

# Promoter 区 CHH DNA 甲基化水平提高增强美洲黑杨气候适应性

苑正赛<sup>#</sup>, 张伟溪<sup>#</sup>, 丁昌俊<sup>\*</sup>, 李政宏, 张静, 苗露澜, 魏航, 黄秦军, 苏晓华<sup>\*</sup>

(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 北京 100091)

<sup>#</sup>同等贡献; <sup>\*</sup>通讯作者

**摘要:**【目的】研究不同气候区美洲黑杨 DNA 甲基化变化模式与基因表达的关系, 明确影响美洲黑杨气候环境适应性的分子特征, 为杨树适应环境分子机制研究和应对气候变化育种提供参考。【方法】以引种于 6 个天然分布区种源地的 334 个美洲黑杨基因型分别栽植于自然条件差异明显的热带季风气候区(海口定安, 年平均气温 25.9°C, 年日照时长 1999.2 h; 高温短日照)和温带季风气候区(山东宁阳, 年平均气温 15.8°C, 年日照时长 2424.8 h; 常温长日照)的进行高强度自然选择筛选出适应性表现不同的 5 个美洲黑杨基因型为材料, 对其 3 年生叶片进行高通量转录组、单碱基 DNA 甲基化测序, 利用生物信息学方法进行差异比对、关联分析、调控网络构建等, 明确调控美洲黑杨气候适应性的 DNA 甲基化调控模式, 鉴定增强美洲黑杨适应性的关键 DNA 甲基化区域及功能基因。【结果】1) 5 个美洲黑杨基因型在温带和热带地区生长差异不同; 引种于加拿大魁北克省(QC)的 PD5(环境胁迫高敏感型)在两个地区表现出最大的生长差异, 而引种于美国路易斯安那州(LA)的 PD1/3/4(中度敏感型)以及 PD6(不敏感型)生长差异相对较小, 其中 PD6 在两地无显著差异。2) 整体上, 热带地区 5 个美洲黑杨基因型的总 mCs 平均甲基化水平(8.06-9.42%)明显高于温带(6.68-8.36%), 特别是 CHH 类型(平均上升了 53.35%)。3) 以热带地区为对照, 5 个基因型在两个地区的 CHH 类型显著差异甲基化区域(CHH-DMRs) 76.84-90.84%为 hyper-Promoter-CHH-DMRs, 受种植地环境(温带和热带)影响, 且各对比组共有 CHH-DMGs 数量(1493)明显高于其特有的(70-853); 而 HKPD5 vs. NYPD5 中特异性的存在大量 CG/CHG-DMRs, 特别是在 Promoter/exon/intron 区, 受种源环境(LA 和 QC)影响。4) 鉴定到 56 个在 5 个对比组具有相同差异趋势的共有 hyper-Promoter-CHH-DMEGs, 包括显著高表达的热胁迫(*HSP15.7* 和 *HSFA6b*)和脱落酸相关基因(*CYP707A4*), 显著低表达的生长素(*ARF6*)和细胞分裂素相关基因(*CYCB2* 和 *NACK2*); HKPD5 vs. NYPD5 特异性的 CG-DMGs 和 CHG-DMGs 中分别鉴定到 1 个与环境胁迫敏感性显著负相关的模块, 其中 148 个 Promoter/exon/intron 区的 CG-DMEGs 负向调控了热带地区 PD5 的碳代谢、糖代谢和氨基酸代谢等基本生命活动。【结论】高强度自然选择压下, 美洲黑杨主要通过 CHH 类型 DNA 甲基化差异适应环境变化, 而不同种源美洲黑杨基因型的 CG 和 CHG 类型 DNA 甲基化水平调控了其对种植环境的适应性。适生范围内, hyper-Promoter-CHH-DMRs 通过调控早期信号、热和光胁迫响应以及植物激素(生长素、脱落酸和细胞分裂素)合成及传导提高美洲黑杨的普遍适应性; 而当超过适生范围时, Promoter/exon/intron-CG-DMRs 负向调控了其基本生命活动基因的表达, 通过抑制其生长以最大化维持其在极端环境的生存。研究结果初步揭示了 CG/CHH 类型 DNA 甲基化在调控美洲黑杨对气候变化普遍适应性和特异适应性的新见解, 为林木对激烈环境变化的适应性机制研究以及应对气候变化育种提供了有益参考和有价值基因。