

毛竹笋快速生长的生长素响应机制

程占超, 白羽聪, 高健

(国际竹藤中心, 国家林业和草原局/北京市共建竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102)

摘要:【目的】明确对生长素合成和运输过程中关键基因的作用, 揭示生长素对毛竹节长和株高的调控作用。【方法】本研究通过对毛竹天然分布区的毛竹笋进行生长素处理获得了长节间和短节间竹材, 结合形态学和解剖学分析, 探究毛竹第 18 节间伸长区细胞状态。利用代谢组学、转录组学和磷酸化修饰蛋白质组学, 解析毛竹笋快速生长可能的调控通路和修饰过程, 筛选和鉴定生长素合成关键基和生长素运输关键基因。通过遗传学和分子生物学实验验证了目标基因功能, 初步明确其上游调控因子。【结果】对野外生长的毛竹新笋进行生长素处理, 发现 20 μM 的生长素 IAA 可以显著促进毛竹节间伸长, 生长素抑制剂 TIBA 可以显著抑制毛竹节间伸长。选择代表性节间 18 节间中部伸长区进行解剖分析发现, 与对照相比, IAA 处理的节间细胞更长, TIBA 处理的节间细胞更短。通过靶向代谢组学对内源植物激素测定发现, IAA 处理导致生长相关的内源激素 GA 和 CK 呈现上调变化趋势, 外源生长素可以协同内源 GA 和 CK 调控生长。通过转录组学分析, 发现生长素信号相关基因 AUX/IAA、ARF 明显受到了生长素信号调控。在 IAA 处理下, 一些环境响应激素 SA、ABA 和 JA 呈现下调表达趋势, 表明 IAA 含量的变化会部分缓解环境刺激作用。通过转录组学分析发现生长素诱导的差异表达基因显著富集于植物激素信号通路、调控转录、翻译和翻译后修饰等。利用磷酸化蛋白质组学分析发现, 竹子有特定的保守磷酸化修饰基序, 生长素可以诱导大量差异磷酸化修饰, 其中 PIN 蛋白起到了重要作用。通过对毛竹快速生长前期和快速生长时期的根尖、笋尖、幼嫩的笋箨、箨片和节间的 IAA 免疫荧光分析发现, 发现笋尖的 IAA 含量显著高于其他组织。筛选并克隆得到了两个生长素合成关键基因 *PheYUC9-1* 和 *PheYUC7-2*, 一个生长素运输关键基因 *PhePIN1-2*。*PheYUC7-2* 延缓了水稻和拟南芥生长, *PheYUC9-1* 只在水稻中起到加快生长速度的作用, *PhePIN1-2* 在水稻和拟南芥中均起着加快生长速度的作用。3 个基因均可以响应外源生长素抑制剂的处理。过表达这 3 个基因均引起了内源生长素和调控细胞发育的相关基因差异表达。通过酵母单杂交分析发现 *YUCs* 基因和 *PINs* 基因的上游主要受 *NAC* 转录因子调控。【结论】确定了生长素对毛竹节间伸长的促进作用, 明确了幼嫩的笋箨和笋尖是毛竹生长素的主要合成部位; 多组学联合分析表明生长素在转录、翻译和翻译后修饰水平调控毛竹快速生长过程; 异源表达 *PheYUC9-1* 和 *PhePIN1-2* 促进植物生长, 而异源表达 *PheYUC7-2* 延缓植物生长, 初步筛选 *PheYUC7-2*、*PheYUC9-1* 和 *PhePIN1-2* 候选上游转录因子, 揭示了毛竹生长素通路的关键基因的调控模式, 解析了生长素调控毛竹节间生长和秆高生长机理。

关键词: 毛竹; 快速生长; 生长素; 多组学; PIN; YUC