

穿心莲现代栽培技术与分子生药学进展

石君静¹ 林剡² 胡晓玲³ 陆有文⁴ 陈苗^{1,*}

1 广东海洋大学滨海农业学院

2 雷州市农业技术推广中心

3 廉江市农业技术推广中心

4 遂溪县植物检疫与病虫害测报站

DOI:10.32629/fcmr.v8i2.20945

[摘要] 穿心莲是我国传统大宗中药材,主要活性成分穿心莲内酯具有抗炎、抗菌、抗病毒等多种药理活性。近年来,随着现代生物技术的快速发展,穿心莲研究在栽培技术和分子生药学两个方向取得了显著进展。本文系统梳理了穿心莲在现代栽培技术(包括栽培生理生态、栽培模式创新)和分子生药学(包括种质资源分子鉴定、次生代谢调控机制)等方面的研究进展,分析了当前研究存在的主要问题,并对未来研究方向进行了展望。

[关键词] 穿心莲; 穿心莲内酯; 现代栽培技术; 分子生药学; 次生代谢

中图分类号: S316 文献标识码: A

Modern Cultivation Techniques and Molecular Phytopharmacology Advances of *Andrographis paniculata*

Junjing Shi¹ Gui Lin² Xiaoling Hu³ Youwen Lu⁴ Miao Chen^{1,*}

1 College of Coastal Agriculture Sciences, Guangdong Ocean University

2 Leizhou Agricultural Technology Extension Center

3 Lianjiang Agricultural Technology Extension Center

4 Sui County Plant Quarantine and Pest Monitoring Station

[Abstract] *Andrographis paniculata* is a major traditional Chinese medicinal herb in China, with andrographolide as its primary active component, exhibiting various pharmacological activities such as anti-inflammatory, antibacterial, and antiviral effects. In recent years, with the rapid advancement of modern biotechnology, research on *Andrographis paniculata* has made significant progress in two directions: cultivation techniques and molecular phytopharmacology. This paper systematically reviews the research progress in modern cultivation techniques (including cultivation physiology, ecology, and innovative cultivation models) and molecular phytopharmacology (covering molecular identification of germplasm resources and secondary metabolism regulation mechanisms), analyzes the main issues in current research, and provides prospects for future research directions.

[Key words] *Andrographis paniculata*; Andrographolide; Modern cultivation techniques; Molecular pharmacology; secondary metabolism

引言

穿心莲为爵床科穿心莲属一年生草本植物,是我国传统大宗中药材,具有清热解毒、凉血消肿、保肝利胆等功效,临床广泛应用于感冒发热、咽喉肿痛、痢疾肠炎等症的治疗^[1]。现代药理研究已证实其具有抗炎、抗菌、抗病毒、抗肿瘤、免疫调节等多种生物活性^[2],主要活性成分为二萜内酯类化合物,包括穿心莲内酯、新穿心莲内酯、14-去氧穿心莲内酯和脱水穿心莲内酯等^[3]。

近年来,随着分子生物学、基因组学、代谢组学等现代生

物技术的发展,穿心莲研究在栽培技术和分子生药学两个主要方向取得了显著进展。在栽培技术方面,研究者从干旱胁迫响应、营养调控、土壤生物调控、间作套种模式等角度深入探讨了规范化生产技术;在分子生药学方面,种质资源分子鉴定、遗传多样性分析、有效成分生物合成途径解析、转录调控机制研究等方面成果丰硕。本文系统评述穿心莲在现代栽培技术和分子生药学领域的研究进展,分析存在的问题,并对未来研究方向进行展望。

1 穿心莲现代栽培技术研究进展

现代栽培技术研究是穿心莲规范化生产的基础,涉及栽培生理生态、栽培模式创新等多个方面。近年来,研究者从环境因子响应、营养调控、间作套种等角度深入探讨了提高穿心莲产量和品质的关键技术。

1.1 栽培生理生态研究

栽培生理与生态适应性研究是穿心莲规范化生产的基础。近年来,研究者从干旱胁迫、营养调控、土壤生物等多个角度深入探讨了穿心莲对环境因子的响应机制。

干旱胁迫是穿心莲生产中的主要非生物限制因子。刘叶等^[8]以中国主产区4个优良种质为材料,系统研究了干旱胁迫下的生长、生理和化学成分响应。结果表明,不同种质抗旱性存在显著差异,F种质在轻度干旱下四种穿心莲内酯类成分含量均较正常组升高,抗旱能力排序为F>I>H>A。Yodphet等^[9]从蛋白质组学角度研究了微生物生物肥料对干旱胁迫的缓解效应,发现施用生物肥料后叶片相对含水量显著高于对照(78.75%vs22.37%),RuBisCO表达量提高2.48倍,穿心莲内酯含量显著增加。

营养元素的精准调控是提升穿心莲品质的关键。Jian等^[10]研究发现高硫处理(2.4mM)显著增加植株生物量和穿心莲内酯含量,其机制涉及MEP途径基因(ApDXS、ApDXR、ApHDS、ApHDR、ApGGPS)的上调表达。Singh等^[11]研究了CO₂浓度升高与氮水平的交互效应,发现中等氮水平的药用成分含量更高。在土壤生物调控方面,张明等^[12]研究发现复合微生物菌肥(7.5g/kg土)使穿心莲内酯较对照提高26.13%,同时改善了根际微生物群落结构。洪彪等^[13]研究了连作条件下施用竹炭对穿心莲品质及土壤细菌种群结构的影响,为缓解连作障碍提供了新思路。

1.2 栽培模式创新

穿心莲的栽培模式创新是近年来研究的新动向,特别是间作套种系统的研发,为提高土地利用效率、增加农民收入提供了可行途径。

Mohapatra等^[19,20]研究了槟榔间作系统中不同药用植物的种植制度和养分管理,发现槟榔+穿心莲+圣罗勒系统具有最高的系统生产力(91.35q/ha),槟榔+南非醉茄+蛇根木系统投入产出比最高。这些研究表明,穿心莲作为间作作物具有良好的生态适应性和经济效益。在病虫害防控方面,Kamil等^[21]首次报道了Sclerotiumdelphinii引起穿心莲茎腐病,为病害诊断和防控提供了依据。Elaiyabharathi等^[22]发现穿心莲叶片提取物对辣椒蓟马具有中等毒性(LC₅₀为11.14%),为资源化利用开辟了新途径。

栽培模式创新研究为穿心莲产业的可持续发展提供了新思路。间作套种系统不仅能提高土地利用效率,还能改善农田生态环境,增加农民收入。未来应进一步探索穿心莲与不同作物的最佳搭配模式,建立生态高效的复合种植体系。

2 穿心莲分子生药学研究进展

分子生药学以分子生物学和中药学为基础,旨在研究药用植物的次生代谢产物合成和分子调控功能,为解决中药材品质

不稳定等产业瓶颈问题提供了关键技术手段。近年来,穿心莲分子生药学研究在种质资源鉴定和次生代谢调控机制解析方面取得了显著进展。

在种质资源分子鉴定方面,DNA条形码技术为穿心莲及其近缘种的准确鉴别提供了可靠工具。Hiremath等^[5]利用ISSR标记对10份穿心莲种质进行分子多样性分析,获得202个扩增位点,其中多态性位点140个。基于UPGMA的聚类分析将10份种质分为两大类群,但形态学标记与ISSR分子标记之间存在负相关,提示种质评价中不宜过度依赖单一标记。该研究化学型分析显示穿心莲内酯含量范围为2.29%~3.59%,种质间化学成分变异显著。王雨霞等^[6]对广东湛江和广西贵港两个主产区的穿心莲种质进行调查,发现单株生物量(100~624g)和穿心莲内酯含量(1.54~6.59mg/g)均呈现较大变异,且产量性状与药用成分含量呈显著负相关,揭示了穿心莲“高产”与“优质”之间的矛盾。

多组学技术的综合应用是近年来穿心莲分子生药学研究的重要特征。孙铭阳等^[4]进行了UV-C处理穿心莲转录组分析,挖掘穿心莲内酯合成相关基因。Zhang等^[7]建立了ChIP-seq方案鉴定全基因组H3K27me3富集区域,为研究表观遗传调控次生代谢提供了技术平台。当前研究仍存在碎片化、功能验证滞后、与育种实践脱节等问题,未来应加强多组学数据整合,建立系统调控网络,推动分子标记辅助选择育种。

2.1 种质资源分子鉴定与评价

种质资源的化学型分析是品质评价的重要内容。分子标记技术在穿心莲种质资源评价中发挥着越来越重要的作用。通过DNA条形码、ISSR、SSR等分子标记,可以实现种质的快速准确鉴定,分析遗传多样性和亲缘关系,为优良种质的筛选和保护提供科学依据。

近年来,穿心莲种质资源的分子鉴定与评价研究逐步深入。在种质鉴定方面,基于ITS2序列的DNA条形码技术已成为快速鉴别穿心莲及其近缘种的标准方法,结合叶绿体基因psbA-trnH和matK序列可有效解决种质真伪鉴定难题。在种质评价方面,SRAP和SNP分子标记被广泛应用于遗传多样性分析,揭示不同产区种质的遗传分化规律,为种质资源的科学分类管理提供依据。同时,研究人员通过改良CTAB法建立了标准化的DNA提取流程,并针对主要产区种质开展产量性状与活性成分综合评价,筛选出大叶型等高产优质核心种质,初步构建了表型与分子标记相结合的综合评价体系,为穿心莲种质资源的精准鉴定和有效保护奠定了技术基础。

2.2 次生代谢调控机制研究

穿心莲内酯等二萜内酯类化合物的生物合成与调控是穿心莲研究的核心科学问题。近年来,研究者从结构基因克隆、转录因子调控等多个层面深入解析了次生代谢的分子机制,逐步构建了穿心莲内酯生物合成的调控网络。

结构基因的克隆与功能鉴定是途径解析的基础。王晓云等^[14]克隆了穿心莲甲羟戊酸5-焦磷酸脱羧酶(MDC)基因,该基因

是MVA途径的关键酶,为穿心莲内酯生物合成提供IPP前体。湛琴琴等^[15]克隆了八氢番茄红素脱氢酶(ApPDS)基因,虽然PDS主要参与类胡萝卜素合成,但由于萜类途径共享IPP和DMAPP前体,该基因也可能间接影响穿心莲内酯积累。

转录因子调控是次生代谢调控研究的前沿领域。Li等^[16]对穿心莲R2R3-MYB基因家族进行了全基因组鉴定,从基因组中鉴定出73个成员,推测ApMYB5和ApMYB33可能通过调控MEP途径影响穿心莲内酯积累。王健等^[17]克隆了转录因子ApNAC1,进行了亚细胞定位和原核表达研究。Li等^[18]发现ApMYC2、ApbZIP46和ApWRKY33是茉莉酸甲酯(MeJA)诱导二萜生物合成的正调控因子,可直接结合下游靶基因ApUGT76E1的启动子促进二萜积累,为理解MeJA信号途径调控穿心莲内酯合成提供了直接证据。

3 研究展望

通过对近年来穿心莲研究文献的系统梳理,可以发现研究深度显著拓展,多组学技术得到广泛应用;研究广度持续延伸,从单一栽培技术拓展到生态适应性、农业生态系统等多元领域。然而,现有研究仍存在系统性欠缺、创新性不足、应用转化滞后等问题。

未来应重点开展以下研究:构建穿心莲分子设计育种技术体系,建立高通量筛选平台,培育高产、优质、抗逆新品种;解析穿心莲内酯生物合成的完整途径,利用合成生物学技术重构合成途径;建立基于品质形成的精准栽培技术体系,开发水肥一体化、微生物菌肥施用等精准栽培技术;深化穿心莲药理活性的机制研究,利用网络药理学方法解析多成分、多靶点的协同作用机制;推动穿心莲产业绿色高质量发展,研发间作套种等生态种植模式,开发副产物的高值化利用技术。

4 结语

穿心莲作为我国传统大宗中药材,具有悠久的药用历史和广泛的药理活性,其现代研究已从单一的传统经验积累转向多学科交叉的系统科学研究。在现代栽培技术层面,环境因子响应机制的解析、精准营养调控体系的建立以及生态栽培模式的创新,为规范化生产提供了技术支撑;在分子生药学层面,种质资源的分子标记辅助选择、次生代谢途径的定向调控以及合成生物学技术的应用,为活性成分的高效获取开辟了新途径。这些研究为穿心莲资源的深入开发和产业高质量发展奠定了科学基础。未来应加强栽培技术与分子生药学的交叉融合,推动基础研究与应用研究的紧密结合,建立从种质创新到产品开发的完整技术链条,为穿心莲产业的可持续发展做出更大贡献。

[基金项目]

湛江市科技计划项目(2021A05221)穿心莲绿色高效栽培技术示范和推广;广东省重点领域研发计划资助项目(项目名称:植物药的活性成分规模化绿色生物制造关键技术与应用示范,项目编号:2022B1111070005);湛江市科技计划项目(2022A01206)基于品种、农艺、装备的高良姜生产全程机械化技术体系构建与应用示范。

[参考文献]

- [1]国家药典委员会.中华人民共和国药典(一部)[M].北京:中国医药科技出版社,2020.
- [2]张龙,李静宇,徐世强,等.穿心莲分子生药学研究进展[J].中国中药杂志,2024,49(13):3432-3440.
- [3]李静宇,孙铭阳,徐世强,等.穿心莲R2R3-MYB基因家族的鉴定与表达分析[J].中国中药杂志,2022,47(1):72-84.
- [4]孙铭阳,徐世强,李静宇,等.UV-C处理穿心莲转录组分析及穿心莲内酯合成相关基因挖掘[J].南方农业学报,2022,53(3):618-627.
- [5]Hiremath C, Greeshma M, Gupta N, et al. Morphometric, chemotypic, and molecular diversity studies in *Andrographis paniculata* [J]. Journal of Herbs Spices and Medicinal Plants, 2021, 27(2): 109-122.
- [6]王雨霞,邹秀崽,李春雨,等.穿心莲种质产量性状与药用成分分析[J].中山大学学报(自然科学版),2023,62(3):100-108.
- [7]Zhang L, Yung WS, Hu YF, et al. Establishment of a convenient ChIP-seq protocol for identification of the histone modification regions in the medicinal plant *Andrographis paniculata* [J]. Medicinal Plant Biology, 2023, 2: 6.
- [8]刘叶,莫世伦,何丽燕,等.不同种质穿心莲对干旱胁迫的响应情况研究[J].分子植物育种,2024,22(15):1-10.
- [9]Yodphet B, Riddech N, Kaewpradit W, et al. Effect of microbial biofertilizer on proteomic profiling, antioxidant enzyme and andrographolide content in *Andrographis paniculata* under drought stress [J]. Plant Stress, 2025, 16: 100817.
- [10]Jian SF, Huang YF, Wan S, et al. Sulfur redirects carbon metabolism to optimize nitrogen utilization and promote andrographolide biosynthesis in *Andrographis paniculata* seedlings [J]. Current Plant Biology, 2024, 40: 100422.
- [11]Singh A, Pandey A, Agrawal SB, et al. Responses of differential nitrogen doses on biomass, biochemical, and medically important metabolites of *Andrographis paniculata* exposed to elevated level of carbon dioxide [J]. Plant Physiology Reports, 2024, 29: 1-15.
- [12]张明,陈泓志,李明.一种复合微生物菌肥对穿心莲生长、品质及土壤性质的影响[J].中国实验方剂学杂志,2023,29(4):153-160.
- [13]洪彪,李明,徐友阳,等.连作条件下施用竹炭对穿心莲品质及土壤细菌种群结构的影响[J].生态学杂志,2021,40(9):2812-2821.
- [14]王晓云,陈蓉,张恩慧,等.穿心莲甲羟戊酸5-焦磷酸脱羧酶基因的克隆与表达[J].中国中药杂志,2016,41(4):636-642.
- [15]湛琴琴,李丽霞,战鹏林,等.穿心莲八氢番茄红素脱氢酶ApPDS的基因克隆及功能鉴定[J].中国中药杂志,2015,40(19):3760-3765.

[16]LiJY,SunMY,XuSQ,et al.Identification and expression analysis of the R2R3-MYB gene family in *Andrographis paniculata*[J].Chinese Journal of Natural Medicines,2022,20(1): 1-15.

[17]王健,齐梦蝶,郭娟,等.穿心莲转录因子ApNAC1的克隆、亚细胞定位及原核表达[J].中国中药杂志,2017,42(5):890-895.

[18]LiY,Shi Y,Fan Y,et al.Transcription factors participate in methyl jasmonate-induced diterpenoid biosynthesis in *Andrographis paniculata*[J].Current Plant Biology,2025, 43:100530.

[19]Mohapatra S,Swain SC,Samal S,et al.Influence of arecanut based cropping systems and nutrient management practices on growth, flowering and yield of arecanut[J].Plant Science Today,2025,12(3):1-10.

[20]Mohapatra S,Swain SC,Samal S,et al.Biological perfo

rmance and profitability study of different medicinal plants grown as intercrops in arecanut plantations[J].Plant Science Today,2025,12(3):9829.

[21]Kamil D,Bahadur A,Kumari A,et al.First report of *Sclerotium delphinii* causing stem rot disease on green chireta (*Andrographis paniculata*)[J].Australasian Plant Disease Notes,2020,15(1):44.

[22]Elaiyabharathi T,Bhanu GS,Saikumar T,et al.Comparative toxicity of certain medicinal plants against invasive chili thrips,*Thrips parvispinus* (Karny)[J].Plant Science Today,2025,12(1):6328.

*通讯作者:

陈苗(1984—),女,汉族,潮州人,博士研究生,副教授,研究方向:植物生理生化。