

药用蕨类植物资源现状和人工栽培研究进展

韩艳蕾¹, 任艳^{1,2}, 曹也¹, 肖林燕⁵, 李慧^{1,2,3}, 王业^{1,2*}, 李西文^{1,4*}

1. 中国中医科学院中医药健康产业研究所, 江西南昌 330115

2. 江西中医药健康产业研究院, 江西南昌 330115

3. 中国中医科学院中药研究所, 北京 100700

4. 中国医学科学院药用植物研究所, 北京 100193

5. 吉首大学生物科学与资源环境学院, 湖南吉首 416000

摘要: 蕨类植物在我国种类繁多, 部分物种具有重要的药用价值, 但蕨类植物药用研究总体发展不足, 资源现状不清晰。通过总结我国药用蕨类植物的资源现状、人工栽培及繁殖技术的研究进展, 深度分析土壤基质、光照温度和病虫害等对药用蕨类植物生长和药效成分积累的影响, 并系统总结蕨类植物加工方式和产品研发现状。药用植物蕨类植物的规范化栽培生产和深度开发利用有待受到关注, 为扩宽中药资源的开发利用提供新的选择。

关键词: 蕨类植物; 药用价值; 资源现状; 人工栽培; 繁殖技术

中图分类号: R286.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)02-0778-11

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.02.034

Research progress on resources status and artificial cultivation in medicinal ferns

HAN Yanlei¹, REN Yan^{1,2}, CAO Ye¹, XIAO Linyan⁵, LI Hui^{1,2,3}, WANG Ye^{1,2}, LI Xiwen^{1,4}

1. Institute of Traditional Chinese Medicine Health Industry, China Academy of Chinese Medical Sciences, Nanchang 330115, China

2. Jiangxi Health Industry Institute of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330115, China

3. Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China

4. Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing 100193, China

5. College of Biology and Environmental Sciences, Jishou University, Jishou 416000, China

Abstract: Ferns exhibit a wide variety of species in our country, with some possessing significant medicinal value. However, the overall development of medicinal fern research is insufficient, and the status of resources remains unclear. This article summarizes the current state of medicinal ferns in our country, as well as the research progress on artificial cultivation and propagation techniques, thoroughly analyzes the impacts of soil substrates, light, temperature, diseases and insects pests on the growth of medicinal ferns and the accumulation of their medicinal components, and systematically reviews the current status of processing methods and product research and development of ferns. The standardized cultivation and in-depth utilization of medicinal ferns warrant further attention, as they offer new prospects for the development and utilization of traditional Chinese medicine resources.

Key words: ferns; medicinal value; status of resources; artificial cultivation; propagation techniques

蕨类植物又称羊齿植物, 在地球上有着一段非常长的统治时期^[1]。目前蕨类植物在全世界范围内包含 1.1 万多种, 多分布于亚热带及热带地区, 如在斯里兰卡报道有 24 种药用蕨类植物^[2], 越南的研

究报道了 20 种蕨类植物的染色体数目及新的细胞型^[3], 老挝的研究报道了境内的 5 种新发现蕨类植物^[4], 蕨类植物在马来西亚、印度、印度尼西亚、巴西等地皆有分布。在我国主要有 2 000 种, 用于药

收稿日期: 2025-09-02

基金项目: 江西省自然科学基金资助项目 (20242BAB20453); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (ZZ17-ND-12, KY-QD20230011, ZZ17-XRZ-123, ZZ18-YQ-059); 江西省重大科技研发专项 (20233AAE02011); 江西省重点研发计划项目 (20232BBG70016)

作者简介: 韩艳蕾, 女, 硕士研究生, 研究方向为中药资源开发。E-mail: Hyacinth426534@163.com

*通信作者: 王业, 男, 助理研究员, 从事中药资源开发研究。E-mail: ywang@itcmhi.ac.cn

李西文, 男, 研究员, 从事中药资源开发研究。E-mail: xwli@icmm.ac.cn

用的蕨类植物包括 51 科, 129 属, 690 种, 种类最多的科是鳞毛蕨科 (Dryopteridaceae), 包含 4 属, 111 种^[5]。在新种发掘方面, 王郑昊等^[6]报道了泰山徂徕山的 13 科蕨类植物, 白增福等^[7]报道甘肃 9 种新记录蕨类植物, 方国等^[8]报道了版纳曼稿子保护区蕨类植物 22 科 42 属 100 种, 还有江西、福建、云南、广州等地皆有相关报道。

蕨类植物多陆生和附生, 少数水生, 形态多为直立多年生草本, 少数为攀援状草本及树状。蕨类植物的生命周期中, 世代交替是其区别于被子植物的显著特征, 二者在形态和功能上存在显著差异。蕨类植物的这种世代交替机制使植物在不同的生活阶段能够适应不同的环境条件, 但世代交替这一特性也增加了蕨类植物的人工栽培难度, 限制药用蕨类植物的产业化推广生产。

蕨类植物在药用植物领域占有一定的使用比例, 且在强筋健骨与祛湿解热方面疗效突出。然而, 药用蕨类植物多依赖野生资源, 目前仅见少量物种小规模的栽培, 加之部分药用蕨类植物需生长多年后方可满足临床使用需求和市场规格, 供需矛盾的失衡有待对药用蕨类植物开展人工引种栽培及繁殖。本文通过综述蕨类植物的栽培及培养方式, 分析其育种模式, 以期对药用蕨类植物的栽培提供一定的参考价值。

1 我国药用蕨类植物的资源现状

《中国药典》2025 年版收录金毛狗 *Cibotium barometz* (L.) J. Sm.、绵马贯众 *Dryopteris crassirhizoma* Nakai、木贼 *Equisetum hyemale* L.、伸筋草 *Lycopodium japonicum* Thunb.、紫萁贯众 *Osmunda japonica* Thunb.、槲蕨 *Drynaria fortunei*

(Kunze) J. Sm.、卷柏 *Selaginella tamariscina* (Besiuv.) Spring 和垫状卷柏 *S. pulvinata* (Hook, et Grev.) Maxim、海金沙 *Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw 共 9 种蕨类植物^[9], 药用部位包含根茎、全草、孢子等不同的部位, 主要有清热解毒、驱虫杀虫、补肾强骨、舒筋活络等功效 (表 1)。

蕨类植物在我国众多典籍中亦有记载, 对《家藏蒙荃》《本草图经》《本草集要》《本草经集注》《本草蒙筌》及《新修本草》等中药典籍进行整理, 发现大多种类药用蕨类植物的记载与《中国民族药志要》与《中国药典》相同, 如在《家藏蒙荃》与《本草图经》中, 均记载药材骨碎补。但亦有少部分蕨类植物未被收录, 如《本草集要》中提及金星草, 具有蕨类植物的特征, 根据《本草图经》详细植物形态描述可能为大果假瘤蕨 *Selliguea griffithiana* (Hook.) Fraser-Jenk., 具有解硫磺及丹石毒的功效。《本草图经》还记载了七星草, 根据图片描述推测为三出假瘤蕨 *S. trisepta* (Baker) Fraser-Jenk.。

民族药是中华民族传统用药的一个重要分支, 也是对蕨类植物价值评估的又一宝库, 研究民族药为研究蕨类植物的药用价值提供了一个非常大的机遇及空间。蕨类植物在我国各民族中的使用共计 31 科植物百余种物种 (表 2), 且在每个民族的使用方法及功效均不相同^[10]。

民族药是我国中医药资源的一大重要宝库, 我国特有的多民族造就了各民族对药物的使用具有不同的理解, 同样的植物在不同的民族中发挥着不同的功效, 展现出不同的药用价值。我国不同少数民族使用药用蕨类植物统计见图 1。如凤尾蕨 *Pteris multifida* Poir 和凤尾草 *P. nervosa* Thunb 在苗族都

表 1 《中国药典》2025 年版收载的蕨类植物

Table 1 Ferns included in Chinese Pharmacopoeia (2025 edition)

序号	名称	药用部位	使用及功效
1	金毛狗	干燥根茎	祛风湿、补肝肾、强腰膝。用于风湿痹痛、腰膝酸软、下肢无力
2	绵马贯众	干燥根茎和叶柄残基	清热解毒、驱虫。用于虫积腹痛、疮疡
3	木贼	干燥地上部分	疏散风热、明目退翳。用于风热目赤、迎风流泪、目生云翳
4	伸筋草	干燥全草	祛风除湿、舒筋活络。用于关节酸痛、屈伸不利
5	紫萁贯众	干燥根茎和叶柄残基	清热解毒、止血、杀虫。用于病毒感冒、热毒泻痢、痈疮肿毒、吐血、便血、崩漏、虫积腹痛
6	槲蕨	干燥根茎	疗伤止痛、补肾强骨; 外用消风祛斑。用于跌扑闪挫、筋骨折伤、肾虚腰痛、筋骨痿软、耳鸣耳聋、牙齿松动; 外治斑秃、白癜风
7	卷柏	干燥全草	活血通经。用于经闭痛经、癥瘕痞块、跌扑损伤。卷柏炭化瘀止血。用于吐血、崩漏、便血、脱肛
8	海金沙	干燥成熟孢子	清利湿热、通淋止痛。用于热淋、石淋、血淋、膏淋、尿道涩痛

表 2 《中国民族药志要》中的蕨类植物

Table 2 Ferns recorded in *Compendium of Ethnic Medicinal Drugs in China*

分科	拉丁名	数量(种)	名称	使用民族	使用部位
铁线蕨科	Adiantaceae	6	铁线蕨、猪鬃草等	彝、景颇、蒙等	根茎或全草
观音座莲科	Angiopteridaceae	4	大观音座莲、观音座莲等	傣、苗、侗、土家等	根茎或全草
铁角蕨科	Aspleniaceae	4	狭叶铁角蕨、长生铁角蕨等	瑶、傈僳、侗等	根茎或全草
乌毛蕨科	Blechnaceae	1	乌毛蕨等	仡佬、瑶、傣等	根茎或全草
阴地蕨科	Botrychiaceae	6	绒毛阴地蕨等	佤、德昂、白等	根茎或全草
桫椤科	Cyatheaceae	1	桫椤	傣族	根茎或全草
骨碎补科	Davalliaceae	4	杯状盖阴石蕨、半圆盖阴石蕨等	傈僳族、彝族、景颇族等	根茎
姬蕨科	Dennstaedtiaceae	1	姬蕨	瑶族	全草
蚌壳蕨科	Dicksoniaceae	1	金毛狗	傣族、傈僳族、畲族等	根茎或全草
槲蕨科	Drynariaceae	4	槲蕨、光叶槲蕨等	白族、畲族、傣族等	根茎
鳞毛蕨科	Dryopteridaceae	4	多鳞鳞毛蕨、粗茎鳞毛蕨等	景颇族、德昂族、阿昌族等	根茎或全草
木贼科	Equisetaceae	6	笔管草等	佤族、水族、侗族等	根茎或全草
里白科	Gleicheniaceae	5	芒萁、铁芒萁	基诺族、傣族、朝鲜族等	全草
雨蕨科	Gymnogrammitidaceae	1	雨蕨	哈尼族	全草
石杉科	Huperziaceae	2	蛇足石杉	苗族、畲族、侗族等	根茎或全草
海金沙科	Lygodiaceae	1	海金沙	拉祜、景颇族、德昂族等	孢子
陵齿蕨科	Lindsaeaceae	1	乌韭等	傈僳族、瑶族、畲族等	全草
石松科	Lycopodiaceae	6	蛇足石松等	苗族、畲族、侗族等	全草
稀子蕨科	Monachosoraceae	1	大叶稀子蕨等	傈僳族	全草
肾蕨科	Nephrolepidaceae	3	肾蕨、心叶肾蕨等	傈僳族、壮族、瑶族等	根茎或全草
瓶尔小草科	Ophioglossaceae	9	瓶尔小草、狭叶瓶尔小草等	侗、土家族、瑶族等	全草
紫萁科	Osmundaceae	5	紫萁	傈僳、彝、土家族	根茎或全草
水龙骨科	Polypodiaceae	12	槲蕨、光叶石韦、北京石韦等	藏族、傣族、苗族等	全草或叶背绒毛
凤尾蕨科	Pteridaceae	8	金鸡脚、井边茜等	彝族、侗族、瑶族等	根茎或全草
蕨科	Pteridaceae	4	蕨、蕨菜等	朝鲜族、基诺族等	根茎或嫩叶
槐叶萍科	Salviniaceae	1	槐叶萍	苗、白族	全草
卷柏科	Selaginellaceae	9	卷柏、翠云草等	彝、蒙、哈尼、傈僳等族	根茎或全草
中国蕨科	Sinopteridaceae	2	银粉背蕨、硬一把抓	藏、蒙、哈尼等	根茎或全草
金星蕨科	Thelypteridaceae	1	披针新月蕨	土家族	全草
书带蕨科	Vittariaceae	1	书带蕨	哈尼族	全草
岩蕨科	Woodsiaaceae	3	耳语岩蕨	朝鲜族	全草

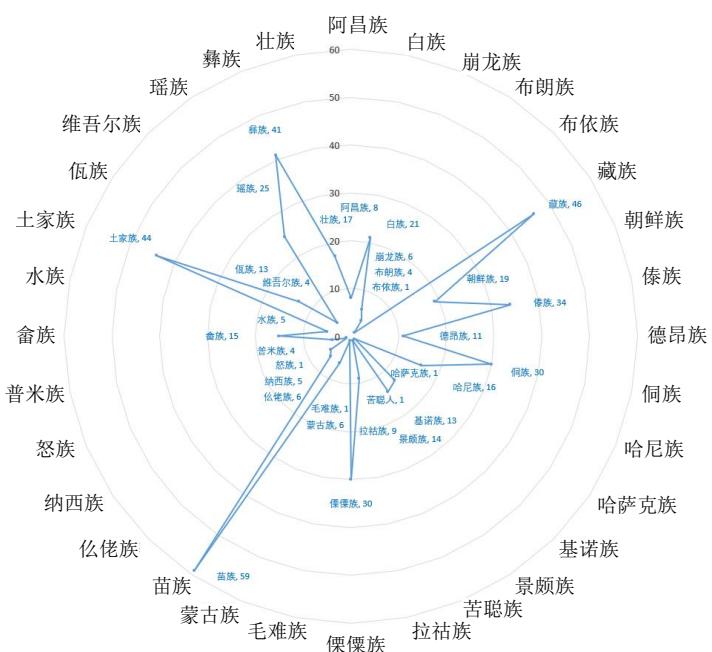


图 1 我国不同少数民族使用药用蕨类植物统计

Fig. 1 Statistics of medicinal ferns used by different ethnic minorities in China

有治疗癌症的记录,江南卷柏 *S. moellendorffii* Hieron 在苗族也有治疗食道癌与胃癌的功效。民族药的统计发现,苗族使用蕨类植物入药记录较多,累计 51 条,可能与我国苗族分布区域集中在温暖潮湿区域有关,尤其是贵州和湖南地区,喀斯特地貌和温润的生长环境为蕨类植物提供最佳的生长发育环境,加之苗药在我国使用历史悠久,疗效独特,可能是导致苗药中记载药用蕨类植物较多的主要原因。其次是藏族,有 46 条蕨类植物的药用记录,藏医学为我国传统医学的重要分支,藏医用药虽然偏重使用矿物等金石材料,但藏区部分地区(林芝)也有重要的蕨类资源。

蕨类植物的药用价值相对丰富,但资源的稀缺和部分物种为珍稀濒危保护物种的双重限制,使其使用受到严格限制,因此对蕨类植物进行人工繁殖及栽培亟待系统研究和深度挖掘,明确单一物种的生活史和栽培条件,对保障药用蕨类植物的正常使用具有重要的科学意义。

2 药用蕨类植物繁育及栽培现状

2.1 药用蕨类植物的繁殖技术

蕨类植物的繁殖是研究蕨类植物人工种植的关键环节,蕨类植物的繁殖有孢子繁殖、分株繁殖及组织培养等技术,见图 2。

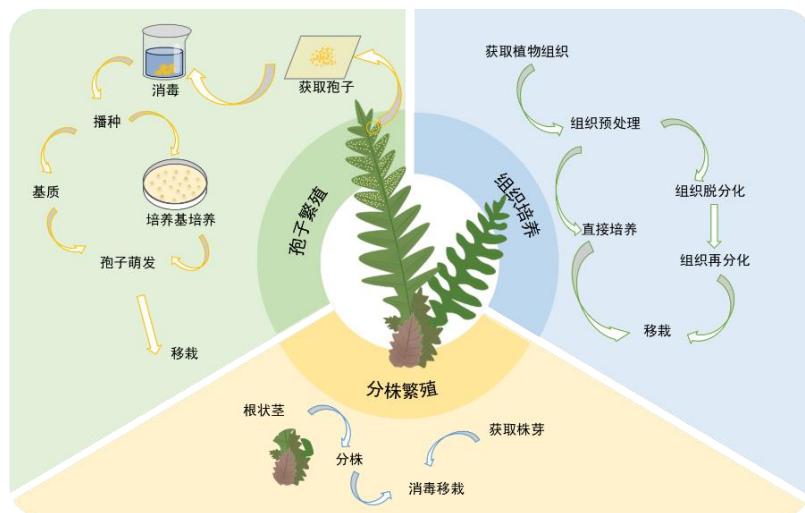


图 2 蕨类植物繁殖技术

Fig. 2 Fern propagation technologies

2.1.1 孢子繁殖 孢子繁殖是蕨类植物有性生殖育苗的主要方式之一,通常包含两种繁殖方式,一种是利用蕨类植物成熟孢子经消毒后播种进行繁殖的方式,也称孢子直播繁殖。陈春发^[11]研究了 5 种蕨类植物(齿牙毛蕨、普通针毛蕨、黑足鳞毛蕨、华南毛蕨、渐尖毛蕨)在 3 种栽培基质(腐殖土、研究区土壤、赣州红土壤)的孢子直播,齿牙毛蕨、黑足鳞毛蕨和华南毛蕨在腐殖土基质上的配子体和孢子体发育时间变短,配子体发育均需 24 d,在赣州红土壤中则需要 27 d,配子体发育速率和个体数也具有较大提升,分别为 275、153、152 个。在皮革蕨的体外繁殖研究中,将孢子置于由烧过的稻壳和有机肥料混合而成的介质中播种,植株的存活率高达 97%~100%,且驯化后的植株表现出良好的生长状态和适应性,叶片数量和根系发育良好,植株高度逐渐增加^[12];另一种为无菌孢子繁殖体系通过无菌的环境完成孢子萌发-原叶体增殖-孢子体

诱导-驯化移栽的育苗过程。但在里白科芒萁 *Dicranopteris dichotoma* (Thunb.) Bernh. 进行的孢子繁殖研究中发现孢子在经过组织培养后的孢子转化率只有 75%,但是经过孢子直播繁殖的转化率达到了 100%^[13]。

孢子繁育技术难点受多种因素影响,如基质类型、光照条件、温度、湿度等,湿度和温度的综合影响较高,直接影响孢子是否萌发以及原叶体阶段的受精率,且蕨类植物人工繁殖孢子萌发周期长,原叶体受精率通常较低。吴远彬^[14]对金毛狗孢子繁殖的不同栽培条件进行研究,发现孢子在原境土、自然光照下萌发率最高,但配子体到孢子体的受精率最高仅 12.8%。此外,笔者研究团队通过对槲蕨孢子萌发条件进行实验,发现孢子采收时间和存放时间对萌发率也产生较大影响,萌发率随着存放时间的延长而降低,这一实验现象和张银丽^[15]的研究结果一致。

蕨类植物孢子繁殖具有成本低,育苗占地面积小,可实现立体种植,且繁殖系数高的优势。然而,部分蕨类植物在自然界存在萌发率低的劣势,且孢子萌发形成的原叶体在自然环境中增殖系数极低,且受精率受自然环境影响较大,人工种植过程中克服孢子萌发率的技术难题是种植技术的关键。

2.1.2 分株繁殖 部分蕨类植物可以通过根状茎扩繁实现种群的扩张,如槲蕨、金毛狗等蕨类植物。分株繁殖可以分为多种类型,将生于叶片上的不定芽分离并繁殖的方式为株芽繁殖^[16],如铁角蕨的叶片顶端生长株芽,胎生狗脊 *Woodwardia prolifera* Hook. & Arn.的叶面生长株芽,在落地后即可生根长大^[16]。蕨类植物的分株繁殖还包括一种最常见的方法—根状茎分株,这种分株过程较简单,且成活率高,如水龙骨科的伏石蕨 *Lemmaphyllum microphyllum* C. Presl 等,单独通过根状茎切块,可形成独立植株。有一些蕨类植物还可以在它的侧枝上长出鞭叶体,如鞭叶铁线蕨 *Adiantum caudatum* L.,鞭叶体的根状茎也可以使其分离进行繁殖^[17]。

分株繁殖操作简单、存活率高、且极大的缩短药用蕨类植物的生长周期,是蕨类植物的常见生产方式。但是分株繁殖受物种影响较大,部分物种在初始种苗奇缺的条件下,分株繁殖需要的原材料较多,限制种植企业的生产经营。

2.1.3 离体快速繁殖 离体快速繁殖作为一种重要的植物生物技术,具有多方面的优点,在农业、园艺和植物栽培领域得到广泛应用。离体快速繁殖可在特定人工可供的条件下全年进行,可短时间内实现大量种苗;同时组织培养可以作为离体保存库的技术手段,可以长期保存植物的遗传资源,并在需要时进行繁殖与恢复,为珍稀蕨类植物的保护提供了重要技术支持。高胜等^[18]对庐山石韦 *Pyrrosia sheareri* (Baker) Ching 的研究中使用石韦的幼嫩叶片进行组织培养,形成愈伤组织后再进行分化培养,在整个过程中可以大量繁殖石韦,获得石韦幼苗。影响离体快速繁殖培养的主要因素包含培养基类型、植物激素及类似物、培养光照、温度、湿度等。

常见的培养基包括 MS 培养基、N6 培养基、甘博格培养基 (gamborg B5 medium, B5 培养基)、改良怀特培养基 (white medium, White 培养基)、基木本植物培养基 (woody plant medium, WPM 培养) 等。在芒萁的研究中,在 MS 培养基中加入灭菌的

土壤浸出液可以提高芒萁孢子的转化率^[19]。在 MS 培养基的基础上加入额外的磷元素,则可成为黑桫椤快繁体系的特定培养基,并已得到商业化用途,称为 MFMM^[20]。张银丽等^[21]的研究表示,槲蕨孢子在 MS、1/2 MS、1/5 MS 与 Knop's 培养基均可萌发,但在 Knop's 培养基中萌发时间最短,6 d 即可萌发,萌发率也最高,可达 49.23%,在 3 种 MS 培养基中,槲蕨孢子的萌发时间分别为 8、9、7 d,其中 1/5 MS 萌发时间最短,且萌发率达 46.83%,因此认为低盐浓度的 MS 培养基有助于槲蕨孢子的萌发。Knop's 培养基还有利于紫萁的配子体快速发育,只需 30~40 d 即可发育成熟^[22]。葛晓青等^[23]对星蕨的研究表示低盐培养基 (1/2 MS 培养基与 1/4 MS 培养基) 适合孢子萌发、受精及绿色小球组织 (green globular bodies, GGBs) 分化,降低渗透压抑制,高盐培养基 (MS 培养基) 可以满足原叶体增殖的高营养需求。李婧^[24]的研究中还发现蔗糖浓度对槲蕨的孢子萌发及性器官发育产生影响,2.5% 蔗糖浓度孢子萌发率相对最高,并且此浓度下槲蕨精子器数量达到相对最大值,在 1% 浓度下颈卵器数量达相对最大值。

植物激素的使用也会对蕨类植物的组织培养产生影响,常见的植物激素包括萘乙酸 (1-naphthaleneacetic acid, NAA)、吲哚-3-丁酸 (indole-3-butyric acid, IBA)、激动素 (kinetin, KT) 等,在对几种蕨类植物的研究中发现,对于 *Polypodium vulgare* L, 使用 1/2 MS 培养基添加 2 mg/L 的 IBA,或添加 0.22 mg/L 的 KT 和 1.8 mg/L 的 IAA,能够有效促进 *P. vulgare* 生长和繁殖,且在添加 2 mg/L IBA 的 1/2 MS 培养基中生根速度更快。对于 *Asplenium filix-femina* (L.) Roth, 1/2 MS 添加 2 mg/L IBA 以及添加 0.22 mg/L KT 和 1.8 mg/L IAA 的培养基被证明最适宜 *A. filix-femina* (L.) Roth 生长。这些培养基成分和激素组合为蕨类植物提供了最佳的物质基础,从而显著提高繁殖效率^[25]。其他植物激素也会对蕨类植物的 GBB 诱导率产生影响,如三色凤尾蕨 *Pteris aspericaulis* var. *tricolor* Moore ex Lowe 在噻苯隆 (thidiazuron, TDZ) 的促进下会使 GGB 诱导率显著提高,诱导率达 90%,同样 6-BA、NAA 的使用也会促使三色凤尾蕨 GGB 的生长及转化,1/2 MS+6-BA 条件下的增值系数达 38.89%,大大提高转化率^[26]。植物激素还会对蕨类植物配子体的生长发育产生影响,如生长素 (auxin, IAA)

可诱导无配子生殖的孢子体在鹿角蕨属无性配子体上的发育^[27]。

蕨类植物多为阴生植物, 对光照的需求较少, 但其孢子萌发、原叶体生长发育、孢子体形成等受光照条件的影响较大, 张银丽等^[21]研究表示, 榆蕨在强光环境下孢子萌发率较高, 但强光环境又会抑制细胞分裂, $130 \mu\text{mol} / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ 光强下无法形成片状体, 低光强度可促进配子体的光形态建成。李恒^[28]对掌叶铁线蕨、粗茎鳞毛蕨、溪洞碗蕨的孢子萌发进行研究发现, 3种蕨类的孢子萌发均需光照环境, 暗环境下的孢子只吸涨, 不萌发。多数蕨类植物不耐低温因此光强度、光照周期和温度等外界培养条件对蕨类植物的生长和繁殖影响较大。大部分蕨类植物喜爱高温高湿环境, 可以根据所引种蕨类植物的原生境状态进行模拟还原, 尽量贴合原有生态环境, 会更有利于蕨类植物的生长及繁殖^[29]。

2.2 栽培条件对药用蕨类植物的农艺性状和药效成分的影响

在药用蕨类植物的栽培中, 栽培方式、土壤环境及田间管理均直接影响田间农艺性状和药用部位的活性成分。如金毛狗为典型的酸性土指示作物, 喜阴喜湿, 对其进行田间管理时要注意栽培地区的季节变化, 应当要向原产地进行靠拢^[30]。海金沙在高海拔地区气温低, 孢子常不成熟, 采用分株繁殖时选择冬春季节进行栽培, 在低海拔使用孢子繁殖时在春季播种^[31]。

2.2.1 土壤基质 蕨类植物生长模式跨度较大, 包含陆生、附生、水生等模式, 每种蕨类植物的生长基质特异性较强, 虽有部分研究显示石生与附生蕨类植物培养时少量覆土效果更佳^[32], 但研究蕨类植物生境及培养条件是其种植技术突破的关键。对开蕨 *Phyllitis japonica* Kom. 在基质配比为草炭土-珍珠岩-硅石-素沙 (7:1:1:1) 和草炭土-硅石-炉灰 (2:1:1) 的基质上生长更佳, 新叶萌发能力最强, 与对照组 6 片新叶萌发相比, 此基质萌发 8 片新叶^[33-34]。铁线蕨喜欢酸性土壤^[35], 以珍珠岩-锯末 (2:1) 的栽培基质最佳^[36], 而大田栽培时可以选择种植在树下腐殖质较多的区域, 并可以按照一定比例混合沙土和砾石^[37]。对鹿角蕨的栽培研究中表明, 泥炭土-细沙 (2:1) 为最适宜孢子播种的基质, 泥炭土-树皮-小石块 (2:1:1) 为最适宜的栽培基质, 移栽成活率达到 93.3%, 在实验设置栽培基质中成活率最高^[38-39]。在对菜蕨 *Diplazium esculentum* (Retz.) Sw. 孢子萌发的研究中, 以栽培土为对照组, 实验碳化稻壳、椰糠、泥炭苔和干燥树蕨干 5 中基质对原叶体生长的影响, 仅见实验组碳化稻壳、泥炭苔和对照组常规栽培土 3 种基质出现配子体生长, 其中实验组中碳化稻壳基质的生长百分比最高 (12.21%), 其次是泥炭苔基质, 为 3.91%, 对照组常规栽培土的生长百分比为 13.57%。碳化稻壳能有效去除土壤中的毒素和病原体, 有利于孢子萌发; 而泥炭苔因孔隙小, 水分过多, 影响气体交换, 不利于孢子生长; 干燥树蕨干因霉菌积累, 破坏了植物组织, 导致无配子体生长, 故碳化稻壳基质是水蕨孢子萌发最有效的基质^[40]。

不同基质对于蕨类植物的生理具有不同的影响。椰糠作为基质对鸟巢蕨的生长影响显著, 且椰糠栽培的鸟巢蕨叶片中的可溶性糖和可溶性蛋白质含量最高^[41]。岩生榆蕨与树生榆蕨在次生代谢物的含量上具有较为显著的区别, 岩生模式下的榆蕨根茎在氨基酸、生物碱、木酚素和脂质等代谢物的含量上高于树生模式, 而树生模式下的根茎在黄酮类代谢物的含量上高于岩生模式^[42]。对 2 种附生环境下的榆蕨进行质量评价, 发现树生榆蕨的药用质量要优于岩生榆蕨, 推测树干生境的附生植物在高温胁迫下能产生并积累抗氧化酶或抗氧化物质从而减轻高温胁迫初期对植株所造成的伤害, 在弱光条件下吸收更多的光能用于光合作用并增加碳积累, 逆境胁迫下更有助于次生代谢产物的积累, 最终导致高品质药用部位的生产^[43]。

土壤基质的 pH 值也是重要的影响因素, 基质的 pH 值影响鸟巢蕨 *A. nidus* 的叶绿素含量及光合参数^[41], 水蕨适宜生长在 pH 值为 5.5~7.0 的土壤中^[44], 蕨菜 (紫萁) 适宜生在 pH 为 6.0~6.8 的弱酸性基质中^[45-46]。土生阴性蕨类植物适宜用中性或微酸性土, 喜钙蕨类植物可在基质中混合石灰、骨粉等物质^[32]。水蕨孢子萌发的研究中还表示, 土壤 pH 值在 5~6 的基质有利于水蕨孢子的萌发^[40]。

2.2.2 温度光照 蕨类植物大多是耐荫植物, 但光照对蕨类植物的生理生化产生着重要影响。高光照处理的满江红 *Azolla filiculoides* L. 中的花青素、黄酮醇、木犀草素-5-O-葡萄糖苷和可溶性原花青素的含量显著增加^[47]。铁线蕨喜温暖环境, 夜间 12 °C、白天 18~25 °C 的温度适宜生长, 低于 5 °C 时叶片会冻伤, 0 °C 以下地上部分枯黄, 地下部分可安全越冬^[48]。铁线蕨喜明亮的散射光, 栽培环境须保证

有 2~4 h 的散射光, 夏季因长光照可进行适当遮阴^[49]。马蹄蕨 *Angiopteris fokiensis* Hieron. 的移栽适宜选择针叶阔叶林下半荫状态^[37], 桫椤 *Alsophila spinulosa* (Wall. ex Hook.) R.M.Tryon 的栽培则更喜荫蔽的环境^[50]。在不同遮荫处理 (35% 全日照、13% 全日照、8% 全日照和 4% 全日照) 下, 4 种可食用蕨类植物荚果蕨 *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod、多齿蹄盖蕨 *Athyrium multidentatum* (Döll) Ching、桂皮紫萁 *O. cinnamomea* var. *asiatica* Fernald 和蕨 *Pteridium aquilinum* var. *latiusculum* (Desv.) Underw. ex A.Heller 的叶片中总酚、黄酮类、矿物质和氨基酸含量表现出显著差异。总酚和黄酮类含量与光照透过率显著正相关, 表明较高光照强度促进了这些化合物的合成; 而矿物质和总氨基酸含量与透过率显著负相关, 说明适当的遮荫有利于矿物质和氨基酸的积累^[51]。

2.2.3 生物因素 蕨类植物栽培基础薄弱, 对环境中的生物因素如何影响蕨类植物的生长发育仍存在较大的空白。Gabriela 在 2024 年的文章中对蕨类植物与昆虫的互作关系进行了系统发育学研究, 虽未对病虫害进行细致探究, 但为蕨类植物的病虫害研究提供了理论基础^[52]。真菌病害如锈病和炭疽病会影响叶片的光合作用, 锈病常发生在翠云草 *S. uncinata* (Desv.) Spring 等种类, 导致植株生长不良, 波士顿蕨 *Nephrolepis exaltata* 'Bostoniensis' 易受到炭疽病侵染, 导致植株顶端变褐、萎蔫等^[53], 红蜘蛛、蚜虫、介壳虫以刺吸式口器吸取蕨类植物的汁液, 造成植物生长迟缓、叶片枯黄甚至植株死亡, 同时还会引起煤污病等, 破损伤口还易引起病菌侵染, 引发更多疾病^[54]。

蕨类植物会遭受到病菌侵染产生各种病斑, 生存环境不适宜导致的生理性疾病, 及由生物迫害导致的虫害及污染^[53]。病菌侵染的病害可使用 50% 的多菌灵喷洒处理, 而生存环境不合适导致的生理性疾病如日灼病、高温萎蔫等, 可以通过人为的及时的更改环境, 及时遮荫等方式防治。而生物迫害如介壳虫、蚜虫、螨虫等可以通过农药防治, 如在鸟巢蕨受介壳虫侵害时可使用溴氰菊酯进行防治^[55], 但应用在药用蕨类植物中须考虑农药残留问题, 可使用生物防治手段预防农残。

2.2.4 其他因素 不同的栽培环境对蕨类植物的生理生化产生着重要的影响, 逆境、胁迫或者是生境内元素的变化都会影响着蕨类植物内化学物质

及生理特征的变化。

生活在喀斯特地貌的槲蕨孢子体叶中脯氨酸和甜菜碱随着 CaCl_2 浓度的增大而显著升高, 在高钙环境下槲蕨孢子体叶细胞为了维持细胞渗透平衡, 合成脯氨酸和甜菜碱等渗透保护物质调节渗透压^[56]。而槲蕨根茎则通过合成木质素促进细胞壁增厚、合成黄酮类代谢物清除活性氧、合成氨基酸调节渗透平衡、合成不饱和脂肪酸维持生物膜稳定性等方式适应高钙环境^[57]。槲蕨叶片中黄酮类化合物含量随着环境中钙离子浓度的升高而增加^[58]。人工栽培品与野生品种也因生境不同, 在代谢组中具有较为明显的差异, 大棚栽培的骨碎补中黄酮醇、糖及糖类代谢物化合物含量显著高于野生品, 在野生品中, 氨基酸及衍生物、酚酸类、溶血磷脂酰胆碱和花青素类代谢物含量较大棚栽培品含量高^[59]。以上结果都在表明蕨类植物的生活环境影响蕨类植物的次生代谢产物含量。

干旱也是影响蕨类植物生理生化变化的一个重要因素, 干旱胁迫下双穗蕨属蕨类植物 *Anemia caffrorum* (L.) Christenh. 的耐旱叶片有更高的叶密度、组织弹性及较低的二氧化碳同化能力, 水力传导下降对气孔导度的影响更大, 叶片通过渗透压增加抵消该影响, 而在干旱季节产生的耐寒叶片的脱落酸 (abscisic acid, ABA) 含量有显著增加, 但在严重干旱时略有下降, 类胡萝卜素和生育酚含量的增加, 表现出更强的抗氧化能力, 这种保护机制能够保护植物免受水分胁迫的伤害^[60]。而铁线蕨通过激活多种与初生和次生代谢物, 包括氨基酸及其衍生物、核苷酸及其衍生物、黄酮类、生物碱和酚酸等代谢物的生物合成相关的途径来响应干旱和半水淹胁迫^[61]。铁角蕨在低水环境下叶面积比逐渐下降, 实验结论也表明蕨类植物的附生条件比非附生植物更容易受到水份胁迫的影响, 在水分充足的情况下, 适量的养分添加会显著促进植物生长^[62]。

3 加工方式对药用蕨类植物药效成分的影响

蕨类植物的药材品质不仅受栽培条件影响, 药用部位采收后加工方式也会影响药效成分。槲蕨干燥根状茎为中药材骨碎补, 直接清洗去毛切片 50 °C 烘干的加工工艺对柚皮苷含量影响最小^[63]。通过蒸汽杀青和烘干的加工条件, 也能有效保持骨碎补中的柚皮苷含量^[64]。对骨碎补生品、砂烫品和微波炮制品的 HPLC 指纹图谱及含量进行测定, 发现骨碎补经砂烫和微波炮制后, 指纹图谱中新增了

5-羟甲基糠醛成分,且原儿茶酸含量增加,而新北美圣草昔和柚皮昔含量降低^[65]。对砂烫法处理骨碎补的炮制品与生品进行质量评价表明去毛处理可以减少杂质的吸附,提高药材的纯净度,且去毛处理有助于提高有效成分的溶出,柚皮昔含量显著高于未去毛样品,较生品具有更高的质量^[66]。狗脊炮制后的品质也有明显的提升,鲜切片烘干后润蒸的炮制方法优于其他方法,能够显著提高原儿茶酸和原儿茶醛的含量^[67]。还有研究发现,炮制后狗脊中出现了新成分,如5-羟甲基糠醛二倍聚合体和5-羟甲基糠醛,同时炮制后原儿茶酸含量增加,推测是由于原儿茶酸-3-O-糖昔在加热和酸性条件下分解为原儿茶酸和糖^[68]。海金沙加工炮制大多为立秋前后采收孢子曝晒干燥,典籍中也记载有海金沙叶捣汁煮砂缩汞的记录,但二者对药效成分的影响暂无研究^[69]。贯众可炮制为绵马贯众饮片与绵马贯众

炭,绵马贯众炭的总酚含量高,且毒性更低,其他性质差别不大^[70]。蕨类植物炮制加工文献报道较少,目前研究多围绕大宗药材骨碎补、狗脊、海金沙等药典收录品种,其他物种可能多全草用药,炮制加工对药效成分影响不显著,鲜有文献报道。

4 药用蕨类植物成品药及保健品

蕨类植物中的大多种属都有药用价值,目前市面上常见的保健品主要有醋酸钙氨糖骨碎补片、三七氨糖骨碎补胶囊、金毛狗脊丸、壮腰健肾丸及众多饮片等,在国家药品监督管理局网站中可查询到蕨类植物参与配伍的中成药及饮片,其中骨碎补参与的配方颗粒可查询到142条备案记录,以狗脊为关键词可检索到72条记录,贯众参与的配方颗粒检索到41条记录,凤尾草(井栏边草)在特殊食品查询平台中可查询到53条骨碎补保健食品备案记录,其余条目暂时未见(表3)。

表3 蕨类植物成品药剂及保健品名录

Table 3 List of finished medicinal preparations and health care products containing ferns

编号	药材	中成药
1	凤尾草	凤尾草(井栏边草)配方颗粒、凤尾草配方颗粒
2	骨碎补	骨碎补总黄酮、骨碎补配方颗粒、烫骨碎补配方颗粒
3	狗脊	金毛狗脊丸、烫狗脊配方颗粒、狗脊配方颗粒
4	贯众	复方贯众阿司匹林片、贯众炭配方颗粒、绵马贯众配方颗粒
5	木贼	木贼配方颗粒
6	海金沙	海金沙配方颗粒
7	卷柏	江南卷柏片
8	蛇足石杉	石杉碱甲片、石杉碱甲、石杉碱甲胶囊、石杉碱甲注射液

对壮腰健肾丸中狗脊成分进行质量评价的方法主要是通过薄层色谱法鉴别狗脊的存在,并通过高效液相色谱法测定狗脊中咖啡酸的含量进行定量评价,要求壮腰健肾丸每克含咖啡酸不得少于0.04 mg^[71]。对“跳骨片”中的骨碎补成分进行质量评价的标准也同上类似,使用薄层色谱法进行鉴定,并通过高效液相色谱法测定骨碎补中柚皮昔的含量,要求跳骨片中柚皮昔的含量在规定的范围内,确保其质量符合标准^[72]。

蕨类植物的产业化仍是一片蓝海,蕨类植物在民族药中的药用功能丰富多样,如半边旗 *P. semipinnata* L.在不同民族中都记载了对出血及呕吐的药用价值,或可成为晕车药、止吐药的一个重点关注对象,以及《中国药典》中木贼的药用价值表现在治疗迎风流泪,目生云翳中,这或可成为滴眼

液的一个重要中药品种。

5 结语与展望

蕨类植物是药用植物的重要组成部分,但药材市场对蕨类植物的需求普遍依赖野生资源。随着资源的过度采挖,许多蕨类植物濒临灭绝,如金毛狗已被列为国家二级重点保护植物。而国内蕨类植物的引种研究多集中于园艺及观赏型蕨类植物,如费占德对掌叶铁线蕨进行引种盆栽用以室内美化和装饰材料^[73],对药用蕨类植物的引种研究仍有空白。药用蕨类植物引种栽培可以一定程度减轻对野生资源的依赖,形成稳定的资源供应体系。

蕨类植物具有明显世代交替的生物特征,在繁殖方式上存在多样性。有性生殖与无性繁殖双重保障蕨类植物种群的扩繁和物种的延续。有性生殖通过孢子的萌发和原叶体的受精作用形成孢子体,完

成蕨类植物一个世代的生活史,孢子直播的有性繁殖策略对场地的需求低,但是部分物种孢子萌发率低,存在一定的技术瓶颈。无性繁殖包含分株繁殖和离体快速繁殖,前者技术需求不高,生产成本较低,但繁殖原材料需求较多,适合扩大规模生产时应用的育苗模式;离体快速繁殖虽然可以满足上述弊端,可以短期快速生产大量种苗,但是对操作人员的技术需求较高,且设施农业给生产企业造成严重的成本负担。因此,种植企业应根据自身发展需求和资金链选择合适的种植育苗方式。

药用植物的品质受环境因素较大,药用蕨类植物属于环境敏感性植物,生长发育对环境的要求较高,不适宜环境直接导致大面积绝产,间接导致种植企业规避这类药用植物的生产,选择直接采收野生资源。对环境的敏感性和严苛的栽培技术是未来药用蕨类植物技术攻关的难点。蕨类植物的药品研发在产业化及规模化上较各类大宗药材上仍然有着不小的差距,但蕨类植物的药用价值是被远远低估的,研究蕨类植物的繁殖与栽培,扩大蕨类植物的种植,对推动蕨类植物产业化与规模化是有着深远意义的。

针对蕨类植物独特的世代交替对规模化栽培的阻碍现状,配子体发育、受精效率、孢子体诱导的发育规律、分子调控网络可以有效突破药用蕨类植物栽培的技术障碍。阐明药用蕨类植物主要活性成分的生物合成途径及关键酶基因,解析环境因素影响药用蕨类植物次生代谢产物的调控机制,也将为蕨类植物的栽培与繁殖提供理论基础。同时,制定切实有效的保护措施也将为珍稀蕨类植物的种群生态与资源保护提供策略。针对不同物种特性和生长发育规律,建立标准化、可产业化的繁殖技术体系。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 荀燕妮,雷江丽.蕨类植物园林应用及其开发利用潜力探讨[J].南方园艺,2011,22(3): 32-34.
- [2] Rajakaruna R W M T N, Yakandawala D M D, Jayasuriya K M G G. Preserving Sri Lanka's indigenous healing heritage: An updated checklist of medicinal plants and conservation priorities [J]. *Ceylon J Sci*, 2025, 54(1): 65-212.
- [3] Chen C W, Do V T, Truong Q C, et al. Studies of Vietnamese pteridophyte flora 3 [J]. *Phyto Keys*, 2025, 255: 143-169.
- [4] Vongthavone T, Tagane S, Souladeth P, et al. Two new species and five new distribution records of *Pteridophytes* from Phou Pha Marn Limestone Karst in Central Laos [J]. *Kew Bull*, 2025, 80(1): 185-196.
- [5] 黄璐琦,郭兰萍,张小波,等.基于第四次全国中药资源普查的中国中药资源种类研究[J].中国中药杂志,2024,49(13): 3409-3413.
- [6] 王郑昊,王波,刘进勇,等.泰安市徂徕山林场蕨类植物资源与多样性分析[J].绿色科技,2025,27(5): 127-131.
- [7] 白增福,张志华,陈学林,等.甘肃省石松类和蕨类植物新记录9种1变种[J].生物资源,2025,47(2): 207-211.
- [8] 方国,张潞,马云飞,等.版纳保护区曼稿子保护区蕨类植物分布现状及保护措施[J].林业科技情报,2025,57(1): 65-67.
- [9] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 235-307.
- [10] 贾敏如,李星炜.中国民族药志要 [M].北京:中国医药科技出版社,2005, 17-647.
- [11] 陈春发.羊狮慕石松类和蕨类植物资源利用及孢子繁育技术 [D]. 赣州:赣南师范大学,2020.
- [12] Winarto B, Teixeira da Silva J A. Improved micropropagation protocol for leatherleaf fern (*Rumohra adiantiformis*) using rhizomes as donor explant [J]. *Sci Hortic*, 2012, 140: 74-80.
- [13] 陈东亮,钟楚,密克,等.濒危药用植物金毛狗脊的资源现状与保育研究进展 [J].贵州农业科学,2022,50(12): 122-129.
- [14] 吴远彬.芒萁人工培育技术研究初报 [J].亚热带水土保持,2016,28(2): 8-11.
- [15] 张银丽.蕨类植物的繁殖与配子体发育研究 [D].杭州:浙江林学院,2008.
- [16] 高海波,沈应柏.观赏蕨类的无性繁殖技术 [J].北方园艺,2006,30(1): 92.
- [17] 李莉,严岳鸿.蕨类植物的无性繁殖 [J].园林,2014,21(3): 32-35.
- [18] 高胜,詹选怀,陈勤,等.庐山石韦繁殖技术及其化学成分与药理作用研究进展 [J].安徽林业科技,2025,51(1): 9-13.
- [19] 刘欣,薛萌,许亮,等.中药用蕨类植物孢子繁殖技术研究进展 [J].亚太传统医药,2018,14(6): 80-83.
- [20] 曾霞.蕨类植物组织培养研究进展(综述) [J].亚热带植物科学,2002,31(增刊): 37-43.
- [21] 张银丽,杜红红,李杨,等.消毒方式、无机盐浓度及光照强度对槲蕨孢子繁殖的影响 [J].园艺学报,2009,36(5): 711-716.
- [22] 曹建国,代小菲,李新国,等.2种培养基下紫萁配子体发育及孢子体形成的研究 [J].西北植物学报,2011,

- 31(7): 1297-1302.
- [23] 葛晓青, 李梦瑶, 黄衡宇, 等. 星蕨的体外快繁技术研究 [J]. 植物学报, 2025, 60(6): 1-13.
- [24] 李婧. 榆蕨生殖发育及其与蔗糖浓度关系的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2017.
- [25] Florentina A, Cristian B, Aurelia B, et al. *In vitro* micropropagation of fern species (Pteridophyta) of biotechnological interest, for *ex situ* conservation [J]. *Oltenia*, 2016, 32(2): 27-35.
- [26] 何东平, 孟静, 李俊良, 等. 三色凤尾蕨组培快繁体系的建立 [J]. 种子, 2023, 42(12): 139-144.
- [27] Romanenko K O, Babenko L M, Vasheka O V, et al. *In vitro* phytohormonal regulation of fern gametophytes growth and development [J]. *Russ J Dev Biol*, 2020, 51(2): 71-83.
- [28] 李恒. 辽东山区三种蕨类植物孢子组培繁殖及耐阴性研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2020.
- [29] 杨逢春, 毛晓叶, 刘景欣, 等. 元江干热河谷主要环境因子(气温和降水)变化规律及蕨类植物的分布响应 [J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(6): 537-546.
- [30] 里二, 马洁, 杨春勇, 等. 傣族药食植物金毛狗栽培方法及采收加工 [J]. 中国民族医药杂志, 2005, 5(4): 15-16.
- [31] 魏德生, 曾莉莉, 王用平, 等. 海金沙的引种及栽培 [J]. 中草药, 1998, 29(7): 482-484.
- [32] 瞿得奎, 杜明芸, 赵兰勇, 等. 10种野生观赏蕨类及其栽培管理 [J]. 山东林业科技, 1997, 27(1): 40-43.
- [33] 吴妍. 不同栽培基质及营养液对对开蕨的影响 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
- [34] 李敏, 王亮. 多用途植物紫云英人工栽培技术 [J]. 中国林副特产, 2012, 27(2): 68-69.
- [35] 贾文军, 李登奎. 观叶植物铁线蕨人工栽培技术 [J]. 中国林副特产, 2012, 27(2): 67-69.
- [36] 周经明, 姚碧辉, 彭长城. 铁线蕨栽培基质的对比试验研究及其繁殖技术 [J]. 安徽农学通报, 2008, 14(14): 110-111.
- [37] 王用平, 韩见宇, 曾莉莉, 等. 福建观音座莲(马蹄蕨)的繁殖及栽培 [J]. 中草药, 1992, 23(7): 389.
- [38] 吴建设, 叶秀仙, 林榕燕, 等. 基质、覆膜对二歧鹿角蕨孢子播种繁殖的影响 [J]. 东南园艺, 2020, 8(2): 21-24.
- [39] 沈晓岚, 王炜勇, 俞信英. 鹿角蕨属植物研究进展 [J]. 现代农业科技, 2008, 37(12): 32-47.
- [40] Guillen X I F, Tan J M P. A comparative study on spore germination of *Diplazium esculentum* (Retz.) Sw. "Pako Fern" using different potting media [J]. *Peer J*, 2023, 2(17): 105-120.
- [41] 许泽康, 武华周, 朱国鹏, 等. 不同基质对鸟巢蕨生长和叶片生理特性的影响 [J]. 热带作物学报, 2015, 36(1): 41-46.
- [42] Chang N N, Yang X P, Wang X Q, et al. Epiphytic patterns impacting metabolite diversity of *Drynaria roosii* rhizomes based on widely targeted metabolomics [J]. *Metabolites*, 2024, 14(8): 409.
- [43] 黄春江, 莫元贵, 孙庆文, 等. 两种不同生境骨碎补质量比较研究 [J]. 贵州科学, 2020, 38(1): 25-30.
- [44] 王玉芳. 野生水蕨菜栽培技术 [J]. 广西园艺, 2008, 19(6): 55-57.
- [45] 何义发, 罗世家, 王柏泉, 等. 蕨菜孢子繁殖育苗试验初级 [J]. 中国林副特产, 1995, 10(4): 8-9.
- [46] 罗世家. 影响蕨菜生长的主要环境因子分析 [J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 2001, 20(4): 8-10.
- [47] Cannavò S, Bertoldi A, Valeri M C, et al. Impact of high light intensity and low temperature on the growth and phenylpropanoid profile of *Azolla filiculoides* [J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(10): 8554.
- [48] 王勤. 苔藓培铁线蕨无土栽培技术 [J]. 中国园艺文摘, 2012, 28(12): 109-110.
- [49] 杨元胜, 董士冬, 苏鹏皓. 铁线蕨栽培与养护技术 [J]. 现代农村科技, 2011, 40(8): 52.
- [50] 莫新寿, 刘瑞强. 桫椤繁殖与移栽技术研究 [J]. 广东林业科技, 2004, 20(1): 20-23.
- [51] Wang Y L, Gao S S, He X Y, et al. Response of total phenols, flavonoids, minerals, and amino acids of four edible fern species to four shading treatments [J]. *Peer J*, 2020, 8: e8354.
- [52] Porto G F, Anjos D V, Luna P, et al. A global overview of insect-fern interactions and its ecological trends [J]. *New Phytol*, 2025, 246(2): 747-757.
- [53] 宝益. 观赏蕨类植物病虫害防治措施 [J]. 农村实用技术, 2010, 13(5): 52-53.
- [54] 崔会平. 观赏蕨类植物的主要病虫害与防治 [J]. 中国花卉园艺, 2005, 5(6): 2.
- [55] 鸟巢蕨常规管理及病虫害解决方案 [J]. 吉林蔬菜, 2014, 41(8): 43.
- [56] 吴依琳, 马洪娜, 檀龙颜. 钙离子胁迫对榆蕨孢子体叶的影响 [J]. 现代农业科技, 2023, 52(6): 75-78.
- [57] 吴依琳, 李慧, 马洪娜, 等. 榆蕨根茎响应钙胁迫的差异表达代谢物分析 [J]. 广西植物, 2024, 44(3): 531-540.
- [58] Wu Y L, Ma H N, Ma S S, et al. Physiological, proteomic and metabolomic analysis provide insights into Ca^{2+} tolerance in *Drynaria roosii* leaves [J]. *Plant Stress*, 2023, 7: 100132.
- [59] 邱道寿, 罗永坚, 李长发, 等. 骨碎补大棚栽培品与野生品的广靶代谢组学比较分析 [J]. 广东农业科学,

- 2024, 51(5): 30-43.
- [60] Nadal M, Brodribb T J, Fernández-Marín B, et al. Differences in biochemical, gas exchange and hydraulic response to water stress in desiccation tolerant and sensitive fronds of the fern *Anemia caffrorum* [J]. *New Phytol*, 2021, 231(4): 1415-1430.
- [61] Liang Q Y, Dun B C, Li L B, et al. Metabolomic and transcriptomic responses of *Adiantum* (*Adiantum nelumboides*) leaves under drought, half-waterlogging, and rewater conditions [J]. *Front Genet*, 2023, 14: 1113470.
- [62] Chen X Z, Aaron Hogan J, Wang C P, et al. Responses of a common tropical epiphyte, *Asplenium nidus*, to changes in water and nutrient availability [J]. *AoB Plants*, 2023, 15(6): plad076.
- [63] 杨凡荣, 邹大维, 杨从武, 等. 黔东南产骨碎补品质分析及产地加工对柚皮苷含量影响研究 [J]. 山东化工, 2024, 53(13): 188-191.
- [64] 孔畅. 骨碎补趁鲜炮制与质量控制研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2023.
- [65] 崔婷, 方朝缵, 田甜, 等. 基于 HPLC 指纹图谱与多成分含量测定的骨碎补不同炮制品差异性研究 [J]. 中药材, 2021, 44(3): 580-585.
- [66] 杨润, 王亮, 谢宇, 等. 不同加工方法对骨碎补质量影响研究 [J]. 亚太传统医药, 2020, 16(3): 55-59.
- [67] 赵敏杰, 徐钢, 鞠成国, 等. 狗脊蒸后切与切后蒸工艺的比较 [J]. 中药实验方剂学杂志, 2014, 20(19): 8-11.
- [68] 白桐菲. 狗脊及炮制品化学成分研究 [D]. 沈阳: 辽宁中医药大学, 2008.
- [69] 杨琳, 王兴海, 程虎印, 等. 海金沙本草考证 [J]. 陕西中医药大学学报, 2021, 44(1): 55-62.
- [70] 黄勤挽, 齐红艺, 刘蕾, 等. 绵马贯众饮片“火力”与“火候”的探讨 [A] // 中华中医药学会中药炮制分会学术会议论文集 [C]. 北京: 中华中医药学会, 2004: 70-76.
- [71] 胡伟杰. 壮腰健肾丸质量标准提高研究 [D]. 广州: 广东药科大学, 2016.
- [72] 冯斌, 陈婷, 贾一凡. 跳骨片中骨碎补、枳壳的鉴别与含量测定研究 [J]. 辽宁中医杂志, 2025, 52(1): 126-128.
- [73] 费占德. 祁连山东段野生掌叶铁线蕨引种盆栽技术 [J]. 西北园艺, 2025, 38(5): 31-33.

[责任编辑 时圣明]