

花椒果皮色素形成及其代谢调控网络解析

韩 暖¹, 张杰¹, 孙雷稳¹, 周 婧², 张双羽², 赵爱国¹, 王 成¹, 王冬梅^{1*}

(1.西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学 风景园林艺术学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 花椒果皮色泽为花椒 (*Zanthoxylum bungeanum*) 最关键的特征, 但其色素组成及代谢调控网络尚未明晰, 制约着对花椒品质的判定。本研究采用广靶代谢组学与靶向代谢组学相结合, 全面揭示了花椒果皮色素组成特征, 识别矢车菊素-3-O-芸香糖苷和矢车菊素-3-O-葡萄糖苷为关键化合物, 12 种黄酮化合物也显著影响花椒果皮颜色, 结论在多品种间具备普适性。进一步基于转录组学注释花青苷代谢途径差异基因, *ZbDFR*, *ZbANS*, *ZbUFGT* 被识别为关键差异基因, 利用同源瞬时转化和异源稳定转化对关键基因进行功能验证, 证实其调控花椒果皮花青苷积累。在蛋白水平上, 基于体外酶活和突变位点实验, 首次发掘 S128、Y163、K167 为 *ZbDFR* 关键催化位点, 突变关键位点可显著负调控花椒果皮花青苷合成。此外, 花椒果皮花青苷积累还受到多种转录因子的协同调控, 形成复杂的代谢调控网络。研究证实, 自然条件下, *ZbMYB111* 可直接激活结构基因 *ZbUFGT* 启动子并促进其表达, 正调控花椒果皮花青苷积累, 同时 *ZbbHLH2* 与 *ZbMYB111* 存在相互作用, 协同调控花青苷合成。进一步研究表明, 花椒果皮花青苷的合成还受到多种环境和激素因子的调控, 不同转录因子响应调控因素, 进而影响花青苷的积累。UV-B 介导条件下, 光响应因子 *ZbHY5* 可正调控花青苷的合成, 同时 *ZbMYB113* 可通过与 *ZbHY5* 互作参与花青苷调控; 乙烯介导条件下, 乙烯响应因子 *ZbERF3* 可正调控花青苷的合成, 同时 *ZbMYB17* 可直接激活 *ZbERF3* 启动子, 进而参与调控。综上研究结果阐明了花椒果皮色素组成特征, 解析了不同条件下花椒果皮花青苷代谢调控网络机制, 为促进花椒果实品质与经济价值提升, 深入研发花椒色素资源及优良品种定向选育奠定了坚实的理论基础, 有利于花椒产业升级与可持续发展。

关键词: 花椒果皮; 花青苷; 多组学分析; 基因功能验证; 蛋白突变; 环境胁迫; 转录调控

基金支持: 本研究得到国家自然科学基金面上项目—基于 ¹H-NMR 代谢组学和转录组学的花椒种质资源研究 (31872706) 和国家十三五重点研发项目子课题—花椒色素形成及其代谢调控网络解析 (2019YFD1000603-5) 资助。

*通讯导师: 王冬梅老师; E-mail: dmwli@163.com; Tel/fax: +86-029 8708 1559