寒和耐旱,张军等^[94]从俄罗斯引进了该种植物种子,在黑河地区进行驯化并获得成功。

5 其他研究

纳米金属材料作为一种迅速发展的新型材料,应用前景极为广阔。采用天然植物制备纳米金属颗粒是生态友好发展的极佳途径。Dubey 等^[95]利用欧洲花楸叶提取物的盐溶液,制得粒径为 16 nm 的纳米银颗粒和粒径为 18 nm 的纳米金颗粒。彭海英^[5]对水榆花楸,江南花楸(*S. hemsleyi*),褐毛花楸(*S. ochracea*),黄脉花楸(*S. xanthoneura*),梯叶花楸(*S. scalaris*),多对花楸(*S. multijuga*),小叶花楸(*S. microphylla*),黄山花楸的染色体核型进行了分析报道,为更好地揭示花楸属植物的进化与亲缘关系提供了基础参考。

截至目前,通过检索 Web of Science 和 CNKI 数据库,除了涉及该种植物的分类地位以外,未见其他相关研究报道的花楸属植物有锐齿花楸(*S. arguta*),多变花楸(*S. astateria*),美脉花楸(*S. caloneura*),冠萼花楸(*S. coronata*),疣果花楸(*S. corymbifera*),棕脉花楸(*S. dunnii*),附生花楸(*S. epidendron*),麻叶花楸(*S. esserteauiana*),球穗花楸(*S. glomerulata*),灌县花楸(*S. guanxianensis*),钝齿花楸(*S. helenae*),卷边花楸(*S. insignis*),球江花楸(*S. kiukiangensis*),兰坪花楸(*S. lanpingensis*),大花花楸(*S. macrantha*),墨脱花楸(*S. medogensis*),侏儒花楸(*S. poteriifolia*),菱叶花楸(*S. rhombifolia*),尾叶花楸(*S. subochracea*),神农架花楸(*S. yuana*)。

6 总结和展望

综上所述,可以发现:①近十年来,花楸属植物的研究集中在水榆花楸、黄山花楸、花楸树、天山花楸和欧洲花楸等少数几个种;有 20 个种,除了分类地位有记载外,再无其他相关研究报道;剩余其他种的研究,只涉及单一领域。②花楸属植物富含黄酮类、联苯类、有机酸类、萜类、甾醇类、酚类和可溶性糖等成分,见表 6,具有抗氧化、抑菌和止咳平喘等

药理作用。③花楸属植物中有效成分的形成机制及其与环境胁迫之间的关系并不清楚;有效成分的作用机制也未阐明。另外,花楸属植物的基础生物学研究也滞后。花楸属植物发育、激素功能、光合、固氮和抗病抗虫等方面的研究对于生态环境改善非常

重要。虽然花楸属植物的物质基础(化学成分)正逐渐被解析,但对其遗传基础(基因组、转录组、蛋白质组)的研究,除了少数几个核或者叶绿体的基因片段外,几乎还是空白。因此,对花楸属植物的研究还有极大的探索空间。

表 6 花楸属植物中主要化合物的种类及名称

Table 6 List of classification and names of main chemical compounds from *Sorbus* plants

| 种类 | 化合物 |
|------|---|
| 黄酮类 | rutin, hyperoside, anthocyanidins, anthocyanins, quercetin, 山柰酚 kaempferol, isorhamnetin, sexangularetin, 查耳酮苷 chalcone glycoside, 野黑樱苷 prunasin, 山柰酚-3-O-槐糖 kaempferol-3-O-sophoroside, 木樨草素-7-O-葡萄糖苷 luteolin-7-O-glucoside, 白色花苷 leucoanthocyanins, 矢车菊素-3-半乳糖苷 cyanidin-3-galactoside, 槲皮素-3-O-葡萄糖苷 quercetin-3-O-glucoside, 槲皮素-3-O-半乳糖苷 quercetin-3-O-galactoside, 儿茶素-7-O-β-D-木吡喃糖苷 catechin-7-O-β-D-xylopyranoside, 儿茶素-7-O-β-D-芹糖苷 catechin-7-O-β-D-apiofuranoside, 圣草酚-7-O-β-D-葡萄糖苷 eriodictyol-7-O-β-D-glucuronide, 槲皮素-3-D-半乳糖苷 quercetin-3-D-galactoside, (-)-epicatechin, (+)-catechins |
| 联苯类 | aucuparin, noraucuparin, noraucuparin-5-O-β-D-glucopyranoside, 2'-hydroxyaucuparin, 2'-hydroxyaucuparin 2'-O-β-D-glucopyranoside, 2'-hydroxyaucuparin, 3, 5-dihydroxy-biphenyl, eriobofuran, 2'-methoxyaucuparin, 4'-methoxyaucuparin, 2'-hydroxy-3, 5-dimethoxybiphenyl, dibenzofurans |
| 有机酸类 | caffeic acid, gallic acid, 苹果酸 malic acid, 柠檬酸 citric acid, 绿原酸 chlorogenic acid, 新绿原酸 neochlorogenic acid, 肉豆蔻酸 myristic acid, 棕榈酸 palmitic acid, 硬脂酸 stearic acid, 右旋奎宁酸 quinic acid, 丁二酸 butanedioic acid, 龙胆酸 gentisuric acid, 酒石酸 tartaric acid, 油酸 oleic acid, 委陵菜酸 tormentic acid |
| 萜类 | α-amyrin, lupeol, squalene, ursolic acid, 齐墩果酸 oleanolic acid, 木栓酮 friedelane, 2α-羟基熊果酸 2α-hydroxyursolic acid, 19α-羟基熊果酸 19α-hydroxyursolic acid, 3β-乙酰熊果酸 3β-acetoxyursolic acid, lupenone, betulin, sorbicins A, sorbicins B, pomolic acid-3β-acetate |
| 其他 | β-谷甾醇 β-sitosterol, stigmasterol, campesterol, 胆固醇 cholesterol, 苦杏仁苷 amygdalin, parasorbic acid, parasorbic acid glucoside, α-/β-carotenes, neo-β-carotene, cryptoxanthin, prolycopene, phytofluene |

[参考文献]

[1] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志. 第 36 卷[M]. 北京:科学出版社,1974;283-343.

[2] Phipps J B, Robertson K R, Smith P G, et al. A checklist of the subfamily Maloideae (Rosaceae) [J]. Can J Bot, 1990, 68 (10): 2209-2269.

[3] WU Z Y, Raven P H, HONG D Y. *Flora of China*. Vol 9 [M]. Beijing: Science Press, 2003: 144-170.

[4] 郑冬梅, 张明理. 运用形态特征和分支、表征方法探讨广义花楸属属下分类关系[J]. 园艺学报, 2007, 34 (3): 723-728.

[5] 彭海英. 花楸属部分植物形态与核型研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2016.

[6] 陈丹. 7 种花楸属植物核型和种子形态学研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2014.

[7] 王雪, 于睿, 常军民, 等. 天山花楸生药的数码显微鉴别[J]. 新疆医科大学学报, 2016, 39(2): 187-188.

[8] 杜婉, 王丰, 潘彪, 等. 花楸属 3 种 1 变种植物茎次生构造的比较[J]. 安徽农业大学学报, 2017, 44(5): 857-861.

[9] Gil H Y, Kim S C. The plastome sequence of Ulleung Rowan, *Sorbus ulleungensis* (Rosaceae), a new endemic species on Ulleung island, Korea [J]. Mitochondrial DNA Part B-Resour, 2018, 3(1): 284-285.

[10] Taulavuori K, Taulavuori E, Saravesi K, et al. Competitive success of southern populations of *Betula pendula* and *Sorbus aucuparia* under simulated southern climate experiment in the subarctic [J]. Ecol Evol, 2017, 7(12): 4507-4517.

[11] 王国勋, 张明理. 应用核 DNA ITS 序列探讨广义花楸属(*Sorbus* L.) 下系统关系[J]. 园艺学报, 2011, 38 (12): 2387-2394.

[12] SUN J H, SHI S, LI J L, et al. Phylogeny of Maleae (Rosaceae) based on multiple chloroplast regions: implications to genera circumscription [J]. Biomed Res Int, 2018, doi:10.1155/2018/7627191.

[13] 吴征镒, 周浙昆, 李德铎, 等. 世界种子植物科的分布区类型系统 [J]. 云南植物研究, 2003, 25 (3): 245-257.

[14] 黄璐琦, 郭兰萍. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32 (4): 277-280.

[15] 黄蕾, 肖文娟, 王升, 等. 欧洲花楸及其悬浮细胞在植物抗逆性研究中的应用 [J]. 中国现代中药, 2016, 18 (10): 1359-1364.

[16] 姚德生, 姚庆. 甘肃花楸属树种资源及其园林应用分

- 析[J]. 林业科技通讯, 2015(10): 60-63.
- [17] 潘刚, 罗大庆, 边巴多吉. 西藏的花楸属植物资源及开发前景[J]. 林业实用技术, 2007(9): 31-32.
- [18] 孙康迪, 孙海群. 青海省蔷薇科野生植物资源及园林应用评价[J]. 北方园艺, 2015, 39(18): 92-95.
- [19] 郭凌, 姚成亮, 曹若凡, 等. 白云山次生落叶阔叶林群落种类组成及其径级结构与空间分布格局[J]. 河南农业大学学报, 2017, 51(5): 647-652.
- [20] 姚剑飞, 方乐金, 吴俊, 等. 黄山高海拔景区植被残缺地段人工种子雨修复技术研究[J]. 安徽林业科技, 2013, 39(3): 17-19.
- [21] 赵阳. 欧洲花楸的繁育技术[J]. 林业勘查设计, 2016(3): 64-65.
- [22] 汤薇, 于雪丹, 张川红, 等. 粉色果实花楸母本起源的分子证据[J]. 林业科学研究, 2016, 29(6): 834-838.
- [23] 黄璐琦, 张瑞贤. “道地药材”的生物学探讨[J]. 中国药学杂志, 1997, 32(9): 563-566.
- [24] 张振英, 段朋娜, 陈昕. 遮阴对石灰花楸幼苗生长和光合特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 49(6): 138-143.
- [25] 彭松, 郑勇奇, 马森, 等. 高温胁迫下花楸树幼苗的生理响应[J]. 林业科学研究, 2011, 24(5): 602-608.
- [26] 柴军红, 宛春雷, 郝经纬, 等. 百花花楸活性成分季节变化研究[J]. 中国林副特产, 2015(2): 4-7.
- [27] 卞付萍, 陈丹. 水分胁迫处理对水榆花楸生理特性的影响[J]. 中国园艺文摘, 2014(5): 32-34.
- [28] 贾宏丽, 周良云, 王升, 等. 茉莉酸通路参与 HpaI 诱导的欧洲花楸细胞植保素生物合成[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(14): 2928-2934.
- [29] 黄蕾, 肖文娟, 杨光, 等. 酵母提取物诱导欧洲花楸悬浮细胞合成次生代谢产物的机制探究[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(11): 2019-2023.
- [30] 莫歌, 黄蕾, 康利平, 等. 不同类型诱导子对欧洲花楸悬浮细胞次生代谢的影响[J]. 中药材, 2014, 37(6): 927-931.
- [31] 肖文娟, 杨光, 郭兰萍, 等. 欧洲花楸细胞悬浮培养生长动力学研究[J]. 中国现代中药, 2013, 15(7): 569-573.
- [32] 李秀信, 文沛瑶, 吉文丽, 等. 超声波协同双水相体系提取水榆花楸叶总黄酮工艺[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(5): 252-256.
- [33] 程满环, 毕淑峰, 兰艳素. GC-MS 分析黄山花楸不同部位的挥发油[J]. 华西药学杂志, 2015, 30(6): 703-706.
- [34] Mikulic-Petkovsek M, Krska B, Kiproviski B, et al. Bioactive components and antioxidant capacity of fruits from nine *Sorbus* genotypes[J]. J Food Sci, 2017, 82(3): 647-658.
- [35] 李波. 毛序花楸化学成分的提取分离及其生物活性研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2011.
- [36] 崔素霞, 张慧, 张微. 几种植物果实中山梨酸的提取及含量研究[J]. 甘肃科学学报, 1997, 9(3): 41-43.
- [37] YU X, WANG Z Y, SHU Z P, et al. Effect and mechanism of *Sorbus pohuashanensis* (Hante) Hedl. flavonoids protect against arsenic trioxide-induced cardiotoxicity[J]. Biomed Pharmacother, 2017, 88: 1-10.
- [38] ZHOU L Y, YANG J, YANG G, et al. Biphenyl phytoalexin in *Sorbus pohuashanensis* suspension cell induced by yeast extract[J]. Molecules, 2016, 21(9): 1180-1192.
- [39] LI D X, LI W, Higai K, et al. Protein tyrosine phosphatase 1B inhibitory activities of ursane-and lupane-type triterpenes from *Sorbus pohuashanensis*[J]. J Nat Med, 2014, 68(2): 427-431.
- [40] 郁长治, 郭小娜. 天山花楸化学成分的液质联用分析[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(5): 111-113.
- [41] 王幻, 唐辉, 王国军, 等. HPLC 测定天山花楸叶提取物中 6 种黄酮成分[J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(15): 58-61.
- [42] 冯荣, 司晓萍, 唐辉, 等. 外标法与相对校正因子法测定天山花楸黄酮含量的比较[J]. 医药导报, 2017, 36(7): 790-793.
- [43] Olszewska M. Separation of quercetin, sexangularetin, kaempferol and isorhamnetin for simultaneous HPLC determination of flavonoid aglycones in inflorescences, leaves and fruits of three *Sorbus* species[J]. J Pharm Biomed Anal, 2008, 48(3): 629-635.
- [44] 魏杰, 石佳, 侯潇, 等. 欧洲花楸的化学成分及药理作用研究进展[J]. 辽宁大学学报: 自然科学版, 2014, 41(4): 362-368.
- [45] Gil-Izquierdo A, Mellenthin A. Identification and quantitation of flavonols in rowanberry (*Sorbus aucuparia* L.) juice[J]. Eur Food Res Technol, 2001, 213(1): 12-17.
- [46] Mikulic-Petkovsek M, Schmitzer V, Slatnar A, et al. Composition of sugars, organic acids, and total phenolics in 25 wild or cultivated berry species[J]. J Food Sci, 2012, 77(10): C1064-C1070.
- [47] Kokubun T, Harborne J B, Eagles J, et al. Antifungal biphenyl compounds are the phytoalexins of the sapwood of *Sorbus aucuparia*[J]. Phytochemistry, 1995, 40(1): 57-59.
- [48] LIU B Y, Beuerle T, Klundt T, et al. Biphenyl synthase from yeast-extract-treated cell cultures of *Sorbus aucuparia*[J]. Planta, 2004, 218(3): 492-496.

- [49] Huttner C, Beuerle T, Scharnhop H, et al. Differential effect of elicitors on biphenyl and dibenzofuran formation in *Sorbus aucuparia* cell cultures [J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(22):11977-11984.
- [50] Chizzali C, Beerhues L. Phytoalexins of the pyrinae: biphenyls and dibenzofurans [J]. Beilstein J Org Chem, 2012, 8:613-620.
- [51] Deren'ko S A. Carotenoids of the fruit of *Sorbus aucuparia* [J]. Chem Nat Comp, 1978, 14(4):454-455.
- [52] Razina T G, Zueva E P, Ulrich A V, et al. Antitumor effects of *Sorbus aucuparia* L. extract highly saturated with anthocyanins and their mechanisms [J]. Bull Exp Biol Med, 2016, 162(1):93-97.
- [53] Raudone L, Raudonis R, Gaivelyte K, et al. Phytochemical and antioxidant profiles of leaves from different *Sorbus* L. species [J]. Nat Prod Res, 2015, 29(3):281-285.
- [54] Khalil M N, Brandt W, Beuerle T, et al. O-Methyltransferases involved in biphenyl and dibenzofuran biosynthesis [J]. Plant J, 2015, 83(2):263-276.
- [55] Choi S Y, Jeong B, Jang H S, et al. A new dibenzofuran from the barks of *Sorbus commixta* [J]. Rec Nat Prod, 2018, 12(2):179-183.
- [56] Kim C S, Oh J, Subedi L, et al. Two new phenolic glycosides from *Sorbus commixta* [J]. Chem Pharm Bull, 2018, 66(8):839-842.
- [57] Im N K, Lee D S, Lee S R, et al. Lupeol isolated from *Sorbus commixta* suppresses $1\alpha, 25\text{-(OH)}_2\text{D}_3$ -mediated osteoclast differentiation and bone loss *in vitro* and *in vivo* [J]. J Nat Prod, 2016, 79(2):412-420.
- [58] YANG G, AN H J. β -Sitosteryl-3-O- β -glucopyranoside isolated from the bark of *Sorbus commixta* ameliorates pro-inflammatory mediators in RAW 264.7 macrophages [J]. Immunopharmacol Immunotoxicol, 2014, 36(1):70-77.
- [59] Na M, Kim B Y, Osada H, et al. Inhibition of protein tyrosine phosphatase 1B by lupeol and lupenone isolated from *Sorbus commixta* [J]. J Enzyme Inhib Med Chem, 2009, 24(4):1056-1059.
- [60] Choi H J. *In vitro* antiviral activity of sakuranetin against human rhinovirus 3 [J]. Osong Public Health Res Perspect, 2017, 8(6):415-420.
- [61] Forino M, Tenore G C, Tartaglione L, et al. (1S,3R,4S,5R) 5-O-Caffeoylquinic acid: isolation, stereo-structure characterization and biological activity [J]. Food Chem, 2015, 178:306-310.
- [62] Ölschläger C, Milde J, Schempp H, et al. Polyphenols and antioxidant capacity of *Sorbus domestica* L. fruits [J]. J Appl Bot Food Qual, 2004, 78(2):112-116.
- [63] Saleem A, LIU R, Guerrero-Analco J A, et al. An HPLC-ELSD method for the determination of triterpenes in *Sorbus decora* and *Sorbus americana* bark used by the Eeyou Istchee Cree First Nation [J]. Planta Med, 2016, 82(14):1302-1307.
- [64] Kazmi M H, Fatima I, Malik A, et al. Sorbicins A and B, new urease and serine protease inhibitory triterpenes from *Sorbus cashmiriana* [J]. J Asian Nat Prod Res, 2011, 13(12):1081-1086.
- [65] 王丹, 向阳, 常军民. 天山花楸平喘胶囊镇咳、祛痰、平喘、抗炎及免疫作用研究 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2013, 19(23):262-265.
- [66] 马迪, 向阳, 王丹, 等. 天山花楸果实和枝叶提取物的药效比较研究 [J]. 西北药学杂志, 2015, 30(1):43-47.
- [67] 李露, 戴婷, 李小龙, 等. 苦杏仁苷药理作用的研究进展 [J]. 吉林医药学院学报, 2016, 37(1):63-66.
- [68] 李乐, 迟峰丽, 唐辉. 天山花楸叶多糖的含量测定及抑菌作用研究 [J]. 医药导报, 2015, 34(10):1336-1338.
- [69] Khalil M N A, Beuerle T, Muller A, et al. Biosynthesis of the biphenyl phytoalexin aucuparin in *Sorbus aucuparia* cell cultures treated with *Venturia inaequalis* [J]. Phytochemistry, 2013, 96(6):101-109.
- [70] Kahkonen M P, Hopia A I, Heinonen M. Berry phenolics and their antioxidant activity [J]. J Agr Food Chem, 2001, 49(8):4076-4082.
- [71] 胡丰林. 安徽省一些用材树种鲜叶提取物清除 DPPH 自由基的活性初探 [J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(2):197-202.
- [72] Aladedunye F, Matthäus B. Phenolic extracts from *Sorbus aucuparia* (L.) and *Malus baccata* (L.) berries: antioxidant activity and performance in rapeseed oil during frying and storage [J]. Food Chem, 2014, 159:273-281.
- [73] 邱靖, 伊贤贵, 汤庚国, 等. 黄山水榆花楸群落结构分析 [J]. 四川农业大学学报, 2016, 34(3):304-311.
- [74] 吕寻, 杨双宝, 刘文楨, 等. 小陇山锐齿栎原始群落林木径阶空间结构特征 [J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(5):11-18.
- [75] 辛宝英. 北京花楸微型繁殖技术的研究 [J]. 生物技术世界, 2013(5):28.
- [76] 孙涛, 鲁仪增, 韩义, 等. 不同外源激素对北京花楸不定芽分化及其生根的影响 [J]. 山东农业科学, 2018, 50(8):67-71.
- [77] 陈昕, 曹珊珊, 张红星. 黄山水榆花楸种子休眠影响因素 [J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(7):5-7.

- [78] 刘登义,沈浩,杨月红,等. 黄山花楸种群遗传多样性研究[J]. 应用生态学报,2003,14(12):2141-2144.
- [79] 傅立国. 重视珍稀濒危植物的保护[J]. 植物杂志,1986(5):22-23.
- [80] 唐媛. 黄山花楸及繁育技术[J]. 安徽农学通报,2012,18(22):66-67.
- [81] 陆彪,吕美青,田娟,等. 天山花楸直播育苗繁育技术[J]. 农村科技,2017(7):57.
- [82] 陈景艳,潘德权,李鹤,等. 华西花楸实生苗培育技术及苗木质量分级[J]. 种子,2014,33(10):124-126.
- [83] 魏文财. 天山花楸硬枝扦插育苗试验[J]. 青海农林科技,2015(1):60-62.
- [84] 唐桂辉. 欧洲太阳神花楸培土辅助分株育苗技术[J]. 防护林科技,2018(1):93-95.
- [85] 连永刚. 水榆花楸嫩枝扦插生根的影响因素研究[J]. 林业科技,2018,43(3):10-12.
- [86] 余萍,余治家,马杰,等. 欧洲花楸种子萌发和生根试验[J]. 中国种业,2017(2):45-46.
- [87] YANG L, ZHANG D Y, LIU H N, et al. Effects of a nitric oxide donor and nitric oxide scavengers on *Sorbus pohuashanensis* embryo germination[J]. J Forestry Res, 2018,29(3):631-638.
- [88] 张冬严,魏骋,刘虹男,等. 乙烯利和 SNP 对花楸树胚胎休眠解除的影响[J]. 种子,2018,37(1):14-17.
- [89] 李建军. 几种花楸属植物繁殖技术研究进展[J]. 北方果树,2017(1):1-3.
- [90] 王亮. 水榆花楸 1 年生苗生长过程的研究[J]. 防护林科技,2016(2):12-14.
- [91] 杨玲,沈海龙. 花楸树体细胞胚与合子胚的发生发育[J]. 林业科学,2011,47(10):63-69.
- [92] 王爱芝,沈海龙,张鹏,等. 花楸合子胚发育的形态解剖学观察[J]. 经济林研究,2012,30(1):133-137.
- [93] 朱虹. 欧洲乔木花楸组织培养快速繁殖体系建立研究[J]. 林业科技,2018,43(1):1-4.
- [94] 张军,朱力国. 西伯利亚花楸在黑龙江黑河的引种表现[J]. 防护林科技,2018(4):39-40.
- [95] Dubey S P, Lahtinen M, Särkkä H, et al. Bioprospective of *Sorbus aucuparia* leaf extract in development of silver and gold nanocolloids[J]. Colloid Surf B Biointerfaces, 2010,80(1):26-33.

[责任编辑 刘德文]