

• 综 述 •

红景天属药用植物品质评价及品质影响因素研究进展

王亦舟¹, 郁利霞¹, 邹云娇¹, 薛幸嫔¹, 田 怡¹, 晋 玲^{1,2}, 康生福³, 马 毅^{1,2*}

1. 甘肃中医药大学药学院, 甘肃 兰州 730000
2. 陇药产业创新研究院, 甘肃 兰州 730000
3. 甘南百草生物科技开发有限公司, 甘肃 甘南 747000

摘 要: 红景天 *Rhodiolae Crenulatae Radix et Rhizoma* 是用药历史悠久的传统中藏药, 其同属植物也多具药用价值, 然而在资源开发过程中面临品质不稳定、影响品质因素复杂、质量控制指标单一等问题, 通过对红景天属药用植物的性状、化学成分及药效方面的品质评价标准进行综述, 并总结了种质、栽培方法、采收期、产地、海拔、加工方式和贮藏等因素对红景天属药用植物品质的影响, 为进一步阐明相关因素的作用机制和制定更为系统科学的品质评价体系提供依据。

关键词: 红景天; 品质评价; 种质; 栽培; 采收期; 产地; 海拔; 干燥; 贮藏

中图分类号: R282 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2024)19-6758-10

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.19.028

Research progress on quality evaluation and quality influencing factors of medicinal plants from *Rhodiola*

WANG Yizhou¹, YU Lixia¹, ZOU Yunjiao¹, XUE Xingpin¹, TIAN Yi¹, JIN Ling^{1,2}, KANG Shengfu³, MA Yi^{1,2}

1. School of Pharmacy, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China
2. Gansu Pharmaceutical Industry Innovation Research Institute, Lanzhou 730000, China
3. Gannan Baicao Biotechnology Development Co., Ltd., Gannan 747000, China

Abstract: Hongjingtian (*Rhodiolae Crenulatae Radix et Rhizoma*) is a traditional Chinese and Tibetan medicine with a long history of use, and many *Rhodiola* plants also have efficacy, however, in the process of resource development, it faces the problems of unstable quality, complex quality influencing factors, and limited quality control indexes, etc. This paper systematically reviewed the quality evaluation criteria of medicinal *Rhodiola* with respect to the traits, chemical compositions, and efficacy of the herbs and summarized the influences of factors on the quality of medicinal *Rhodiola* such as germplasm, cultivation method, harvesting period, place of origin, elevation, processing and storage, etc., which provided a basis for further elucidating the mechanism of the relevant factors and formulating more systematic and scientific quality evaluation system.

Key words: *Rhodiolae Crenulatae Radix et Rhizoma*; quality assessment; germplasm; cultivation; harvesting period; origin; altitude; drying; storage

红景天属植物在我国有 73 种 2 亚种 7 变种, 分布在广西、四川、云南、西藏、甘肃、青海、新疆等多个省份和自治区, 分布较为广泛^[1]。根据《中国药典》2020 年版记载, 红景天为大花红景天

Rhodiola crenulate (Hook. f. et Thoms.) H. Ohba 的干燥根和根茎, 主要功效是益气活血、通脉平喘^[2], 此外, 红景天属多种基原植物被地方中药材标准收录, 如《甘肃省中药材标准》2020 年版^[3]中记载狭叶红

收稿日期: 2024-04-24

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助 (CARS-21); 2024 年高校教师创新基金项目 (2024B-102); 中药保障与创新能力提升项目 (甘中医药综函 [2024] 14 号)

作者简介: 王亦舟, 硕士研究生, 研究方向为中药资源评价、保护与可持续利用。E-mail: 1934985623@qq.com

*通信作者: 马 毅, 副教授, 从事中药资源开发与质量综合评价研究。E-mail: gslz_my@126.com

景天 *R. kirilowii* (Regel) Maxim. 可“活血调经、养心安神、止血止痛”，《吉林省中药材标准》^[4]中记载高山红景天 *R. sachalinensis* A. Bor. 益气活血、通脉平喘；《新疆维吾尔自治区维吾尔药材标准》2010年版^[5]中记载蔷薇红景天 *R. rosea* L. 滋补强壮、安神益智、开通阻滞、消炎止痛；《四川省藏药材标准》2020年版^[6]中记载长鞭红景天 *R. fastigiata* (Hook. f. et Thoms.) S. H. Fu 清热、利肺；并已报道大量与该属植物药效研究相关的文献，充分证明红景天属植物在药用方面的价值和可发掘的潜力。然而，目前红景天属药用植物资源开发利用面临的迫切问题：(1) 野生资源日渐匮乏，野生变家种过程中，伴随各种外部条件的改变，存在品质下降的现象，有些甚至难以达到《中国药典》2020年版或地方标准的最低要求^[7]；(2) 本草考证的依据较少，造成市场流通过程中的基原混乱和以次充好现象，在生产实践过程中需要找出快速、高效鉴别基原植物的方法，以杜绝伪劣药劣药^[8]。总体而言，以上问题与红景天属药用植物的品质关系密切。本文从红景天属药用植物的品质评价标准、影响品质的因素出发，全面梳理与红景天属药用植物品质相关联的研究依据，为保障红景天属药用植物质量、确保资源可持续发展提供理论依据。

1 红景天属药用植物品质评价标准

1.1 性状

1.1.1 外观性状 古代藏药典籍《晶珠本草》中明确记载了红景天属药用植物的外观性状特征，如《现观》中提到其尽管生境类型复杂，形态各不相同，但具有许多共同特点：茎全部为红色、质地硬实；叶片肥厚、簇生、分布有类似银色露珠的特殊结构，全茎被叶，在秋季转变为红色；花、果荚、种子都呈红色；根部断面颜色如同人肺，皮厚而呈现黑色；气味明显，味甘、苦、涩，性凉，功效为养肺、清热、滋补元气，含在口中能够去除口臭^[9]。

现代对大花红景天的外观性状描述在《中国药典》2020年版中有详细记载，“根茎呈圆柱形，粗短，略弯曲，少数有分枝，长5~20 cm，直径2.9~4.5 cm。表面棕色或褐色，粗糙有褶皱，剥开外表皮有一层膜质黄色表皮且具粉红色花纹；宿存部分老花茎，花茎基部被三角形或卵形膜质鳞片；节间不规则，断面粉红色至紫红色，有一环纹，质轻，疏松。主根呈圆柱形，粗短，长约20 cm，上部直径约1.5 cm，侧根长10~30 cm；断面橙红色或紫红色，

有时具裂隙。气芳香，味微苦涩、后甜”^[2]。在中药材商品等级规格^[10]中，关于其统货与选货的性状描述也与此较为接近，主要差别在于选货直径 ≥ 3.5 cm，统货直径2.9~4.5 cm，将直径作为重要的商品分级标准。

其余几种红景天属药用植物的外观性状特征在各个地方的中、藏药材和饮片标准中有所描述，狭叶红景天被收载于《甘肃省中药材标准》2020年版^[3]、《青海省藏药材标准》2019年版^[11]；高山红景天被收载于《吉林省药材标准》^[4]；蔷薇红景天被收载于《新疆维吾尔自治区维吾尔药材标准》2010年版^[5]；长鞭红景天被收载于《四川省藏药材标准》2020年版^[6]。

对比不同标准中的记载可发现，大花红景天与其他红景天属药用植物存在多个差异明显的外观性状：从根茎上观察，发现其具特殊花纹的膜质黄色表皮，宿存花茎基部的膜质鳞片的形状为三角形或卵形，断面颜色为粉红色至紫红色并有一环纹；根断面呈橙红色或紫红色；气芳香而味微苦涩后甜。且大花红景天的红景天苷含量通常高于其他种，提示其特殊性状与品质之间可能存在联系，可将传统“辨状论质”思想与现代鉴定技术如电子鼻、电子眼等结合以探明二者的关系。

1.1.2 显微性状 红景天属药用植物在显微性状方面具有许多相似之处：根部最外层均为木栓层，皮层狭窄，形成层呈环，多具外韧型维管束，且韧皮部与木质部较宽，各占横切面1/3左右；根茎最外层均为木栓层，形成层较明显且断续呈环，髓部宽广，多见异形维管束；粉末中都含有薄壁细胞、木栓细胞、维管束、淀粉粒等^[12]。不同红景天属药用植物的显微性状差异主要体现在其根茎横切面中维管组织的数目、特殊构造及排列上。按照根茎维管组织数目进行分类，蔷薇红景天根茎维管束呈现2~3轮断续环状排列；大花红景天、狭叶红景天和高山红景天均具有1轮维管束；长鞭红景天则具有2轮维管束。按照根茎维管组织特殊构造及排列进行分类，蔷薇红景天中维管组织具有三生构造；大花红景天外周为放射状排列的外韧型维管束，髓部为散生的内韧型维管束；狭叶红景天外轮排列环状外韧型维管束，髓部散生周韧型维管束；高山红景天外轮排列环状外韧型维管束，髓部散生异常维管束，为周韧型维管束；长鞭红景天外轮排列环状外韧型维管束，髓部具异常维管束，为周韧型维管束，

射线呈现星状排列^[13-14]。

1.2 化学成分

在《中国药典》2020 年版及各个地方中、藏药材标准中,红景天属药用植物大多以红景天苷为标志性成分并据此评价药材品质:大花红景天按干燥品计算,含红景天苷($C_{14}H_{20}O_7$)不得少于 0.50%^[2];狭叶红景天不得少于 0.20%;高山红景天不得少于 0.20%;蔷薇红景天、长鞭红景天则无红景天苷含量要求。目前对红景天属药用植物中红景天苷合成通路的研究已取得一定成果,主要分为生物合成、化学合成和酶促合成 3 条途径。在生物合成方面,已确定红景天苷在植物中的合成以酪醇和尿苷二磷酸葡萄糖为底物,且苯丙氨酸解氨酶和酪氨酸脱

羧酶是连接初级和次级代谢途径的关键酶,争议在于酪醇的合成途径:第 1 种认为其来源于苯丙烷代谢途径中苯丙氨酸产生的对香豆酸^[15];第 2 种认为其来源于生物碱代谢途径的中间产物酪胺,而酪胺来源于酪氨酸^[16],以上 2 种红景天苷可能的合成途径见图 1。在化学合成方面,基于尿苷二磷酸葡萄糖基转移酶对酪醇与尿苷二磷酸葡萄糖合成红景天苷反应的促进作用,形成了 7 种主要的红景天苷工业化合成策略。而酶催化合成途径则是以酪醇和葡萄糖类似物为底物,利用生物酶、微生物或细胞催化红景天苷的合成,在不断改进的过程中,红景天苷的合成得到了显著强化,其转化率可达 71.9%^[17]。

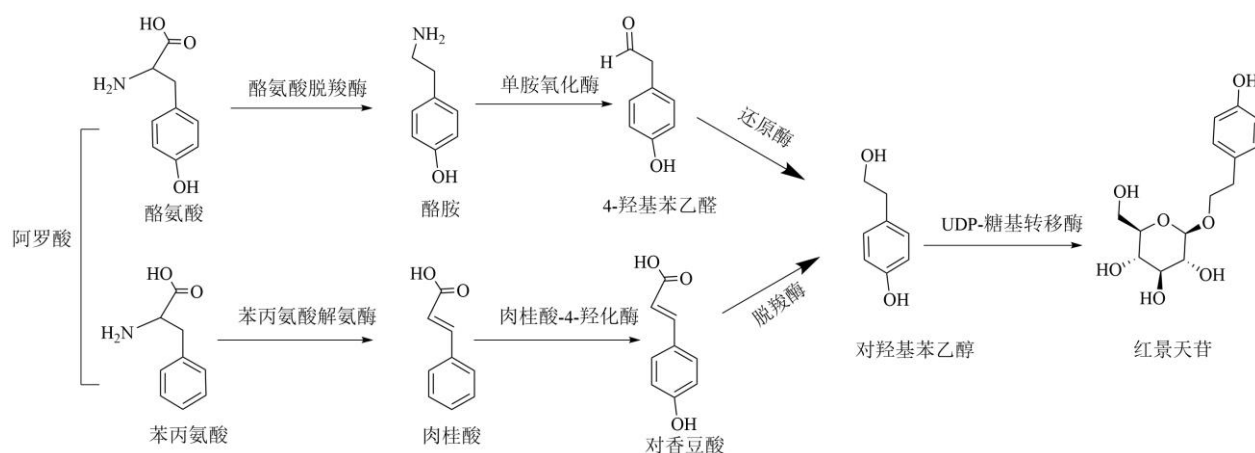


图 1 红景天苷可能的生物合成过程

Fig. 1 Possible salidroside biosynthesis

通常单一成分测定结果无法全面反映品质,红景天属药用植物中还含有多类具药理作用的化学成分,黄酮类化合物有 70 多种,主要包括黄酮、黄酮醇和黄烷醇类,其中草质素和山柰酚类化合物在抗氧化、抗辐射、抗病毒、抗炎、抗血栓等药理作用较为显著^[18];苷类化合物主要包括苯乙基、苯丙素和酚苷类等苯烷基苷类,代表化合物有酪醇、红景天苷、络赛维和大花红天素等^[19];红景天多糖由鼠李糖、阿拉伯糖、甘露糖、葡萄糖和半乳糖等单糖构成,具有免疫调节、抗疲劳、抗贫血、保护生殖细胞等作用^[20];还包含 8 种人体必需的氨基酸,且其补益效果良好^[21]。部分研究者通过测定红景天多个成分的含量进行品质评价,使实验结论更加全面、准确。胡英婕等^[22]以 6 种成分作为检测指标,发现红景天苷、熊果苷、酪醇、山柰酚、槲皮素在 5 种红景天属药用植物中的含量存在显著性差异,而没

食子酸含量无显著性差异,具体情况为大花红景天中红景天苷、熊果苷、山柰酚、槲皮素的质量分数最高,分别为 12.40、3.48、2.61、1.62 mg/g;高山红景天中酪醇质量分数最高,为 1.83 mg/g;长鞭红景天中红景天苷质量分数最低,为 5.08 mg/g。韩林辛等^[23]利用高效液相色谱法 (high performance liquid chromatography, HPLC) 和紫外分光光度法测定大花红景天中红景天苷和总酚的含量,方法快捷有效,结果准确可靠。周思思^[24]确定了大花红景天中总黄酮、总多糖、总皂苷和总挥发油的制备方法,测定了其相应的含量,并通过进一步的药效学实验验证了红景天中各类成分的抗氧化、抗肿瘤和抗衰老活性。

红景天属药用植物中化学成分的测定主要分为定性和定量 2 类。定性方法主要是薄层色谱法,《中国药典》2020 年版中也对相应的实验操作流程进行

了规定,其主要优势是分析速度快、专属性强、对设备和操作的要求较低、应用场景广泛,可利用薄层色谱所反映的生物特征和其特有的生物标志物化合物的存在,确定药材饮片和制剂的真实性和可能存在的掺假。定量方法主要有 HPLC 法、紫外分光光度法、液相色谱-质谱联用(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS)等。HPLC 是《中国药典》2020 年版规定的红景天属药用植物含量测定的方法,广泛用于红景天属药用植物品质评价研究,具有适用性广、高灵敏度、高速高效等特点。紫外分光光度法在单一成分测定中,稳定性和重现性较强,快速简便,数据可靠性强。LC-MS 可综合分析红景天属药用植物中多种成分的组成和含量^[25],优点是信息丰富,简化了前处理过程,适用于复杂体系的分离分析。

1.3 药效

红景天属药用植物药效较为接近,传统中、藏医药理论中认为其可滋补元气、清热解毒、治疗瘟病时疫,现代药理研究则主要涉及抗氧化、抗炎、保护心脑血管、抗抑郁、抗疲劳等。马四补等^[26]为评价大花红景天破壁饮片和传统饮片的药材品质,对比 2 种饮片对大鼠心肌的保护作用,发现二者均可显著减小心肌梗死面积和心律失常的发生率,且相同剂量下,使用破壁饮片后病理指标的降低作用优于使用传统饮片,表明破壁饮片品质优于传统饮片。刘英^[27]选取大花红景天破壁饮片与传统饮片作为实验对象,测定了二者不同剂量下对大鼠心肌细胞缺血缺氧损伤模型的细胞存活率、病理指标及细胞凋亡途径中关键蛋白含量的影响,结果显示大花红景天破壁饮片与传统饮片均可提高细胞存活率,改善相关病理指标,降低细胞凋亡途径中关键蛋白的含量,且相同剂量下破壁饮片药效更佳,表明大花红景天破壁饮片品质优于传统饮片。索朗等^[28]比较了小丛红景天 *R. dumulosa* (Franch.) S. H. Fu、大花红景天和长鞭红景天对小鼠常压耐缺氧时间、断头后喘息时间及血清中生理指标的影响,结果表明 3 种红景天在抗缺氧、抗衰老方面作用相似,小丛红景天和长鞭红景天在一定程度上可代替大花红景天使用。药效学评价更接近临床使用场景,可作为性状评价和化学成分评价的补充。

2 影响红景天属药用植物品质的因素

红景天属药用植物品质的影响因素主要有种质、栽培方法、采收期、产地、海拔、加工方式和

贮藏等,将各个影响因素及其同义词或近义词作为主题词,与“红景天”主题词用“AND”布尔运算符连接,在中国知网进行检索并排除与红景天属药用植物品质影响因素无关的文献,检索并筛选后的文献数量如下:种质(36)、栽培方法(25)、采收期(5)、产地(37)、海拔(9)、加工方式(5)、贮藏(2),结果见图 2。

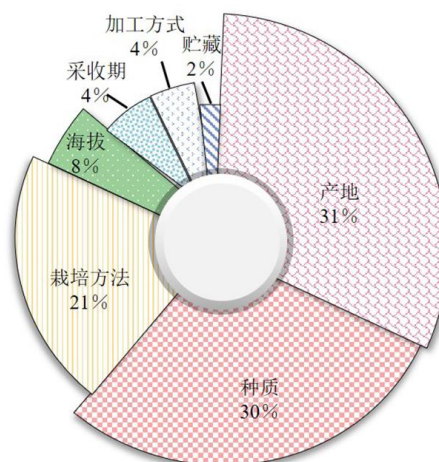


图 2 红景天属药用植物各个影响因素相关文献占比
Fig. 2 Percentage of literature related to each influence factor of medicinal *Rhodiola*

可见与种质、栽培方法及产地相关的文献在红景天属药用植物品质影响因素文献中的占比较大,而海拔、采收期、加工方式和贮藏则占比较小,表明红景天属药用植物的人工栽培、品种鉴别及产地区分方面的研究热度较高,成果较多,而对海拔、采收期、加工方式和贮藏等方面的研究还处在初步探索阶段,有待深入和完善。

2.1 种质

2.1.1 遗传多样性 红景天属药用植物具有丰富的遗传多样性,使其能够适应各类不利环境。刘青^[29]对西藏高原地区 4 种红景天属药用植物开展了遗传多样性分析及内部转录间隔区(internal transcribed spacer, ITS)序列分析,通过十六烷基三甲基溴化铵法提取了植物嫩叶中的 DNA,并对其进行了聚合酶链式反应扩增和电泳检测,对条带吸收峰面积采用香农多样性指数公式进行计算,结果显示齿叶红景天 *R. serrata* H. Ohba、喜马拉雅红景天 *R. himalensis* (D. Don) S. H. Fu、大花红景天、长鞭红景天的香农多样性指数依次递增,分别为 0.142 6、0.323 1、0.376 7、0.393 2,表明 4 种红景天属药用植物均具有较高水平遗传多样性,且对环境变化适

应能力依次增强。You 等^[30]通过对红景天属植物样品的叶绿体 DNA/ITS 序列变异的研究,发现其网状进化可能是由地理隔离引起的,复杂的地形及剧烈变化的气候可能进一步加快了种群分化的速度。另有研究发现红景天属药用植物的超氧化物歧化酶基因在遗传过程中不使其产生新的形态或生理功能,但可增强现有种群的适应能力;而参与不同生长素相关途径的基因在不同的环境压力下表达不同,表明生长素在不同类型的非生物胁迫条件下具有重要作用^[31]。深入挖掘红景天属药用植物环境适应的遗传机制,有利于控制红景天属药用植物栽培条件,进而提高人工栽培过程中的植株存活率。

2.1.2 种质资源概况 目前红景天属药用植物资源匮乏,亟需开展种质资源分布情况调查、种质资源收集与种质资源库建立等多项工作,并以此为基础推动红景天属药用植物的遗传育种研究。李涛等^[32]采用野外实地资源调查、标本采集鉴定与标本查证相结合的方法,对川西高原地区红景天属植物种质资源的情况进行了总结归纳。从区系特点上看,红景天属植物分类复杂,川西高原地区共有 26 种红景天属植物,分属于红景天属下的报春红景天组、四裂红景天组、红景天组、三裂红景天组 4 个组;高海拔地区生长的红景天属植物如大花红景天、长鞭红景天、狭叶红景天等常有一种或数种成群密集生长,植株粗壮,为植物群落中该层片的优势种,而少数低海拔地区红景天属植物如云南红景天 *R. yunnanensis* (Franch.) S. H. Fu 等呈现随机分布特点,由于植株较细与相近生态位的物种间竞争激烈,为植物群落中该层片的伴生种或偶见种;川西高原地区的红景天属植物海拔分布差异巨大,其中狭叶红景天、大花红景天和云南红景天垂直分布的生态幅度较大,说明其对不同海拔条件的生态适应能力较强。从分布特征上看,红景天组为川西高原地区红景天属植物的分布中心,包含了 13 种红景天属植物;红景天属植物在川西高原西部海拔 3.5 km 以上的高海拔地区如稻城、理塘、德荣等地分布较为密集,在四川盆地海拔 2.0 km 以下的周边地区有少数分布,而在四川盆地内则未见分布。洪道鑫^[33]将走访与野外样方调查方法相结合,通过蕴藏量估算法调查了四川、青海、甘肃和云南 4 省内的狭叶红景天野生资源,结果表明狭叶红景天野生资源正在不断减少,其中四川省和青海省资源量较大,甘肃省和云南省资源量较小。

目前已有多家单位和机构建立了红景天属药用植物的种质资源库和繁育基地。四川省草原科学研究院建立了占地约 3 hm² 的大花红景天种植繁殖基地,位于青藏高原地区四川省阿坝州红原县,同时在荒漠化条件下示范种植约 20 hm² 大花红景天。西藏大学深入研究红景天属药用植物栽培技术,建成包含大花红景天、长鞭红景天、狭叶红景天等多种濒危红景天属药用植物的藏药材种质资源圃,并在藏药材种植示范基地中培育大花红景天种苗 20 余万株^[8]。四川省草原科学研究院选取狭叶红景天作为防沙治沙植物并建有防沙治沙示范基地,以发掘其生态价值,从生态环境保护方面进行狭叶红景天的研究工作^[33]。

2.1.3 物种鉴别 红景天属药用植物在使用时品种较为混乱,基原植物通常难以确定。历版《中国药典》中红景天的基原植物收载种经过多次变动,《中国药典》1977 年版为大株红景天 *R. kirilowii* (Regel) Regel 或唐古特红景天 *R. algida* (Ledeb.) Fu var *tangutica* (Maxim.) Fu, 在《中国药典》1985~2000 年版中则为大株红景天 *R. kirilowii* (Regel) Regel,且在植物拉丁名的书写上存在争议^[34],而《中国药典》2005~2020 年版收载的种都为大花红景天。其余红景天属植物也有多个种被地方中药材标准或中药学专著收载,彼此混用现象较常见,但不同种红景天属药用植物在成分组成和含量上存在差异,一定程度上影响了药材的品质和药效,因此需要通过多种检测手段进行鉴别和厘清。吕秀梅等^[35]采用 HPLC 方法同时测定大花红景天、狭叶红景天和长鞭红景天中 5 种化合物含量,结果显示 3 种红景天的 5 种成分存在显著差异:大花红景天中红景天苷、咖啡酸含量显著高于长鞭红景天和狭叶红景天,而没食子酸、酪醇含量显著高于长鞭红景天。王丽萍等^[36]通过电子鼻获取 4 种红景天的气味信息,结合主成分分析 (principal component analysis, PCA) 和线性判别分析方法将 4 个种完全区分,建立了红景天属药用植物品种的 Fisher 函数判别模型,结果显示总体判别率 100%,交叉检验判别率 97.5%,并提出结合气相质谱方法进一步提高检测准确率的设想。宋霞等^[14]使用性状鉴别法和显微鉴别法,并增加了荧光显微镜的观察结果,从性状、横切面和粉末显微特征多个角度分析 5 种红景天,发现其差异主要集中于性状上的气味、断面颜色、膜质表皮、分枝情况和横切面的维管束形式,及粉

末特征中的草酸钙结晶和淀粉粒数量与分布,为完善质量标准提供了参考依据,同时也为鉴别常见红景天提供了技术支持。Ma等^[37]通过超高效液相色谱指纹图谱结合化学模式识别分析,确定7个特征峰的成分分别为1-(2-羟基-2-甲基丁酸酯) β -D-吡喃葡萄糖、4-O-葡萄糖基对香豆酸、红景天苷、表没食子儿茶素、1,2,3,4,6-五没食子葡萄糖、表没食子儿茶素没食子酸酯和(+)-异白藜芦醇-4'-O- β -D-吡喃葡萄糖苷或(+)-异白藜芦醇-4-O- β -D-吡喃葡萄糖苷,建立了一种简单有效的正品红景天及其易混淆种的分类方法。

在种质分子鉴别方面,Zhao等^[38]测定了6种红景天属植物的完整叶绿体基因组,与另1个红景天叶绿体DNA进行了比较,结果显示其基因组结构、基因数目、基因顺序、鸟嘌呤及胸腺嘧啶含量都高度相似,并从中确定了13个基因组差异的突变热点,可将其作为系统发育分析和红景天物种鉴定的候选标记;同时认为应该将红景天属植物按照单性花类型分为2个分支,其中一支为雌雄异株,另一支为雌雄同株,使红景天属植物的系统发育关系更加清晰。赵凯辉等^[39]选择ITS2和巨核细胞关联酪氨酸激酶(megakaryocyte associated tyrosine kinase, matK)2条DNA条形码对14种红景天属植物进行分子鉴定,其中ITS2序列和matK序列的测序成功率分别为94.7%和100%,表明DNA条形码技术在红景天属药用植物的鉴定领域具有潜在的应用前景。

2.2 栽培方法

在使用过程中,红景天属药用植物野生资源由于发芽率低、根腐病严重、生长条件苛刻等问题日渐衰竭,急需通过人工栽培、组织培养等方式及时增加其资源总量,以满足人们的使用需求。在野生和栽培2种不同生长条件下,红景天属药用植物品质可能会产生差异,宋玉成等^[40]测定了野生和家种2种大花红景天中红景天苷的含量,结果较为接近且都大于0.50%,判断栽培品品质下降不大,可代替野生种使用。崔晋龙等^[7]对大花红景天野生种与组培品种中红景天苷、酪醇、洛塞琳、洛塞维和洛塞5种主要活性成分进行定性和定量研究,发现愈伤、组培品种的红景天苷含量均低于野生种,且不符合《中国药典》不得少于0.50%的规定,表明这2类品种尚不符合药用标准,需进一步研究红景天苷生成机制以提高栽培品质量。综上,栽培方法的

差异会影响红景天属药用植物品质,且经过栽培后其品质通常较野生种有所下降。

栽培过程由多个环节所组成,需要探明每个环节的影响以保证红景天属药用植物栽培品的最终品质符合要求。目前已有研究者对此展开了研究,对多种红景天属药用植物的栽培技术^[41-48]进行了总结,涉及到选地、整地、繁殖方法、定植、田间管理、病虫害防治、采收与加工等多个方面。选地时应选择海拔较高、具有一定坡度的山地,要求栽培地为阳光充足、土层深厚且排水性好、土质呈中性或微酸性、腐殖质含量丰富的壤土或沙壤土,因此常选取山地中的森林采伐地或生荒地进行栽培。整地时深翻30~40 cm,清除田间杂物,打碎土块,顺坡向作畦,畦宽1~1.2 m、高20~25 cm,作业道宽50~70 cm,视土壤肥力情况适当施加厩肥、猪圈粪或腐熟农家肥。繁殖方法多采用种子繁殖或根茎繁殖方法,也有部分采用组培快繁方法。其中种子繁殖要求播种前先用水冲洗种子后再施加赤霉素等植物激素提前处理,以提高种子发芽率。在育苗时间选择上,大棚育苗春秋均可,室外育苗宜秋播,布棚育苗宜在春季,3月下旬至4月中旬进行春播,9月下旬至10月中旬进行秋播,播种量为1.5~2.0 g/m²,播种后覆盖筛过的细土2~3 mm。根茎繁殖时选择除去泥土的成株红景天根茎,将其剪为3~5 cm长的小段,置于阴凉通风处1~2 d后等待其伤口表面愈合,将其移栽至准备好的畦中。组培快繁得到的培养苗移栽入营养钵或苗床时需注意避免损伤,并在培养1年后才可移栽到大田或山地。田间管理要求对育苗地及移栽地及时松土、除草和排水,确保田间无积水并保持低湿环境,育苗时将间出过密的幼苗补栽于别处,移栽苗入冬前注意覆盖3~5 cm的防寒土以确保顺利越冬。对于病虫害防治,要求及时施加多菌灵、代森锰锌、辛硫磷等药物,尤其注意对根腐病的防治,及时清除病株。对红景天属药用植物栽培方法的梳理,有利于实现其人工栽培的规范化和标准化,为提高栽培品的存活率和品质提供依据。赵彩云等^[49]深入研究与栽培相关的作用机制,关注大花红景天栽培过程中施肥时的氮、磷、钾配比对红景天苷等4种酚类成分含量的影响,通过建立红景天苷等4种酚类成分与氮、磷、钾肥施用量各自的拟合函数,找出使红景天苷等4种酚类成分含量达到最高时的氮、磷、钾肥的配比,结果显示氮肥、磷肥、钾肥施用量分

别为 0、150、31.71 kg/hm²时, 红景天苷含量达到最高, 为 1.54%; 氮、磷、钾肥施用量分别为 35.54、150.00、237.73 kg/hm²时, 4 种酚类成分含量达到最高, 为 1.93%, 表明大花红景天品质与肥料组成与用量之间存在一定的联系, 同时也给出一种探索最优栽培条件的途径。

2.3 采收期

红景天属药用植物品质往往与其采收期密切相关, 选择合理的采收期, 可提高有效成分含量、增强药效、增加经济效益, 同时也可提升分布区域内的整体采收效率, 减少资源的浪费。强巴卓嘎等^[50]设置 4 个不同采收时期, 选取红景天苷、酪醇和络赛维 3 种活性成分作为检测指标, 使用 HPLC 法对大花红景天叶、根皮、根、茎多个部位进行测定, 结果表明大花红景天中的红景天苷、酪醇和络赛维主要分布在根部, 且 9 月中下旬时络赛维与红景天苷含量达到最大, 此时酪醇未表现出明显的变化规律, 因此认为最佳采收期在 9 月中下旬。任艳艳等^[51]采用 HPLC 方法测定了 7、8 月份新疆塔城额敏县、石河子、伊犁等地蔷薇红景天中的红景天苷含量, 产地相同情况下, 8 月份采得药材红景天苷含量高于 7 月份, 表明不同采收期可影响蔷薇红景天品质。红景天属药用植物的采收期对活性成分的累积有一定影响, 因此在确定最佳采收期时需要对红景天苷含量及其他活性成分含量做出综合分析。

2.4 产地

不同产地的生态环境要素可对红景天属药用植物品质产生影响。李霓冰等^[52]以红景天苷为标示峰, 西藏大花红景天样品出峰为校正峰, 建立西藏、四川、云南、吉林、新疆等不同产地大花红景天的色谱指纹图谱, 最终确定的 6 个共有峰在不同产地大花红景天中的相对保留时间无明显差异, 但相对峰面积存在明显差异, 西藏大花红景天的多个共有峰的对峰面积高于其他产地, 表明不同产地大花红景天在化学成分含量上存在差异, 且西藏地区产出的大花红景天品质较好。方碧烟等^[53]利用 HPLC 指纹图谱技术对不同产地的大花红景天破壁饮片、破壁粉体和传统饮片相关性研究, 通过 PCA、层次聚类分析等统计学方法对结果进行了分析, 将相似度高的样品归为一类, 其他样品则按照差异归为 2 类, 提示不同产地生态环境对大花红景天成分富集过程产生了影响。红景天属药用植物多生长于高寒山区的流石滩地带, 更加适宜的产地可能对其品质产生

有利影响。

2.5 海拔

海拔是影响红景天属药用植物生长发育和品质的重要因素, 也是制约其野生变家种的主要限制条件。文检等^[54]收集大花红景天野外分布点的经纬度信息, 并结合海拔、降水量、温度、土壤等生态因子, 利用 Maxent 模型对相关数据进行了分析, 结果表明海拔对大花红景天生长影响最大, 高海拔地区光照充足、温度低、空气稀薄的条件更有利于大花红景天生长。吴玄峰等^[55]设置 8 个梯度条件, 利用 LC-MS 方法对大花红景天根、茎、叶组织的代谢物进行检测, 对结果进行 PCA 和典型相关分析, 显示代谢物丰度、光照强度与海拔梯度间都有显著正相关性, 表明海拔梯度与大花红景天品质相关性强, 且与海拔梯度相关的主要环境影响因素可能是光照强度。Dong 等^[56]比较了大花红景天和蔷薇红景天 2 种主要红景天的酚类成分和抗氧化能力, 并采用基于超高效液相色谱-串联三重四极杆质谱的代谢组学方法分析了分布于海拔 2 907、5 116 m 的大花红景天, 结果表明, 大花红景天的酚类成分和抗氧化活性高于蔷薇红景天, 且这 2 种药用植物的酚类成分和抗氧化活性与海拔高度呈正相关。表明海拔是影响红景天属药用植物品质的间接因素, 与海拔关联度较高的光照、温度和水分等可能是决定红景天属药用植物品质的直接因素, 仍需要进一步研究以阐明相关作用机制。

2.6 加工方式

在加工过程中, 红景天属药用植物有效成分可能损失, 通过控制和优化加工方式, 可尽量减少对其品质的影响。净制时, 往往选用根和根茎作为药用部位, 而对植株其他部位的废弃可能会造成红景天属药用植物资源的浪费。次仁巴姆等^[57]测定人工种植小花、大花红景天的花瓣、茎、根等部位的红景天苷含量, 结果显示作为非传统药用部位的花瓣的红景天苷含量高于传统入药的根部, 认为可将花瓣入药, 以补充红景天属药用植物资源并促进其可持续发展。Terletskaia 等^[58]发现红景天属药用植物地上器官中红景天苷含量的增加幅度在种子成熟期达到最大, 此时根中红景天苷的含量显著减少, 建议在整个种子发育阶段采集种子并磨碎, 将其用于制药目的而不损害根系。

在药材的干燥处理中, 由于对处理时间、药材品质、成本等方面的要求不同, 会选用不同的干燥

方式。赵彩云^[59]采用晒干、低温干燥、阴干和冷冻干燥对大花红景天根和根茎进行处理,通过观察外观性状和测定水分、红景天苷、多糖、总酚、总黄酮和醇溶性浸出物等多种成分含量,采用综合评分法赋权重系数,最终发现低温干燥和阴干得分较高,且低温干燥时温度越低,有效成分含量越高,表明高温导致某些成分的分解或损失。因此在药材加工过程中,需要考虑对非传统药用部位的开发利用,同时也要注意减少有效成分的不必要损失。

2.7 贮藏

红景天属药用植物中含有挥发性成分,主要包括萜类、醇类和脂肪酸类,合理贮藏可延长药材的使用时间,维持药材品质。刘显福等^[60]选取不同贮藏年限和贮藏方式的大花红景天测定红景天苷含量,结果表明红景天苷含量与贮藏年份呈负相关,且将药材置于阴凉通风处的贮藏方式优于任意堆放。贮藏湿度和温度对挥发油影响较大,过高温度和湿度都可降低药材中挥发油含量及提取效率,使香气减弱,而储存时间在短期内影响较小,表明大花红景天中有效成分含量的稳定与储存湿度和温度的关联性更强^[61]。

3 结语与展望

目前红景天属药用植物的质量控制和品质评价研究已取得一定进展,南星梅等^[62]对唐古特红景天化学成分、药理活性和毒理研究方面的成果和理论进行综述,为唐古特红景天的深入开发和综合应用提供了重要的参考资料,范芳芳等^[63]根据中药质量标志物(quality marker, Q-Marker)理论核心内容,结合文献调研成果与网络药理学分析方法,预测出多个红景天功效关联性 Q-Marker,《中国药典》2020年版和地方标准也对各项指标都制定了相关规定。但仍有一些问题尚待解决:红景天属药用植物在使用过程中对品种、产地和质量评价的要求和标准逐渐变化,且本草考证存在一定困难,目前市场上存在品种混乱、真伪难辨、品质难以保证的情况;对红景天属药用植物生长发育、次级代谢产物累积等过程的研究较少,不同因素对红景天属药用植物品质的影响机制尚不明确,有待继续深入研究;评价指标单一,通常以红景天苷含量作为评价药材品质的唯一标准,性状、有效成分、药效和经济价值等方面的判定依据不够科学全面,不利于系统化和规范化红景天属药用植物的质量控制方法与评价标准;红景天属药用植物品质研究主要集中在种质和

栽培方面,对其加工方式、商品规格分级和贮藏方法的研究薄弱,制约了红景天属药用植物资源的进一步开发利用。针对这类问题,需要深入研究的方向是:完成本草考证,明确药材的基原植物、优质产区、传统功效;筛选不同种红景天属药用植物的专属性成分,作为快速高效鉴别的指标;加强红景天属药用植物生理生化领域研究,明确有效成分的代谢途径及各类影响因素对相关途径的作用机制;按照红景天属药用植物生产流程,实现全过程质量控制和评价,确保产品质量均一、可控、符合要求。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

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-第三十八卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1986: 161-220.
- [2] 中国药典 [S]. 一部. 北京. 2020: 161-162.
- [3] 甘肃省药品监督管理局. 甘肃省中药材标准: 2020 年版 [M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2021: 151-152.
- [4] 吉林省药品监督管理局. 吉林省中药材标准-第二册 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2020: 217.
- [5] 新疆维吾尔自治区卫生厅药品监督管理局. 新疆维吾尔自治区维吾尔药材标准 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2010: 201.
- [6] 四川省药品监督管理局. 四川省藏药材标准: 2020 年版 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2021: 48-51.
- [7] 崔晋龙, 郭婷婷, 王梦亮. 高效液相色谱法测定大花红景天野生与组培品种中 5 种主要活性成分 [J]. 中国药理学杂志, 2016, 51(3): 230-233.
- [8] 吕秀梅, 李艳, 范刚, 等. 藏药红景天及其常用近缘品种研究进展 [J]. 时珍国医国药, 2016, 27(7): 1698-1701.
- [9] 蒂玛尔·丹增彭措. 晶珠本草 [M]. 毛继祖等重译. 上海: 上海科学技术出版社, 2012: 149-150.
- [10] 黄璐琦, 詹志来, 郭兰萍. 中药材商品规格等级标准汇编 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2019: 949-954.
- [11] 青海省药品监督管理局, 青海省药品检验检测院. 青海省藏药材标准-第一册: 2019 年版 [M]. 兰州: 甘肃民族出版社, 2020: 123-132.
- [12] 陈海娟. 青海红景天属药用植物资源研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2009.
- [13] 何江, 杨伟俊, 于睿, 等. 蔷薇红景天药材质量标准研究 [J]. 时珍国医国药, 2011, 22(1): 108-109.
- [14] 宋霞, 刘亚蓉, 徐智玮, 等. 药用红景天的品种整理及生药学鉴别研究 [J]. 沈阳药科大学学报, 2023, 40(5): 637-648.
- [15] Hu G S, Hur Y J, Jia J M, *et al.* Effects of 2-aminoindan-2-phosphonic acid treatment on the accumulation of

- salidroside and four phenylethanoid glycosides in suspension cell culture of *Cistanche deserticola* [J]. *Plant Cell Rep*, 2011, 30(4): 665-674.
- [16] 马兰青, 柳春梅, 于寒松, 等. 红景天甙生物合成途径: 酪醇合成的起始反应及其糖基化 [J]. *生物工程学报*, 2012, 28(3): 282-294.
- [17] Zhang X M, Xie L, Long J Y, *et al.* Salidroside: A review of its recent advances in synthetic pathways and pharmacological properties [J]. *Chem Biol Interact*, 2021, 339: 109268.
- [18] 冯媛媛, 陈存. 红景天黄酮类化合物及药理活性研究进展 [J]. *中药材*, 2014, 37(4): 700-705.
- [19] 周凡, 陈雪梅, 范文玺, 等. 红景天属植物化学成分研究进展 [J]. *中国中医药信息杂志*, 2013, 20(7): 108-110.
- [20] 李凤林, 黄娜, 于汇. 红景天多糖化学结构及药理作用研究进展 [J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2016(19): 76-78.
- [21] 赵岩, 赵天琦, 陆璐, 等. 柱前衍生反相高效液相色谱法测定狭叶红景天中氨基酸含量 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(6): 1993-1998.
- [22] 胡英婕, 王磊. 高效液相色谱法同时测定红景天药材中 6 种有效成分的含量及质量相关性分析 [J]. *理化检验-化学分册*, 2022, 58(6): 695-700.
- [23] 韩林辛, 倪键. 大花红景天中红景天苷和总酚的含量测定 [A] // 2009 全国中药创新与研究论坛学术论文 [C]. 运城: 中华中医药学会, 2009: 400-405.
- [24] 周思思. 红景天中有效成分分离纯化、鉴定及活性研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [25] 唐诚芳, 蒋思萍, 陈彬, 等. LC-MS/MS 法分析西藏不同产地大花红景天中主要化学组成 [J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2013, 52(6): 99-103.
- [26] 马四补, 田兴中, 马子力, 等. 红景天破壁饮片与传统饮片对大鼠心肌梗死保护作用及药效对比研究 [J]. *时珍国医国药*, 2021, 32(6): 1364-1368.
- [27] 刘英. 红景天破壁饮片质量控制方法与药效学研究 [D]. 贵阳: 贵阳中医学院, 2018.
- [28] 索朗, 贡布, 多杰仁青. 3 种红景天药效学比较研究 [J]. *中国药业*, 2014, 23(24): 44-45.
- [29] 刘青. 青藏高原红景天遗传多样性与质量分析比较 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2016.
- [30] You J L, Lougheed S C, Zhao Y, *et al.* Comparative phylogeography study reveals introgression and incomplete lineage sorting during rapid diversification of *Rhodiola* [J]. *Ann Bot*, 2022, 129(2): 185-200.
- [31] Terletskaia N V, Turzhanova A S, Khapilina O N, *et al.* Genetic diversity in natural populations of *Rhodiola* species of different adaptation strategies [J]. *Genes*, 2023, 14(4): 794.
- [32] 李涛, 伍龙, 朱小迪, 等. 川西高原地区红景天属药用植物种质资源的分布与区系特点 [J]. *华西药学杂志*, 2012, 27(5): 503-505.
- [33] 洪道鑫. 藏药狭叶红景天资源及质量分析研究 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2018.
- [34] 谷燕莉, 陈玉婷. 药用红景天初考: 兼与《中国药典》商榷 [J]. *中国中药杂志*, 2004, 29(9): 112-113.
- [35] 吕秀梅, 范芳芳, 文检, 等. HPLC 法同时测定 3 种红景天药材中 5 种化学成分的含量 [J]. *中国药房*, 2018, 29(18): 2515-2519.
- [36] 王丽萍, 任卫合, 罗龙龙, 等. 基于电子鼻气味信息区分 4 个品种红景天 [J]. *粮食与油脂*, 2023, 36(2): 154-157.
- [37] Ma D D, Wang L J, Jin Y B, *et al.* Application of UHPLC fingerprints combined with chemical pattern recognition analysis in the differentiation of six *Rhodiola* species [J]. *Molecules*, 2021, 26(22): 6855.
- [38] Zhao K H, Li L Q, Quan H, *et al.* Comparative analyses of chloroplast genomes from six *Rhodiola* species: Variable DNA markers identification and phylogenetic relationships within the genus [J]. *BMC Genomics*, 2022, 23(1): 577.
- [39] 赵凯辉, 袁芳, 赵芳玉, 等. 基于 ITS2 和 matK 序列的红景天属植物条形码鉴定研究 [J]. *高原农业*, 2022, 6(5): 462-468.
- [40] 宋玉成, 马潇, 罗兴平. 野生与家种大花红景天的质量评价研究 [J]. *中国药事*, 2004, 18(2): 59-60.
- [41] 刘丽杰, 李晓杰, 肖影, 等. 库页红景天在吉林长白山的栽培环境探究 [J]. *吉林农业*, 2015, (2): 100.
- [42] 杨喜成, 张大明. 高山红景天栽培方法 [J]. *农村天地*, 1994, (7): 36-37.
- [43] 薛成英. 青海红景天种植技术 [J]. *农业开发与装备*, 2016, (8): 138.
- [44] 杨文广. 高寒阴湿区狭叶红景天栽培技术规程 [J]. *农民致富之友*, 2018, (2): 51.
- [45] 李风庆. 甘南高寒区狭叶红景天栽培技术 [J]. *甘肃农业科技*, 2018, (3): 91-93.
- [46] 杨晓娟, 张发成, 杨淑娟. 珍贵药用植物狭叶红景天丰产栽培技术 [J]. *林业实用技术*, 2009, (8): 47-48.
- [47] 白玛玉珍, 李宝海, 次仁措姆, 等. 西藏野生大花红景天种子处理与发芽试验初报 [J]. *西藏科技*, 2008, (9): 6-7.
- [48] 谭淑琼, 白玛玉珍, 欧珠, 等. 西藏大花红景天栽培技术 [J]. *现代农业科技*, 2016, (23): 87.
- [49] 赵彩云, 贾国夫, 何正军, 等. 氮磷钾配施对驯化栽培大花红景天 4 种酚类成分的影响 [J]. *中国中药杂志*, 2018, 43(9): 1812-1817.
- [50] 强巴卓嘎, 白玛玉珍, 欧珠, 等. 采收期对红景天活性

- 成分的影响 [J]. 中国食物与营养, 2019, 25(9): 20-23.
- [51] 任艳艳, 王晓琴, 赵文彬, 等. 不同产地不同采收期蔷薇红景天中红景天苷的含量测定 [J]. 时珍国医国药, 2013, 24(2): 377-378.
- [52] 李霓冰, 邓青. 不同产地红景天药材 HPLC 指纹图谱分析 [J]. 辽宁中医杂志, 2021, 48(8): 190-193.
- [53] 方碧烟, 甘均龙, 史军杰, 等. 不同产地红景天破壁饮片、破壁粉体和传统饮片 HPLC 指纹图谱相关性研究 [J]. 现代中药研究与实践, 2021, 35(1): 33-37.
- [54] 文检, 吕秀梅, 洪道鑫, 等. 基于 Maxent 模型的青藏高原大花红景天生态适宜性分析 [J]. 中国中药杂志, 2016, 41(21): 3931-3936.
- [55] 吴玄峰, 刘泰龙, 郑恒, 等. 西藏大花红景天代谢物与海拔梯度关系初步探究 [J]. 环境生态学, 2022, 4(6): 41-44.
- [56] Dong X D, Guo Y W, Xiong C, *et al.* Evaluation of two major *Rhodiola* species and the systemic changing characteristics of metabolites of *Rhodiola crenulata* in different altitudes by chemical methods combined with UPLC-QqQ-MS-based metabolomics [J]. *Molecules*, 2020, 25(18): 4062.
- [57] 次仁巴姆, 赵晓玲, 马兴斌, 等. 人工种植红景天不同药用部位中红景天苷的含量测定 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(8): 79-82.
- [58] Terletskaya N V, Korbozova N K, Grazhdannikov A E, *et al.* Accumulation of secondary metabolites of *Rhodiola semenovii* Boriss. *in situ* in the dynamics of growth and development [J]. *Metabolites*, 2022, 12(7): 622.
- [59] 赵彩云. 不同施肥量、采收期和加工方式对藏药大花红景天化学成分的影响 [D]. 成都: 成都中医药大学, 2018.
- [60] 刘显福, 胡敏燕, 杨杰. HPLC 法测定不同药用部位及不同贮藏年限的大花红景天中红景天苷的含量 [J]. 亚太传统医药, 2006, 2(4): 65-67.
- [61] 苗丽坤, 喻世涛, 熊国玺, 等. 不同储存条件对红景天挥发油成分的影响 [J]. 南方农业学报, 2015, 46(4): 669-674.
- [62] 南星梅, 于洋, 杨进, 等. 唐古特红景天化学成分和药理作用的研究进展 [J]. 中草药, 2023, 54(16): 5433-5441.
- [63] 范芳芳, 张雯, 余羊羊, 等. 基于网络药理学的藏药红景天功效关联性质量标志物预测分析 [J]. 中草药, 2021, 52(22): 6911-6922.

[责任编辑 赵慧亮]