

蔷薇科苹果族系统发育基因组学

张琳¹, 王一涵¹, 王红卫¹, 马红^{2*}, 尚富德^{1*}

¹河南农业大学; ²宾夕法尼亚州立大学

摘要: 蔷薇科 (Rosaceae) 约有 3000 个种, 其中多个物种具有很高食用和观赏价值, 在园林绿化中占有重要地位。苹果族 (Maleae) 是蔷薇科中物种数最多、分布最广泛的类群之一, 共有 30 个属, 约 1000 种, 包括很多水果和观赏植物。本研究利用高通量测序技术获得苹果族 23 属 58 个物种的转录组。系统发育基因组学等多个分析结果表明: (1) 苹果族系统树包括 11 个主要分支, 除苹果属 (*Malus*)、花楸属 (*Sorbus*) 和落叶石楠属 (*Pourthiaea*) 外, 大多数属均为单系, 明确了栒子属 (*Cotoneaster*)、枇杷属-石斑木属 (*Eriobotrya-Rhaphiolepis*) 和涩石楠属 (*Aronia*) 等有争议类群的系统位置。(2) 多个证据表明整个苹果族经历了一次全基因组复制事件。美吐根族 (*Gillenieae*, $x = 9$) 可能与另一个亲本 (未知或已灭绝) 杂交形成了苹果族 (*Maleae*, $x = 17$)。全基因组复制后, 物种特异保留的成对基因富集到 37 个功能条目, 它们主要在发育、代谢和其他过程中起作用。其中由全基因组复制产生的 MADS-box 基因家族多个基因的重复与可能与梨果形成相关。(3) 苹果族大约起源于 54 百万年前的始新世早期, 苹果亚族 (*Malinae*) 大约起源于始新世-渐新世过渡期, 该亚族的九个主要分支在此后的较短时间内快速分化 (~31-26 百万年前)。在中新世中期到晚期气温下降时, 梨属 (*Pyrus*) 和山楂属 (*Crataegus*) 等多个属的物种进一步分化。在苹果亚族、苹果属最近共同祖先分别检测到多样化速率上升点, 其中苹果亚族在始新世-渐新世的气候显著变化期间, 净多样化速率显著增加, 暗示可能是在全基因组复制事件的滞后效应和外部环境的共同影响下促进了苹果亚族的快速辐射分化。(4) 干果和单叶常绿为苹果族祖先特征; 原始的干果类型在苹果亚族的祖先中就发生了向肉质水果的转变, 苹果族六个属的果实类型通过 4 次独立起源转变为浆果状多核核果; 苹果亚族果实颜色的祖先特征为红色, 黄色果实的出现涉及 4 次独立起源, 主要发生在梨属和枇杷属等类群中, 褐色和紫黑色果实只在少数类群中演化出来; 叶习性包括常绿和落叶两种状态, 在多个属出现涉及多次起源。果实类型和叶习性的变化时间与始新世-渐新世过渡期相吻合, 可能是苹果族物种应对气候变化所产生的形态转变。本研究厘清了蔷薇科苹果族这一重要类群的系统发育关系, 为深入理解其物种多样性形成机制和性状演化提供了新的见解。

关键词: 苹果族; 系统发育; 全基因组复制; 多样化; 性状演化