

陈东亮, 钟 楚, 林 阳. 药用植物穿心莲种质资源、育种及栽培研究进展[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(21): 34–40.

doi: 10. 15889/j. issn. 1002–1302. 2020. 21. 006

药用植物穿心莲种质资源、育种及栽培研究进展

陈东亮, 钟 楚, 林 阳

(广西壮族自治区药用植物园/广西药用资源保护与遗传改良重点实验室, 广西南宁 530023)

摘要:穿心莲是一种重要的药用植物, 全株可入药, 具有清热解毒、凉血、消肿等功效。近年来, 市场对穿心莲需求量大幅增长, 而遗传背景单一、地理分布狭窄及野生种质资源生境的破坏限制了穿心莲种质多样性, 致使优良新品种选育滞后, 加之农家品种自交退化, 严重阻碍了穿心莲规模化种植, 导致穿心莲药材市场供不应求。笔者认为, 可在种质资源收集保存的基础上, 通过种内杂交、诱变、小孢子培养及原生质体融合等生物学手段进行种质资源创新, 扩大种质资源库, 创造更多供选择的特殊变异基因基础, 提高穿心莲种质资源遗传多样性; 选择地理来源广泛、亲缘关系较远的种质为亲本, 进行单交、复交、多交等多种方式的杂交育种, 充分利用杂种优势。此外, 可有针对性地选育一些分支起点高、适宜机收的品种, 尝试机械化播种、机械化采收, 提高药用植物穿心莲生产效率。

关键词:穿心莲; 种质资源; 育种; 栽培; 研究进展

中图分类号:S567. 21+9. 01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2020)21–0034–06

穿心莲 [*Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees] 别称榄核莲、一见喜等, 为爵床科一年生草本植物, 全草可入药, 具有清热解毒、凉血、消肿等功能, 用于治疗感冒发热、咽喉肿痛、口舌生疮、顿咳劳嗽、泄泻痢疾、热淋涩痛、痈肿疮疡、蛇虫咬伤等, 主要药用成分为穿心莲内酯^[1]。穿心莲喜高温、湿润、向阳的生长环境, 不耐旱、怕涝, 生长地多为地势平坦、土壤肥沃、排水良好的沙质壤土, 且多为中性偏酸土壤。它是雌雄同株的自花传粉植物, 茎高 50~80 cm, 4 棱, 下部多分枝, 节膨大; 叶卵状矩圆形至矩圆状披针形, 长 4~8 cm, 宽 1.0~2.5 cm, 顶端略钝; 花序轴上叶较小, 总状花序顶生和腋生, 集成大型圆锥花序。我国福建省、广东省、海南省、广西壮族自治区、云南省常见栽培, 江苏省、陕西省亦有引种; 原产地可能在南亚, 澳大利亚也有栽培^[2], 且在這些国家多为野生种^[3]。

我国野生资源极其少见, 商品药材 99% 以上来源于栽培种, 但由于各地的地理环境、水土、气候及生产管理等情况不同, 以及长期的人工栽培, 导致穿心莲基因变异、分离、品种退化, 甚至出现明显分

化现象^[3–4]。随着对穿心莲需求量的大幅增长, 其栽培技术粗放、良种选育滞后、单位面积产量不高、资源状况不清等问题日渐凸显, 制约了穿心莲相关产业的发展。因此, 提高穿心莲种质资源利用效率, 培育出能满足市场需求的优良穿心莲新品种, 并实现标准化、规模化栽培是解决这一问题的关键。本文综述国内外穿心莲种质资源分布现状、品种选育及栽培技术等方面的研究进展, 简要评述我国穿心莲种质资源利用与规模化种植中存在的问题, 对研究发展方向提出了展望, 以期为我国穿心莲种质资源、良种选育、规模化栽培技术的开发研究提供参考。

1 穿心莲种质资源概况

1.1 国外穿心莲种质资源分布及现状

穿心莲全球地理分布广泛, 从印度、斯里兰卡、东南亚、中国、美洲和西印度群岛到印度洋的圣诞岛均有分布^[5–7]。南印度和斯里兰卡可能代表了穿心莲的起源和多样性中心, 因为这些地区都有当地的植物种群^[8–9]。随后, 穿心莲被引种到尼日利亚、菲律宾、越南、缅甸、泰国、文莱、马来西亚、爪哇岛和西印度群岛如牙买加、巴巴多斯、巴哈马等拉丁美洲国家, 以及美洲热带地方^[10–11]。穿心莲在印度主要分布在恰蒂斯加尔邦、奥里萨邦、马哈拉托特拉邦、阿萨姆邦、孟加拉西部、卡纳塔克邦、喀拉拉邦、泰米尔纳德邦等地^[12–13], 大多生长在平原、山

收稿日期: 2020–02–19

基金项目: 国家中药材产业技术体系建设项目(编号: CARS–21); 广西创新驱动科技发展项目(编号: 桂科 AA18242040); 广西科技计划(编号: 桂科 AD17129044)。

作者简介: 陈东亮(1989—), 男, 陕西咸阳人, 硕士, 助理研究员, 从事药用植物种质资源及育种研究。E-mail: 535270356@qq.com。

丘、荒地、农场、海岸、湿地及路边。尽管穿心莲在印度分布较广,但由于长期未进行人工驯化种植,直接采挖野生种入药,加之人们对其生境的过度开发,野生穿心莲种质资源的多样性已经受到威胁^[5]。

1.2 国内穿心莲种质资源分布及现状

我国于 20 世纪 50 年代开始从东南亚引种,先后在广东省、福建省南部栽培,因其适应性强,在我国其他地方如江西省、湖南省、广西壮族自治区、四川省以及山东省、北京市、西北等地亦曾有引种。穿心莲商品药材主产于广东省、福建省、广西壮族自治区,作为中成药原料行销全国^[14]。目前,栽培穿心莲主要分布在广东省湛江市和清远市、福建省漳州市、广西壮族自治区贵港市和南宁市、四川省宜宾市,以广西壮族自治区种植面积最大,而且广西壮族自治区有专门的种子田,四川省和广东省所用穿心莲种子均来源于广西壮族自治区,而云南省自 2010 年后已无种植。主产区产量占全国穿心莲总产量的 90% 以上。栽培穿心莲多采用单作或套种模式。广东省产区所用种子均购自广西壮族自治区,广西壮族自治区虽有自己的种子田,但管理粗放,没有专门的种子采收制度和种子质量要求^[15]。我国野生穿心莲产量极少,主要分布在广西壮族自治区、海南省等偏远山区海拔 500 m 以下的疏林中^[16-17],在云南省文山市、福建省泉州市有极少植株单株生长于人迹罕至的森林中,但由于气候以及人为因素,近乎灭绝。

2 穿心莲种质资源及育种研究进展

2.1 国外穿心莲种质资源及育种研究

在印度、斯里兰卡、泰国等国家,穿心莲种质资源包括 3 类,分别为野生种、地方栽培品种、外地引进品种,为了获得高产优质的穿心莲种质资源,相关学者从形态学、分子及化学水平对穿心莲种质资源遗传多样性进行了评价。Raina 等在印度收集了 30 份具有不同地理来源和遗传背景的穿心莲野生种质资源,进行了穿心莲内酯成分含量的多样性分析,且这些穿心莲种质资源已经保存在印度国家种质资源库^[5];Devi 等对印度本地收集的穿心莲种质资源进行了形态标记多样性分析,形态性状比较表明穿心莲具有较大的遗传变异^[18-21]。这将为穿心莲杂交育种的亲本选择提供依据。Devi 等一致认为,植株干质量在基因型和表现型上均存在较大变异^[18,20]。Devi 认为,植株干质量和鲜质量、株高呈

显著正相关^[18]。Sharma 等分析了 20 份穿心莲种质的遗传力和遗传进度,认为遗传力穿心莲内酯含量 > 单株鲜质量 > 单株干质量,而遗传进度则为单株干质量 > 单株鲜质量 > 穿心莲内酯含量^[22]。Surrinder 等分别用 RAPD 分子标记分析了印度各地穿心莲种质资源遗传多样性,表明来源于印度不同地区的穿心莲种质在基因型上存在丰富的遗传变异^[7,23-26]。简单序列重复区间 (ISSR)^[27]、RAPD、AFLP^[28-29]、单链构象多态性 (SSCP)、聚合酶链反应限制性片段长度多态性 (PCR-RFLP) 标记,以及 RAPD 和 SSCP^[30]、RAPD 和 RFLP^[31]、RAPD 和 ISSR^[32] 标记相结合分析结果均表明穿心莲的遗传多样性处于较低或中等水平。Tiware 等采用 AAD 标记 (RAPD 和 ISSR) 和靶基因标记 (SCOT 和 CBDP) 对 39 份采自印度不同农业生态区的穿心莲种质进行了遗传多样性研究,同时比较了这 2 种标记在遗传多样性研究中的效率,结果表明 CBDP 标记是研究穿心莲遗传多样性的较好标记^[33]。同工酶联合穿心莲内酯含量测定分析结果显示,不同种质穿心莲的同工酶谱存在中等变异,化学成分多样性水平较高^[34],Sharma 等研究认为,同时用形态标记、分子标记和生化标记分析穿心莲种质多样性及群体结构十分有效^[35],这也为不同遗传背景的种质的植物化学差异研究提供了参考。

国外研究人员对穿心莲育种也做了一些深入研究。Bhan 等研究了不同采收期 (播种后 70、100、130 d) 对 10 份穿心莲种质生物产量和穿心莲内酯含量的影响,认为在播种后 100 d 采收的生物产量和穿心莲内酯含量最高,并且筛选出 2 个穿心莲内酯含量较高的优异种质 Acc. 1 和 Acc. 9^[36]。Lattoo 等研究了 γ 射线辐射诱导穿心莲雄性不育,且蕊育性正常,并且证实这种雄性不育是由于控制花药绒毡层发育的基因发生隐性突变而造成绒毡层异常肥大,使得花粉不能正常产生,从而导致的雄性不育^[24]。这一发现对于穿心莲杂交育种具有重要意义,但未发现对该雄性不育系进一步利用的研究报道。Valdiani 等研究了不同花柱长度和杂交时间对 7 个来自马来西亚半岛穿心莲材料配合的 21 个组合杂交亲和性的影响,结果表明在 08:00—11:00 进行人工杂交效果最佳,12 mm 长的柱头和花粉的亲合力最好,杂交亲和率最高为 13.33%,认为杂交时间和适当的花柱长度可以显著提高穿心莲的杂交亲和率^[37]。此外,Valdiani 等还同时用形态标记、

RAPD 分子标记和植物生物化学标记对其 F_1 代进行了遗传多样性和杂种优势的分析,结果表明,杂交可以显著提高穿心莲种质的遗传多样性,穿心莲存在显著的杂种优势,且杂种优势主要表现单株生物产量、分支行数等农艺性状上^[37-38]。

2.2 我国穿心莲种质资源及育种研究

与国外相比,国内穿心莲种质的遗传多样性明显较低。陈元生等搜集国内穿心莲种质资源 19 份,进行种植试验和生物学性状调查^[3],结果表明,各地种植的穿心莲种子纯度不一致、混杂严重,主要存在大叶型和小叶型 2 种生态类型,不同产地的穿心莲干品质量差异显著,大叶型的茎叶平均干质量明显高于小叶型的茎叶平均干质量,说明大叶型穿心莲的产量、产值较小叶型穿心莲具有明显的优势,初步筛选出产量中上等、药用成分含量高的优良品系若干^[39]。陈蓉等利用 SRAP 和 SNP 分子标记对我国 7 个省份 13 个样地的 103 份穿心莲样品进行遗传多样性分析,认为国产各地穿心莲种质间遗传多样性较贫乏^[40]。邵艳华基于 POD、SOD、PPO、CYT、EST、CAT 6 种同工酶,从生化水平研究了不同产地穿心莲种质资源的遗传多样性,揭示了穿心莲种质资源遗传多样性水平较低的特性^[15]。同时,研究表明不同产地穿心莲种质材料间的叶绿体基因组序列没有差别,说明不同产地穿心莲种质资源的遗传多样性水平低。这与穿心莲严格的自花授粉繁殖特性、我国各地引种穿心莲种源来源单一密切相关。

国内在穿心莲育种方面才刚刚起步。苏雨苗等研究了⁶⁰Co- γ 射线辐照诱变对穿心莲植物学性状和品质性状的影响,⁶⁰Co- γ 射线辐照诱导穿心莲变异的适宜辐照剂量范围为 50~200 Gy,后续将进行优良突变单株的筛选^[41]。曾吴静探讨航天诱变对 SP1、SP2 代穿心莲生物学性状及 4 种穿心莲二萜内酯含量的影响,为选育优质、高产的穿心莲新品种提供理论基础^[42]。闫斌等以穿心莲的种子和刚萌发的成熟胚为材料,用秋水仙碱诱导处理获得了 4 株穿心莲同源四倍体无菌苗,建立了穿心莲同源四倍体的诱导与鉴定方案^[43],初步为后期穿心莲的多倍体培育和种质创新研究奠定了基础。林玉凤比较了同源四倍体与二倍体植株单株质量、有效成分穿心莲内酯和脱水穿心莲内酯含量的差异,四倍体的单株生物产量、茎叶穿心莲内酯含量均高于二倍体植株^[44]。这为选育产量高、有效成份含量

高、品质优良的穿心莲新种质提供技术支持,为穿心莲种质资源的可持续利用及规范化种植的产业化推广提供理论依据和技术基础。

3 规模化种植与栽培技术研究进展

3.1 栽培技术研究

穿心莲生产一般包括选地整地、育苗、移栽、松土追肥、病虫害防控、采收等程序。不同省份不同产地穿心莲的栽培、产销和使用情况不一样。蒋庆民等分别研究了山东省、吉林省、四川省、黑龙江省、安徽省、湖南省等地穿心莲地方性栽培技术^[45-51]。研究表明,广东省多采用直播种植,在春季 2 月下旬至 3 月上旬播种^[14]。广西壮族自治区主要的栽培方式为育苗移栽法。福建省在育苗移栽的同时亦进行直播,基本在 4 月上旬播种育苗。四川省和广西壮族自治区类似,基本采用育苗移栽,在 3 月中旬进行温床育苗,4 月开始冷床育苗。全国不同产地的穿心莲中穿心莲内酯含量差异较大,全钾含量和水分含量对穿心莲内酯的影响呈负相关^[52]。已有研究表明,富含速效磷、速效钾的土壤,更有利于穿心莲总内酯的积累^[53]。王振等研究了不同播种期对穿心莲产量及质量的影响,认为粤西主产区穿心莲规范化种植最佳播种期为 4 月初^[54]。李婷等研究了不同光温条件对穿心莲生长及药用成分的影响,认为温度为 35℃ 左右最适宜穿心莲的生长,温度过高或过低都会影响穿心莲的正常生长^[55]。适当遮阴处理有利于穿心莲的生长,也有利于其主要药用成分的提高。黄炜忠等认为,穿心莲药渣有机肥能明显提高穿心莲种植的产量、根系生长、植株高度、茎叶比及穿心莲药材的浸出物和含量等质量指标^[56]。

随着需求的不断增加,实行连作的面积越来越大。连作障碍是中药材栽培中常见的生产问题,对中药材的生长发育、产量及质量等均产生严重影响。生产上普遍认为穿心莲存在连作障碍^[57-58],在种植中通常避免重茬。李俊仁等认为,连作后的穿心莲长势良好、产量提高,连作胁迫产生的活性氧可及时被酶系统清除,连作对穿心莲的主要障碍效应表现为活性成分含量的降低^[59]。李珍等认为,添加生物炭能有效缓解穿心莲连作自毒障碍^[60]。为了提高土地的利用率,实现更大的产出,相关人员分别进行了玉米套种穿心莲^[61-63]、木薯套种穿心莲^[64]等穿心莲的套作研究,认为其在生境上可以互补。

穿心莲主要种植在我国华南地区,市场需求量近年呈现稳中递增趋势,然而穿心莲药材生产过程中一直存在生产无序、农残及重金属含量超标等问题,开展无公害种植是解决该问题的有效手段,同时也是现阶段中药材种植产业的发展方向。黄辰昊等结合穿心莲药材研究现状,建立了穿心莲药材无公害精细栽培技术体系,包括精确的栽培选地、系统的土壤改良、科学的无公害种植模式及高效的病虫害综合防治技术等,帮助解决农残及重金属含量超标等问题^[65]。邓乔华等开展了一系列穿心莲旱地绿色栽培技术的研究,这一技术对于在粤北山区丘陵坡地建设穿心莲规范化生产基地、提高穿心莲药材产量和质量具有重要的意义^[66]。

3.2 规模化种植

广东省为最早引种穿心莲的省份之一,目前主要在湛江市遂溪县洋青镇和清远市英德市大湾镇有大规模的穿心莲种植。广州白云山和记黄埔中药有限公司在这 2 个地区分别建立了面积近百亩的穿心莲 GAP 基地,从而提供其生产穿心莲中成药产品的穿心莲原料药。广西壮族自治区目前以贵港市、玉林市、南宁市、桂林市为穿心莲主产区,其中贵港为穿心莲种植面积最大的产区。广西壮族自治区穿心莲种植面积约 4 000 万 hm^2 。福建省栽培地主要分布在漳浦县、晋江市、三明市、厦门市等地。漳浦县是福建省穿心莲主产区之一,其深土镇一带积极推广穿心莲种植,并开发种植基地示范点,全县常年种植面积均为 500 ~ 600 hm^2 ,生产干品 1 500 ~ 2 000 t,年产值近 500 万元。四川宜宾市南溪区、邛崃县、自贡市荣县有一定面积的穿心莲种植,但规模不大^[14]。

4 存在的问题及建议

4.1 种质资源多样性贫乏

丰富的遗传变异是药用植物优良新品种选育的基础。种质资源是培育优良品质的遗传物质基础,药用植物育种必须以丰富的遗传资源为前提,尤其是野生亲缘植物和长期的生态适应形成的一些古老的地方品种、农家品种是长期自然选择和人工选择的产物,固有独特的优良性状和抗御自然灾害的特性,是人类宝贵财富和品种改良的宝贵资源库、基因库。它们为药用植物改良计划提供了几乎用之不尽的遗传多样性资源。综观植物育种史,凡是突破性成就的获得与关键性种质资源的发现与

利用是密不可分的。穿心莲种质资源遗传背景单一、地理分布狭窄及野生种质资源生境的破坏是穿心莲多样性的主要限制因素。针对这一问题提出以下建议:(1)加强对不同地区穿心莲原有种群的属、种、变种、类型及其近缘野生种的种质资源进行调查、搜集、保存和研究,做好遗传变异规律及多样性研究评价,摸清穿心莲的资源种类及各种繁殖方式特点,为药用植物穿心莲育种奠定资源基础。(2)在种质资源收集保存的基础上,通过种内杂交、诱变、小孢子培养及原生质体融合等生物学手段进行种质资源创新,提高穿心莲种质资源遗传多样性。

4.2 新品种选育研究落后

从国内外育种研究状况来看,穿心莲新品种选育严重滞后,甚至还未起步。大多数栽培品种为古老的农家品种,在产量和品质方面未经人工改良而直接引种栽培,导致品种严重退化,品质和产量低下。穿心莲栽培时间短,种质资源匮乏严重阻碍了穿心莲育种研究的进程。穿心莲为严格自花传粉植物,自花传粉常被认为是一种原始的传粉方式,植物如果长期自花传粉,必定会引起后代生活力逐渐衰退,这种自交衰退在环境胁迫时尤甚^[67]。因此,要培育出高产、优质、高抗逆的穿心莲优异品种,必须从拓宽其遗传背景入手,结合分子标记辅助育种技术,选择地理来源广泛、亲缘关系较远的种质为亲本,进行单交、复交、多交等多种方式的杂交育种;可尝试性将单株选择和集团选择相结合,实施药用植物群体遗传改良策略;加强多倍体育种、航天、辐射及化学诱变、基因工程等现代育种技术的应用,以提高穿心莲群体的变异率,扩大种质资源库,创造更多供选择的特殊变异基因基础。

4.3 规模化种植技术研究滞后

穿心莲在规模化种植技术研究方面还存在很多空白。目前国内穿心莲主产区均采取粗放式的管理方法,规模化、集约化程度相对较低。分散种植模式在一定程度上增加了优良品种和优质高产栽培技术的推广难度;分散种植提高了生产成本和运输成本,增加了实现机械化、自动化的难度。穿心莲种植规模化、集约化有利于现代科学技术在穿心莲种植规程中的应用,有利于规范化栽培技术的推广,有利于穿心莲质量的稳定与提高,因此,规模化、集约化技术研究是穿心莲种植业发展的必由之路,可在规模化、集约化种植的基础上,有针对性地选育一些分支起点高、适宜机收的品种,尝试机械

化播种,机械化采收。

穿心莲种植过程中,经常受到田间杂草的危害。多年来穿心莲田间杂草防除一般采用人工拔草,但人工拔草费时、费工且除草效果差。目前还没有一种专门用于穿心莲的田间除草剂,而其他作物的除草剂对穿心莲的安全性无法保障。因此,开发出专门针对穿心莲田间杂草防除的除草剂,对提高穿心莲的种植效益具有重要意义。

5 展望

穿心莲市场需求量近年呈现稳中递增趋势。在穿心莲的栽培生产中,不规范的栽培方式和种质来源单一等问题造成了栽培中种质混杂、品种退化、品质和产量下降等一系列问题。要实现规模化、集约化种植,进一步提高穿心莲的生产效率、发展中药材生产质量管理规范(GAP)基地,都需要在理清当前栽培品种现状和野生资源分布的基础上进一步开展引种驯化、选种以及杂交育种等工作获得优良种质。由于我国穿心莲基础研究还很薄弱,所以在很长一段时间内,我国穿心莲育种工作主要还要依靠常规育种。系统选育和杂交育种培育出的新品种遗传性状相对稳定,安全性高,但培育周期过长,少则 4~5 年,多则要 10 年以上,从而成为常规育种的瓶颈。目前,将常规育种与现代生物技术育种相结合已成为药用植物育种发展的新趋势。它们之间可以相互促进,弥补缺陷。虽然穿心莲育种研究工作任重而道远,但我们只要脚踏实地,攻破系列技术难关,坚持将各种育种技术相结合,必将推进我国穿心莲产业的发展。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015.
- [2] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [3] 陈元生,罗战勇,郭尚志,等. 穿心莲种质资源的评价与利用初报[J]. 广东农业科学,2005(1):5-7.
- [4] 蔡磊,肖祖财,吴海洋,等. 不同引种地、不同播种方式及播种量对穿心莲产量的影响[J]. 安徽农业科学,2020,48(7):193-194,197.
- [5] Raina A P, Gupta V, Sivaraj N, et al. *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Wall. ex Nees (kalmegh), a traditional hepatoprotective drug from India[J]. Genetic Resources and Crop Evolution,2013,60(3):1181-1189.
- [6] Kumar A, Dora J, Singh A, et al. A review on king of bitter

- (kalmegh)[J]. International Journal of Research in Pharmacy and Chemistry,2012,2(1):116-124.
- [7] Surrinder K L, Rekha S D, Shabnam K, et al. Comparative analysis of genetic diversity using molecular and morphometric markers in *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees[J]. Genetic Resources and Crop Evolution,2008,55(1):33-43.
- [8] Mishra S K, Sangwan N S, Sangwan R S. *Andrographis paniculata* (kalmegh): a review[J]. Pharmacognosy Review,2007,1(2):283-298.
- [9] Bhat V S, Nanavati D D. *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Wall. ex Nees(kalmegh)[J]. Indian Drugs,1977(15):187-190.
- [10] Ridley H N. The flora of the malay peninsula[J]. Nature,1923,111(2775):6-7.
- [11] Fasolafi R, Ayodele A E, Odetola A A, et al. Foliar epidermal morphology and anti-diabetic property of *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Wall. ex Nees[J]. Ethnobot Leaflets,2010(14):593-598.
- [12] Prajapati N D, Purohit S S, Sharma A K, et al. A handbook of medicinal plants[M]. Jodhpur:Agrobios,2003.
- [13] Neeraja C, Krishna P H, Reddy C S, et al. Distribution of *Andrographis* species in different districts of andhra pradesh[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,India Section B: Biological Sciences,2015,85(2):601-606.
- [14] 邵艳华,王建刚,吴向维,等. 穿心莲种质资源调查研究[J]. 中国现代中药,2013,15(2):112-117.
- [15] 邵艳华. 穿心莲种质资源及其质量评价研究[D]. 广州:广州中医药大学,2015.
- [16] 闫婕,卫莹芳,胡慧玲,等. 穿心莲药用植物资源调查[J]. 时珍国医国药,2013,24(8):1997-1999.
- [17] 黎明,陈光宙,陈道运,等. 海南穿心莲野生资源调查初报[J]. 安徽农业科学,2013,41(15):6654,6662.
- [18] Devi H. Genetic Diversity analysis of indigenous germplasm accession of kalmegh (*Andrographis paniculata*) [D]. Raipur: College of Agriculture,2016.
- [19] Pandey A K, Mandal A K. Variation in morphological characteristics and andrographolide content in *Andrographis paniculata* of central India[J]. Iranica Journal of Energy & Environment,2010,1(2):165-169.
- [20] Kumar A, Semwal D P, Bhatt K C, et al. Characterization of indigenous germplasm of *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Wall. ex Nees for variability analysis[J]. Medicinal Plants,2014,6(4):277.
- [21] Saad M S, Chia S H, Melaku A, et al. Genetic diversity of Hemptu Bumi (*Andrographis panieulata*) germplasm in peninsular Malaysia as revealed by morphological character's variability [C]//National conference on agrobiodiversity conservation and sustainable utilization. Sarawak of Malaysia,2006.
- [22] Sharma M M, Singh O P. Heritability and genetic advance for different morphological and quality traits in germplasm of kalmegh (*Andrographis paniculata*) [J]. Advance in Plant Sciences,2012,25(2):681-683.

- [23] Padmesh P, Sabu K K, Seeni S, et al. The use of RAPD in assessing genetic variability in *Andrographis paniculata* Nees, a hepatoprotective drug[J]. Current science, 1999, 76: 833 – 835.
- [24] Lattoo S K, Khan S, Dhar A K, et al. Genetics and mechanism of induced male sterility in *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees and its significance[J]. Current Science, 2006, 91(4): 515 – 519.
- [25] Ghosh B K, Mandal A, Datta A K, et al. RAPD analysis in *Andrographis paniculata* (Burm. F.) Nees plant types[J]. International Journal of Research in Ayurveda & Pharmacy, 2014, 5(1): 84 – 88.
- [26] Minz P L, Singh N, Mishra S K, et al. Genetic variability among *Andrographis paniculata* in Chhattisgarh region assessed by RAPD markers[J]. African Journal of Biotechnology, 2013, 12(39): 5714 – 5722.
- [27] Jebiril A A, Saad M S, Stanslas J, et al. Genetic variation and antitumor activity of *Andrographis paniculata* [C]//Fifth National Genetic Congress. Kuala Lumpur, Malaysia, 2003.
- [28] Wijarat P, Keeratinijakal V, Toojinda T, et al. Genetic diversity and inbreeder species of *Andrographis paniculata* (Burm. F.) Nees by randomly amplified polymorphic deoxyribonucleic acid (RAPD) and floral architecture analysis[J]. Plant Breed Crop Science, 2011, 3(12): 327 – 334.
- [29] Wijarat P. Genetic evaluation of *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees revealed by SSR, AFLP and RAPD markers[J]. Journal of Medicinal Plants Research, 2012, 6(14): 2777 – 2788.
- [30] Maison T, Volkaert H, Boonprakob U, et al. Genetic diversity of *Andrographis paniculata* Wall. ex Nees as revealed by morphological characters and molecular markers[J]. Agriculture and Natural Resources, 2005, 39(3): 388 – 399.
- [31] Sharma S N, Sinha R K, Sharma D K, et al. Assessment of intra-specific variability at morphological, molecular and biochemical level of *Andrographis paniculata* (kalmegh) [J]. Current Science, 2009, 96(3): 402 – 408.
- [32] Sakuanrungrsirikul S, Jetana A, Buddanoi P, et al. Intraspecific variability assessment of *Andrographis paniculata* collections using molecular markers[J]. Acta Horticulturae, 2008, 786: 283 – 286.
- [33] Tiwari G, Rakesh S, Singh N, et al. Study of arbitrarily amplified (RAPD and ISSR) and gene targeted (Scot and CDBP) markers for genetic diversity and population structure in kalmegh [*Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees][J]. Industrial Crops and Products, 2016, 86: 1 – 11.
- [34] Sabu K K, Padmesh P, Seeni S. Intraspecific variation in active principal content and isozymes of *Andrographis paniculata* a traditional hepatoprotective medicinal herb India[J]. Journal of Medicinal Aromat Plant Science, 2001, 23: 637 – 647.
- [35] Sharma S N, Sinha R K, Sharma D K, et al. Assessment of intra-specific variability at morphological, molecular and biochemical level of *Andrographis paniculata* (kalmegh) [J]. Current Science, 2009, 96(3): 402 – 408.
- [36] Bhan M K, Dhar A K, Khan S, et al. Screening and optimization of *Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees for total andrographolide content, yield and its components[J]. Scientia Horticulturae, 2006, 107(4): 386 – 391.
- [37] Valdiani A, Abdul Kadir M, Said S M, et al. Intraspecific crossability in *Andrographis paniculata* Nees; a barrier against breeding of the species [J]. Scientific World Journal, 2012(4): 297545.
- [38] Valdiani A, Kadir M, Saad M S, et al. Intra-specific hybridization: generator of genetic diversification and heterosis in *Andrographis paniculata* Nees. A bridge from extinction to survival[J]. Gene, 2012, 505(1): 23 – 36.
- [39] 陈元生, 王振华, 罗战勇, 等. 穿心莲优良种质筛选研究[J]. 现代中药研究与实践, 2006, 20(4): 3 – 7.
- [40] 陈 蓉, 王晓云, 宋毓宁, 等. 基于 SRAP 和 SNP 分子标记的国内穿心莲遗传多样性分析[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(23): 4559 – 4565.
- [41] 苏雨苗, 刘潇晗, 杜 勤, 等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照诱导穿心莲 M₁ 代群体变异及聚类分析[J]. 中国药房, 2019, 30(24): 3399 – 3404.
- [42] 曾吴静. 航天诱变穿心莲 SP1 – SP2 代农艺性状变异研究[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2019.
- [43] 闫 斌, 潘超美, 何洁, 等. 穿心莲同源四倍体的诱导与鉴定研究[J]. 时珍国医国药, 2016, 27(6): 1485 – 1488.
- [44] 林玉凤. 穿心莲同源四倍体诱导、鉴别及有效成分含量测定研究[D]. 广州: 广州中医药大学, 2016.
- [45] 蒋庆民, 蒋学杰. 穿心莲标准化种植技术[J]. 特种经济动植物, 2017, 20(12): 26.
- [46] 刘丽敏, 唐宝志. 穿心莲栽培管理[J]. 特种经济动植物, 2013(7): 44 – 45.
- [47] 聂自强, 周 萍. 穿心莲优质高产栽培技术[J]. 四川农业科技, 2007(6): 38.
- [48] 刘 丹, 孙雪芳, 陈鑫, 等. 牡丹江地区穿心莲药用价值与栽培管理技术[J]. 甘肃农业科技, 2016(4): 71 – 73.
- [49] 朱玉宝. 药用植物穿心莲栽培技术[J]. 中国林副特产, 2012(3): 60 – 61.
- [50] 张敬君. 穿心莲栽培管理技术[J]. 现代农业科技, 2007(17): 45.
- [51] 游国均. 提高湖南地产穿心莲质量的栽培技术[J]. 时珍国医国药, 2007, 18(6): 1541 – 1542.
- [52] 陈 蓉. 基于遗传与环境的穿心莲品质研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2015.
- [53] 邵艳华, 吴向维, 王建刚, 等. 不同产地土壤的理化性质对穿心莲质量的影响[J]. 华西药学杂志, 2014, 29(2): 167 – 170.
- [54] 王 振, 周 鹏, 王章伟, 等. 不同播种期对穿心莲产量及质量的影响研究[J]. 江西中医药, 2018, 49(10): 62 – 64.
- [55] 李 婷, 张向军, 杨 彬, 等. 不同光温条件对穿心莲生长及药用成分的影响[J]. 北方园艺, 2016(14): 164 – 166.
- [56] 黄炜忠, 丘迅华, 张显明, 等. 穿心莲药渣有机肥在穿心莲种植中的应用研究[J]. 广东化工, 2016, 43(12): 76 – 78.
- [57] 陈蔚文, 徐鸿华. 岭南道地药材研究[M]. 广州: 广东科技出版社, 2007: 114.
- [58] 曾令杰, 刘 意, 褚晨亮, 等. 穿心莲化感作用与 GAP 栽培规范

王琳,魏启舜,周影,等. 细菌对废弃羽毛的降解及在可持续农业中应用[J]. 江苏农业科学,2020,48(21):40-45.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.21.007

细菌对废弃羽毛的降解及在可持续农业中应用

王琳,魏启舜,周影,张培,郭成宝

(江苏丘陵地区南京农业科学研究所,江苏南京 210046)

摘要:羽毛质量约占鸡总质量的 5%~7%,已成为家禽屠宰的主要废弃物。羽毛中 90% 以上的成分为角蛋白,可作多肽、氨基酸类有机肥来源。利用传统理化方法降解羽毛能耗大,且可造成氨基酸结构破坏。相比之下,利用角蛋白降解细菌降解羽毛高效节能、反应条件温和,具有广阔的市场前景。本文着重介绍角蛋白降解细菌种类、产酶特点以及角蛋白降解机制,角蛋白降解产物及降解细菌对植物具有抗病促生作用,废弃羽毛的生物降解及肥料化利用可促进有机农业发展、改善农业生态系统和提高土壤生物活性。

关键词:生物肥料;羽毛角蛋白;角蛋白降解菌;有机肥料

中图分类号: X172;X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)21-0040-06

我国目前已成为世界上第二大家禽生产国,2018 年我国家禽出栏量达到 130 亿只,根据推算产生的干羽毛量约为 130 万 t,其中江苏省家禽出栏量达 6.420 1 亿只,产生的干羽毛量约为 6.4 万 t,为避免禽流感等病害危害人们健康,全国已基本实现家禽的集中屠宰,屠宰产生的以羽毛为主的角蛋白类废弃物产量越来越大,目前只有少量优质的羽毛被服装、工艺品等行业利用,或者经理化方法处理后添加到饲料中,大多数羽毛均被废弃,而角蛋白在自然环境下降解缓慢,有时甚至造成局部的环境污染。角蛋白被认为是一种除了纤维素和几丁质

外第三大蕴藏丰富高分子化合物的资源^[1]。羽毛角蛋白含量达到 90% 左右,还包含钾、钙、镁、铁、锌、铜等矿物质,是很好的蛋白质与氨基酸来源。

角蛋白有多种存在形式,包括蹄甲、鱼鳞、角、动物皮毛等,由于角蛋白结构中含有较多的二硫键且高度交联,结构非常稳定,不易在环境中降解,成为固体废物管理的一部分。传统的角蛋白处理工艺包括高温、高压和酸碱水解等,这不仅能耗大,成本高,会对环境造成二次污染,而且还会破坏部分氨基酸,从而影响角蛋白的利用率。利用产角蛋白酶的微生物或角蛋白酶对富含角蛋白的有机废弃物进行降解是一种效率高、成本低和环境友好的方式,通过生物转化羽毛废弃物形成的营养均衡易消化物质中含有氨基酸、多肽和铵离子,既可以作为动物饲料又能作为生物肥料原料。细菌产生的角蛋白酶已经在皮革工业中有了一定应用,利用产角蛋白酶的细菌对角蛋白废弃物进行降解在有机肥料产业中具有相当大的应用潜力。

收稿日期:2020-02-21

基金项目:江苏省科技项目现代农业-重点及面上项目(编号:BE2019301);国家自然科学基金青年科学基金(编号:31700099)。

作者简介:王琳(1980—),女,江苏泰州人,博士,副研究员,主要从事农业废弃物资源化利用研究。E-mail: wanglin0421nj@163.com。

通信作者:郭成宝,硕士,研究员,主要从事农业废弃物资源化利用研究。E-mail: gchengbao@163.com。

的研究[J]. 现代中药研究与实践,2011,25(3):5-7.

[59]李俊仁,陈秀珍,汤小婷,等. 连作对穿心莲生长及药材质量的影响[J]. 中药新药与临床药理,2017,28(6):797-801.

[60]李珍,陈义三,陈荣珠,等. 生物炭对连作穿心莲生长的影响[J]. 福建热作科技,2019,44(4):21-24,27.

[61]雷俊勇. 玉米套种穿心莲栽培管理技术[J]. 现代农业科技,2016(12):40-41.

[62]蒙国洲. 横州镇玉米间套种穿心莲效益分析[J]. 农业与技术,2016,36(10):137-137.

[63]李寿贤. 玉米套种穿心莲高产增效栽培技术[J]. 南方农业,

2015,9(30):22-23.

[64]陆柳英,李灿荣,曾文丹,等. 木薯间作套种穿心莲高效栽培技术[J]. 热带农业科学,2016,36(2):11-13,27.

[65]黄辰昊,薛建平,王振,等. 南药大品种穿心莲无公害栽培技术体系探讨[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2018,20(11):2095-2100.

[66]邓乔华,徐友阳,丘金裕,等. 穿心莲旱地绿色栽培技术的研究[J]. 现代中药研究与实践,2011,25(6):13-14.

[67]杨期和,杨和生,李姣清. 植物白花授粉的类型及其适应性进化[J]. 嘉应学院学报,2011,29(8):55-64.