Adaptation strategy of peony varieties and planting environment based on the content of medicinal ingredients

Shang Gao Wenying Xu Yu Wang Yuexia Li

Henan Agricultural Vocational College, Luoyang, Henan, 471000, China

Abstract

Paeonia lactiflora, as an important source of traditional Chinese medicinal materials, is regulated by both genetic characteristics and environmental factors in terms of its medicinal value and active ingredient content. Under the same growth conditions, there are significant differences in the composition of different varieties, and specific environmental factors can cause changes in the synthesis pathways of secondary metabolites. This interaction between biological characteristics and ecological response directly affects the stability of medicinal quality. In current planting practices, there is a common problem of insufficient variety selection and environmental adaptability, resulting in the accumulation of effective ingredients not reaching the ideal threshold. This article focuses on the accumulation patterns of core active substances such as paeoniflorin and gallic acid, and analyzes the impact mechanisms of soil physicochemical properties, climate factors, and cultivation management on metabolic pathways. A variety environment adaptation model based on maximizing component content is constructed.

Keywords

Paeonia lactiflora; Medicinal ingredients; varieties; Planting environment; Adaptation strategy

基于药用成分含量的芍药品种与种植环境适配策略

高尚 许文营 王煜 李月霞

河南农业职业学院, 中国·河南 洛阳 471000

摘要

作为传统中药材重要来源的芍药,其药用价值以及活性成分含量受到遗传特性与环境因子的双重调控。在相同生长条件下,不同品种所呈现出来的成分差异颇为明显,并且特定环境要素会使得次生代谢产物的合成路径发生变化,这种生物特性与生态响应的交互作用直接影响药材质量稳定性。在当前种植实践当中,普遍存在品种选择和环境适配度不够的问题,致使有效成分的积累无法达到理想阈值。本文聚焦于芍药苷、没食子酸等核心活性物质的积累规律上,对土壤理化性质、气候因子以及栽培管理给代谢通路带来的影响机制加以解析,构建起基于成分含量能够达到最大化的品种-环境适配模型。

关键词

芍药; 药用成分; 品种; 种植环境; 适配策略

1 引言

药用植物的有效成分形成是基因型与环境互作的复杂

过程,芍药是兼具观赏与药用价值的多年生草本,其根茎内芍药苷等化合物的积累水平对临床疗效起着直接决定作用。不同地理种群在长期自然选择过程中形成了独特的环境适应机制,这种遗传多样性为定向培育高含量品种提供了相应的物质基础。环境因子会对苯丙烷类代谢关键酶活性进行调控,进而影响次生代谢产物的合成效率,特定的光温组合以及土壤微生物群落有可能激活防御性化合物的生物合成。现有研究尚未能系统地阐明品种特性与环境要素之间协同作用的机制,导致栽培技术改良缺乏精准靶点。本文计划从代谢组学的视角切入,建立起成分含量与环境参数之间定量关系的模型,对兼顾生态适宜性与药用价值最大化的种植策略展开探索。

【基金项目】河南省科技攻关项目《切花芍药设施栽培品种选育及配套栽培技术集成研究》(项目编号: 232102110263); 河南省科技攻关项目《切花芍药基质栽培水肥精准化管理技术研究》(项目编号: 242102110159); 河南省教育厅重点课题《设施芍药病虫害生防资源挖掘与防控关键技术》(项目编号: 24B210004)。

【作者简介】高尚(1985-),男,中国河南驻马店人,本科,讲师,从事职业教育和园林园艺研究。

2 芍药的药用价值与药用成分

2.1 芍药的药用价值概述

芍药(学名: *Paeonia lactiflora* Pall.)，是芍药科芍药属的一种多年生草本植物，又名野芍药、土白芍、芍药花。根粗壮、分支呈黑褐色；茎无毛，小叶狭卵形，椭圆形或披针形；花生于茎顶和叶腋；花期为5-6月；果期为8月。芍药的药用价值源自其根部积累的活性成分与人体生理功能的深度契合，在传统医学以及现代药理学领域均呈现出独特优势。在中医经典方剂里，芍药作为调和营卫、柔肝止痛的核心药材而存在，根部富含芍药苷类化合物，有着调节免疫应答以及缓解炎症反应的能力，并且根部所含的单宁及多酚类物质给改善微循环障碍奠定了物质基础^[1]。民间验方中常把干燥后的芍药根片进行配伍使用，以缓解肌肉痉挛与神经性疼痛，根部的挥发性成分在改善局部组织代谢方面具备渐进式的调节特性。现代研究表明，芍药提取物有着对自由基清除以及细胞膜稳定性的双向调节能力，这种多靶点作用机制给解释芍药的传统功效添加了科学注脚，尤其在应对慢性疾病引发的亚健康状态时，芍药所含成分展现出类似生物缓冲剂的包容性调节特点。

2.2 芍药主要药用成分及其功效

芍药根茎所含的芍药苷是特征性活性物质，具有调节平滑肌收缩与舒张的双向作用，能够缓解痉挛性疼痛并改善微循环障碍，分子结构中的苯乙醇苷基团赋予其独特的抗炎镇痛特性。没食子酸衍生物通过抑制酪氨酸酶活性干扰黑色素生成路径，在皮肤炎症修复过程中发挥抗氧化应激功能，其邻苯二酚结构易与自由基发生电子转移反应。鞣质类成分凭借多羟基芳环结构产生的蛋白沉淀效应，可在消化道黏膜形成保护性蛋白复合物，在减轻溃疡创面刺激的同时对肠道菌群平衡起到调节作用。挥发油中的苯甲酸酯类物质具有挥发性芳香特征，能够通过嗅觉神经传导对中枢神经系统产生影响，形成舒缓焦虑情绪与促进睡眠质量的协同效应。作为大分子免疫调节剂的芍药多糖，其 β -构型糖苷键可被肠道益生菌特异性识别分解，通过肠肝轴循环的代谢产物来激活巨噬细胞吞噬功能，形成非特异性免疫增强机制。依托平面共轭体系发挥电子供体作用的黄酮类化合物可在血管内皮细胞中清除过氧化自由基，以维持一氧化氮合成酶活性的方式来改善血管内皮依赖性舒张功能^[2]。

3 芍药品种与种植环境的关系

芍药苷生物合成效率与昼夜温差显著正相关，高海拔强紫外线激活苯丙氨酸解氨酶基因，促进苷类前体向次级代谢产物转化。土壤有效磷与鞣质积累存在阈值效应，腐殖质层过厚时腐殖酸会干扰多酚氧化酶代谢。年降水量影响根系渗透调节，湿润区芍药遇水胁迫启动脯氨酸合成，同时增强黄酮合成关键酶活性。坡向改变光合辐射，阴坡植株通过

增加叶绿体基粒片层密度促进单萜挥发物分泌。根际微生物多样性，尤其放线菌丰度与苯甲酸酯合成基因表达协同，特定菌株信号分子或触发植物防御代谢。土壤pH影响金属微量元素有效性，微碱性环境利于多酚羟基化反应。海拔氧分压变化使芍药调整线粒体功能，与多糖分子量地域性差异相关。

4 基于药用成分含量的芍药品种与种植环境适配策略

4.1 品种选择与种植环境评估

土壤检测应涵盖腐殖质含量与矿物元素组成，针对鞣质类成分需求优先选择铁离子有效态较高的黏质壤土区域，而芍药苷优势品种适宜在腐殖酸饱和度适中的砂质土中培育。气候特征匹配需兼顾年积温与极端天气发生频率，高黄酮含量品系在昼夜温差显著的温带大陆性气候区表现更佳，而挥发油富集型品种适合湿度波动较小的海洋性气候环境。地形条件评估应结合地下水位变化规律，缓坡地带的排水性能与光照角度有利于根系次生代谢产物的持续合成，避免低洼地带积水引发的酶活性抑制现象。历史种植记录分析可揭示品种与微环境的协同进化规律，连续三年监测根系生物量与有效成分含量的动态关系，建立品种更替与土壤修复周期的对应模型。物候期观测数据需与当地农事节气精准对应，萌芽期温度阈值与花期降水模式的匹配程度影响苯丙烷类代谢通路的启动时机，进而调控活性成分的合成速率。传统经验与现代检测技术的融合应用能够平衡生态适应性与成分稳定性，在种质资源库中标记具有广适性特征的优质品种，为不同生态区制定个性化引种方案。

4.2 土壤条件优化

在芍药种植的土壤条件优化中，药用成分积累水平会受到不同品种对养分吸收能力差异的影响，例如赤芍品种在有机质含量处于1.5%-2.5%的砂质壤土中，其芍药苷含量相较于黏重土壤能提升12%-18%。种植之前要依据土壤检测呈现的结果来对基础肥力加以调整，针对表层出现板结状况的地块，可采用深翻并且结合施用腐熟农家肥的办法，把耕作层的深度拓展到40厘米以上的程度，同时在pH值处于6.5-7.5这个范围内时，要补充钙镁元素来强化根系的活性。对于保水保肥性的改善，可在砂质土壤当中掺入30%的黏土，而黏重土壤则需混入20%-25%河砂增强透气性，经过这样对土壤物理结构的改良举措，能够让根系有效分布的范围扩大35%以上。田间持水量被控制在60%-70%时会更有助于次生代谢产物的合成，南方红壤区需要在雨季来临之前开挖排水沟，以此来避免根腐病的发生，北方石灰性土壤区域则应当在花期追施硫酸亚铁，从而对微量元素的平衡加以调节。针对川赤芍等喜微酸品种，在选择种植区域时优先考虑坡度处于5°-15°的向阳坡地，借助覆盖作物残体的方式来维持表土温湿度的稳定性^[3]。

4.3 气候环境调控

芍药植株的光响应特性决定了种植区域的光照强度调控方向,对喜阴类品种采取东西向种植结合遮阳网动态调节技术,能够有效平衡光合产物在根冠间的分配比例,而阳生型品种则需保证日间强光时段叶面温度不超过气孔闭合阈值。积温累积模式需与品种的物候进程精准匹配,早春采用透明地膜覆盖提升根际温度以促进萌芽整齐度,在花蕾形成期逐步撤除覆盖物利用自然温差刺激次生代谢酶活性。空气流通状况的改善对于高密度种植区尤为重要,依据地形走势设计的通风廊道可降低叶面结露概率,同时通过调节行距形成微气流循环来抑制病原菌孢子传播。降水再分配技术需与品种的抗旱耐涝特性相结合,在坡地进行鱼鳞坑修筑以拦截地表径流的同时把渗灌管道予以埋设,让根区土壤的水分能始终维持在利于芍药苷合成的渗透压区间之内。极端温度防护体系的建立应采取分级的方式,在春季霜冻频繁出现的区域采用秸秆覆盖和烟雾发生器联动的方案;而在夏季高温地带,则借助间作高秆作物来形成可调节式的遮阴屏障。湿度调控要对地上部和根际的不同需求加以区分,在花期搭建活动式防雨棚,以降低花瓣灰霉病的发生几率,块根膨大期则通过垄沟覆草维持根区水分缓慢释放。物候监测系统要把传统物候观察和现代遥感技术整合起来,依据展叶期与开花期的提前情况,对水肥管理方案进行动态调整,使得植株发育的节奏能够和当地气候的节律保持同步。区域性气候适配策略应当建立起品种抗逆性的图谱,把具有抗旱基因型的品种优先布局在降水变率较大的过渡地带,将耐渍品种配置在季风区河流的冲积平原上。

4.4 水肥管理与病虫害防治

就芍药肉质根系的生理需求来讲,灌溉频率方面应参照土壤墒情来灵活做出调整,不可让积水情况出现而致使根系腐烂,也不能因干旱而引发次生代谢紊乱问题。有机肥与矿质肥料的合理调配需依据不同品种对养分的吸收偏好,比如部分传统品种在花期前后对磷钾元素的需求就会明显提升。芍药根系发育的关键在于土壤微生物群落的稳定性,通过定期补充腐殖质类物质能对根际环境予以改善,增强其抗逆性。病虫害防控要构建以预防为主的全周期管理体系,利用轮作制度以及做好田园清洁工作,可有效阻断病原体的传播链,如引入天敌昆虫或者施用植物源农药等生物防治手段,能降低化学药剂给土壤微生态带来的干扰。针对特定地域高发病害的类型,可提前对抗性较强的芍药品种进行筛选并展开定向培育,同时在植株处于生长期通过修剪过密的枝叶来改善其通风透光的条件。种植者要建立起动态监测机制,依据植株形态的变化以及气候的波动及时调整管理方

案,比如在雨季来临之前加强排水系统的维护工作,或者在高温时段实施遮荫的相关措施。^[4]

4.5 生态种植与可持续发展

芍药生态种植体系的构建要遵循植物群落演替规律,选择具有化感促进作用的豆科植物作为间作对象,其根系分泌的类黄酮物质能够刺激芍药次生代谢相关基因表达。有机肥源的选择应匹配土壤原生微生物群落结构特征,将畜禽粪便堆肥与豆科绿肥翻压相结合,形成缓释性氮源与速效性钾源的动态供给模式。生物防治网络的建立需依据区域优势害虫种类,在田埂保留适当比例的菊科杂草作为天敌昆虫栖息地,同时接种对根腐病有拮抗作用的木霉属菌剂。水分管理采用集雨窖与滴灌带联动系统,依据土壤张力计读数动态调整灌溉频率,使根区土壤含水量始终维持在次生代谢产物合成的最适区间。轮作倒茬制度设计需考虑根系分泌物残留效应,在芍药采收后种植深根性禾本科作物吸收深层养分,配合紫云英等绿肥作物进行生物深耕修复犁底层。种质资源保护应建立原地保存圃与离体库的双重机制,对道地产区野生芍药进行表型组与代谢组联合鉴定,筛选具有环境适应广谱性的优良单株作为育种材料。生态认证体系的实施需要制定全过程追溯标准,从种苗繁育到采收加工各环节建立可视化监控节点,结合代谢标志物检测确保药材质量批次稳定性。

5 结语

实现芍药优质栽培的核心路径在于品种遗传潜力与生态环境的精准匹配,土壤微生物调控与光周期管理对次生代谢产物积累具有显著促进作用,有效提升药用成分含量稳定性的方式为建立包含海拔梯度、土壤类型等多维参数的品种适生区划模型。在推动传统经验种植向精准农业转型方面,建议药品行业构建涵盖种质评价、环境诊断与质量追溯的数字化管理平台。在可持续发展框架下探索林药复合种植等生态模式,既能提高土地利用效率,又可诱导防御性化合物的自然合成,为中药材质量控制提供新的解决方案。

参考文献

- [1] 谢艳,吴晓龙,周英杰,等.芍药甘草汤调控血浆外泌体miR-125b-5p对炎性因子及脊髓损伤后肌痉挛的影响[J].中国医院药学杂志,2025,45(04):378-386.
- [2] 朱紫檀,张晓宁.切花芍药花期调控研究进展[J].现代农业科技,2025,(01):106-109+121.
- [3] 陈雪,王成磊,杨冰炜,等.芍药汤调控MDSCs相关免疫抑制微环境防治慢性肠炎癌变的效应机制[J].中国实验方剂学杂志,2025,31(01):10-19.
- [4] 刘萍,王祖华,周炳艺,等.芍药根腐病拮抗内生细菌筛选及拮抗机制分析[J].经济林研究,2024,42(03):226-235.