

基于 QTL 和 eQTL 分析揭示丹红杨×通辽 1 号杨生长和材性性状的遗传调控机制

张磊 路东晔 葛晓兰 杜久军 文爽爽 项晓冬 杜常健 周星鲁 胡建军*

林木遗传育种全国重点实验室 国家林业和草原局林木培育重点实验室 中国林业科学研究院林业研究所

摘要:【目的】杨树是重要的经济、能源和生态树种，生长速度和木材品质是影响杨树推广应用的重要限制因素，解析生长和材性等重要经济性状的变异规律并挖掘候选功能基因具有重要意义。【方法】以丹红杨×小叶杨 F₁ 杂交群体为实验材料，测定了株高、地径、基本密度、纤维长、纤维宽、微纤丝角、纤维素含量及木质素含量等生长和木材性状，进行 QTL 定位分析，并对该群体的发育木质部进行了转录组测序，探索了基因变异的特征及其与基因表达量的关系。【结果】杂交群体各性状呈正态分布，存在较大差异。为进一步揭示杂交子代各性状的遗传变异规律，通过 QTL 定位共识别到 237 个 QTL 位点并挖掘到 571 个候选基因，发现木材基本密度相关主效 QTL 位点 *lm2089*，表型变异解释率最高为 10.5% (LOD=7.41)。对杂交群体发育中的木质部进行转录组测序，eQTL 分析鉴定了 48019 个顺式 eQTL 和 2184889 个反式 eQTL，它们影响着杨树全基因组基因表达水平变异；基因组中检测到 38 个 eQTL 热点，其中热点 12654 的 *PdCam247* 的 3'UTR 区 A/T 碱基突变引起杂交群体基本密度呈显著差异，同时该位点调节许多与次生细胞壁发育相关转录因子 (*PtrMYB3*、*PtrMYB20* 和 *PtrMYB156* 等) 的表达。*PdCam247* 过表达转基因植株表现出株高降低、地径增粗等表型，木质部变宽而木质部导管和纤维细胞长度均增加，酵母双杂交表明 *PdCam247* 可以与 *PtrMYB156* 互作。【结论】对丹红杨×通辽 1 号杨 F₁ 杂交群体的生长和材性性状研究，识别到了木材基本密度的关键 SNP 位点和次生细胞壁相关的候选基因，并通过杨树转基因验证了 *PdCaM247* 在杨树木质部发育中的调控作用。本研究为研究木质部发育提供了大量组学数据，并为影响次生细胞壁形成调控网络提供了新见解。

关键词: QTL, eQTL, 共表达网络, 木质部, 钙调素, 杨树