

荣立苹,李倩中,李淑顺,等. 槭属植物叶色表达研究进展[J]. 江苏农业科学,2014,42(10):10-12.

# 槭属植物叶色表达研究进展

荣立苹,李倩中,李淑顺,唐 玲

(江苏省农业科学院观光农业研究中心,江苏南京 210014)

**摘要:**彩叶植物的叶色表达受遗传因素和环境因子的共同影响,从叶片呈色色素、生理生化物质、环境因素和外源物质 4 个方面论述了国内外有关槭属彩叶植物叶色表达的研究概况,并对今后槭属彩叶植物的研究方向提出了展望,以期对彩叶植物叶色改良和新品种选育提供理论基础。

**关键词:**槭属;彩叶植物;叶色表达;可溶性糖;关键酶活性;喷施蔗糖;酸化土壤;磷铁锌肥

**中图分类号:** S687      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2014)10-0010-02

槭树科可分为金钱槭属(*Dipteronia*)和槭属(*Acer*),其中槭属常泛称为槭树。大部分槭树植物为落叶乔木,如鸡爪槭、元宝枫、五角枫、三角枫等,其适应范围广,抗逆性强,秋冬季叶片为绚丽的红色、橙红色、橙黄色等,是世界各国园林绿化中应用最为广泛的彩叶树种之一<sup>[1-2]</sup>。彩叶植物具有色彩鲜艳、观赏期长、易于形成大色块景观的特点,可以弥补现代城市中色彩单一的缺点,应用前景广阔<sup>[3]</sup>。

研究彩叶植物叶片的呈色机理,可以为利用生物技术途径培育新的彩叶植物种类奠定基础。国外发达国家在槭属彩叶植物的栽培和选育方面起步较早,并且已经做了大量工作,而国内起步则较晚。本文针对国内外关于槭属植物叶色方面的研究进行归纳总结,分析了与叶片呈色相关的因素,并对未来的槭属植物叶色研究作了初步展望,以期开展槭树科植物新品种选育提供科学依据。

## 1 槭属彩叶植物叶片呈色色素

色素是彩叶植物叶片呈色的物质基础和根本原因。细胞内色素包括叶绿素、类胡萝卜素和花色素苷,这几种色素在叶片中的含量、分布决定着叶片颜色<sup>[4]</sup>。叶绿素 a 表现为蓝绿色,叶绿素 b 表现为黄绿色,类胡萝卜素表现为橙黄色,叶黄素表现为黄色,花色素苷在酸性、碱性条件下分别呈现出红色、蓝色。

### 1.1 叶色表达与不同色素之间的关系

当叶片中叶绿素占绝对优势(60%以上)时,叶片呈现绿色;当叶片中花色素苷占绝对优势(60%~80%)时,叶片呈现红色;当叶片中叶绿素和花色素苷比率减少到一定程度(降到40%以下)时,叶片呈现出类胡萝卜素的黄色<sup>[5]</sup>。

叶色表达随季节变化而变化。孙波等认为,在秋季叶色变化过程中,紫花槭叶色表现与叶片色素质量分数呈现规律性变化,并且两者之间存在显著的相关性,叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素、类胡萝卜素质量分数之间存在极显著正相

关<sup>[6]</sup>;梁鸣等认为,不同年份紫花槭叶片中花青素含量在转色期呈峰形曲线变化<sup>[7]</sup>。另有研究表明,4、5、6 月和 9、10 月是鸡爪槭叶片花青苷含量较高的季节,此时鸡爪槭叶片颜色鲜红,饱和度高,是最佳观赏时期<sup>[8]</sup>;9、10 月秋冬叶片转色期,鸡爪槭等槭树科植物叶片中的叶绿素含量均呈现下降趋势,而花色素苷含量呈逐渐上升趋势<sup>[9-12]</sup>。

### 1.2 叶色表达与花青苷组分的关系

关于不同花青苷组分对叶色影响方面的研究,国内的报道多集中于花色方面,而对彩叶植物,尤其是槭树科植物的报道甚少。Schmitzer 等对 7 个槭树品种叶片花青素含量与叶片呈色之间的关系进行了研究,认为各槭树品种的衰老叶片中含有较多花青苷 cyanidin-3-glucoside,而且其含量由枝端向枝条基部递减,而花青苷 cyanidin-3-rutinoside 在各个槭树中含量极少;同时还分析了槭树叶片的三色值与花青苷 cyanidin-3-glucoside、花青苷 cyanidin-3-rutinoside 的关系,表明 7 个槭树品种中,花青苷 cyanidin-3-glucoside 与叶片三色值具有相关性,并且无论是秋叶为红色的槭树还是常年为红色的槭树,其红叶中红色值与花青苷 cyanidin-3-glucoside 含量均密切相关,cyanidin-3-rutinoside 对叶色影响较小<sup>[13]</sup>。

## 2 叶片生理生化物质对槭属植物叶色表达的影响

### 2.1 可溶性糖

糖是花色素苷合成的前体物质,秋冬季落叶树叶片衰老过程中花色素苷的合成与衰老期间糖分的积累有关<sup>[14]</sup>,可溶性糖可能通过影响初生代谢途径使花色素苷的累积不同<sup>[15]</sup>。部分研究表明,转色期叶片中可溶性糖与花色素苷含量都呈增加趋势,但是关于花色素苷与可溶性糖含量是否存在相关性,研究结果有所差异:陈继卫等在对红枫秋冬转色期叶色变化的生理特性进行研究时发现,花色素苷与可溶性糖含量之间并不呈显著的正相关<sup>[10]</sup>;荣立苹等对三角枫叶色变化进行分析研究表明,花色素苷与可溶性糖含量之间呈极显著正相关,从而印证了可溶性糖含量的增加可显著促进叶片中花色素苷的积累<sup>[11]</sup>。也有研究表明,秋季槭树植物叶片中的可溶性糖含量先升后降,表现为单峰曲线;并且其峰值出现在花色素苷的峰值前,说明可溶性糖是花色素苷合成的前体物质<sup>[5]</sup>。

收稿日期:2013-12-19

基金项目:江苏省农业科技自主创新基金[编号:CX(13)5067]。

作者简介:荣立苹(1982—),女,河北张家口人,博士,副研究员,主要从事槭树科植物研究。Tel:(025)84392681;E-mail:rongliping2013@163.com。

## 2.2 相关酶活性

中国对槭树科植物叶色方面的研究尚处于起步阶段,关于叶色与酶活性的关系研究较缺乏,仅冯立娟等对槭属 2 个品种在叶片变色期花青苷含量与相关酶活性的变化进行了研究,认为 2 个品种槭树叶片中的花青苷含量随叶色的变化呈单峰曲线;PAL、DFR 和 UFGT 酶活性与花青苷含量均呈 2 次曲线关系,CHI 酶活性与花青苷含量呈极显著的线性关系;PAL、CHI 和 UFGT 是秋天火焰花花青苷合成的关键酶,CHI 和 UFGT 是白兰地花青苷合成的关键酶;花青苷合成与相关酶活性的关系十分复杂,同种酶在不同物种甚至同一物种中表现不同,不同植物中调控红色发育的生理机制也有所不同<sup>[16]</sup>。

## 3 环境因素对槭属植物叶色表达的影响

彩叶植物的叶色表现是遗传因素和外部环境共同作用的结果<sup>[17]</sup>,叶色表达不仅与叶片细胞内色素的种类、含量及在叶片中的分布有关,而且与营养元素和环境条件有关<sup>[18]</sup>。温度是影响叶片中花色素苷含量的重要因素,当夜温高于 14 ℃ 时,红叶鸡爪槭的叶色随温度升高转淡并且生长减缓<sup>[19]</sup>。温度可以显著影响叶片中花青苷和叶绿素的含量,Deal 等指出,红叶鸡爪槭从美国北部移植到南部后,叶片褪色的原因是由于南方地区具有较高的夜温,在此条件下,呼吸作用加强,致使糖分不能积累,花青苷也被消耗,造成叶色褪失<sup>[20]</sup>。

光照强度对彩叶树种的叶色变化具有十分重要的影响,合理的光照强度是血红鸡爪槭等彩叶树种正常生长、提高质量的重要条件。相关试验结果表明,血红鸡爪槭对光照强度的变化比较敏感,叶片中花色素苷含量随着光照强度的降低而减少,且自然光下花色素苷含量明显高于遮光处理的植株<sup>[21]</sup>。

## 4 外源物质对槭属植物叶色表达的影响

于秋季对植物叶片喷施蔗糖,可在元宝槭、美国红枫叶色转红期间促进叶片中花青素的合成,显著提升花色素苷含量,提高观赏效果,但不同槭树种类所需蔗糖浓度不尽相同<sup>[22-24]</sup>。

土壤酸化处理对假色槭叶色变化具有显著的影响,其中质量分数为 4% 的硫酸亚铁溶液处理效果最为显著,可使假色槭的叶色主色调变化阶段的数量增至 7 个,并且使其发生阶段有所提前;同时,土壤酸化处理的假色槭叶色饱和度、明度在特定时期均高于对照,且叶色较浓重<sup>[25]</sup>。酸性土壤可以促进紫花槭秋季叶色发生阶段提前,从而相对延长紫花槭秋季全变色期的长度,并改善其叶色质量,使叶色更加绚烂多彩<sup>[26]</sup>。还有研究表明,秋季叶面喷施 pH 值 5.0 的模拟酸雨可提高鸡爪槭的观赏效果,并且能延长观赏期<sup>[27]</sup>。

此外,对元宝枫叶面喷施矮壮素后,花青素含量比空白低,可见对花青素的合成无促进作用<sup>[23]</sup>;而有计划地提高磷、铁和锌的施入量,可以促进红花槭花色素苷的形成<sup>[28]</sup>。

## 5 讨论与结论

近年来,彩叶植物因其亮丽的色彩而备受关注,越来越广泛地应用于园林绿化,因而对其新品种培育越来越受到人们的

关注。探明槭属彩叶植物叶片呈色的机理,是进行新品种选育的前提。目前,对槭属植物叶片呈色机理的研究仅局限于色素种类及环境因素等方面,对叶片中色素的生物合成及基因调控则鲜有报道,仅有学者从血红鸡爪槭叶片中克隆了花色素苷生物合成的几个关键基因,并对基因序列进行分析,探讨对血红鸡爪槭叶片花色素苷生物合成途径的分子调控机理<sup>[29]</sup>。

关于槭属植物叶片呈色方面的研究,今后应以以下几个方面作为重点:如何解决彩叶植物遗传不稳定性,探明彩叶植物叶色变化的基因调控机理、微量元素和矿物质对彩叶植物呈色的影响、有关色素合成酶和碳水化合物、激素等的代谢途径和活动等方面<sup>[30]</sup>。尤其是槭属彩叶植物色素合成途径的研究匮乏,限制了基因工程技术在彩叶植物上的运用。因此,要充分利用现代分子生物学的研究方法,克隆花青苷相关基因,研究影响叶色变化的关键基因结构和功能及其调控机制,通过借鉴类黄酮和花色基因工程的一些策略,可以有目的地开展叶色基因工程,从而为培育彩叶槭树新品种奠定基础。

## 参考文献:

- [1] 李倩中,刘晓宏,苏家乐. 我国槭树科植物研究进展[J]. 江苏农业科学,2008(6):184-186.
- [2] 杨孔勇. 我国槭树属植物种质资源及其园林应用研究[J]. 北方园艺,2011(14):83-85.
- [3] 于晓南,张启翔. 彩叶植物多彩形成的研究进展[J]. 园艺学报,2000,27(增刊1):533-538.
- [4] 何奕昆,代庆阳,苏学辉. 雁来红叶色转变与超微结构及色素含量的关系[J]. 四川师范学院学报:自然科学版,1995,16(3):195-198.
- [5] 楚爱香,张要战,王萌萌. 四种槭树属(*Acer*)植物秋色叶变化与色素含量和可溶性糖的关系[J]. 江西农业大学学报,2013,35(1):108-111,137.
- [6] 孙波,郑德承,崔惠梅. 紫花槭秋季叶色的变化规律[J]. 东北林业大学学报,2009,37(2):14-15.
- [7] 梁鸣,赵大勇,孙波,等. 引种紫花槭叶属性的年际变化[J]. 东北农业大学学报,2009,40(12):29-33,插1.
- [8] 丁廷发,谢必武,张凤龙. 重庆市 5 种彩叶植物色素和色彩变化规律研究[J]. 重庆三峡学院学报,2006,22(3):78-80.
- [9] 陈继卫,沈朝栋,贾玉芳,等. 鸡爪槭转色期叶色变化生理研究[J]. 核农学报,2010,24(1):171-175,180.
- [10] 陈继卫,沈朝栋,贾玉芳,等. 红枫秋冬转色期叶色变化的生理特性[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2010,36(2):181-186.
- [11] 荣立苹,李倩中,李淑顺,等. 三角枫及其变异株转色期叶色变化生理[J]. 江苏农业学报,2011,27(5):1089-1092.
- [12] 荣立苹,李倩中,李淑顺,等. 鸡爪槭黄色品种叶片转色期生理变化[J]. 西北农业学报,2012,21(1):187-191.
- [13] Schmitzer V, Osterc G, Veberic R, et al. Correlation between chromaticity values and major anthocyanins in seven *Acer palmatum* Thunb. cultivars[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 119(4):442-446.
- [14] Kramerand K. Autumn and winter garden[M]. London: London Press, 1992.
- [15] 何奕昆,奚惕. 凤仙花中花色素苷累积与苯丙氨酸解氨酶的关系[J]. 植物生理学通讯,1989,16(2):35-38.

王康宇,王 义,孙春玉,等. RNA 测序的研究进展[J]. 江苏农业科学,2014,42(10):12-16.

# RNA 测序的研究进展

王康宇,王 义,孙春玉,蒋世翠,张美萍

(吉林农业大学,吉林长春 130118)

**摘要:**RNA 测序研究是基因功能及结构研究的基础,能够从整体水平研究基因功能及其结构。随着高通量测序和定量检测技术的不断发展,能够通过 RNA 测序对转录组进行更深度更完整的研究。该研究进展包括改善转录起始位点的预测、链特异性测序、融合基因的检测、microRNA 定量的分析以及 RNA 可变剪切的识别。目前利用单分子测序技术可以实现 RNA 的直接测序,通过二代测序技术与单分子测序技术相结合的方式,能更深层次、更全面地获得转录组信息。

**关键词:**转录组信息;测序;编码 RNA;非编码 RNA;高通量测序技术;单分子测序技术

**中图分类号:** Q75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)10-0012-05

1995 年 Velculescu 等首次提出了关于转录组的概念<sup>[1]</sup>,转录组广义上是指某一特定功能状态下,细胞内所有转录表达的基因总和,其中包括编码 RNA(mRNA)和非编码 RNA 如 tRNA、rRNA、snRNA、miRNA 等,而非编码 RNA 不能被转录识别,不能翻译成蛋白质,但是能参与某些蛋白质翻译过程;狭义上是指所有 mRNA 的总和<sup>[2]</sup>。1995 年第 1 个转录组是由 Velculescu 等在酿酒酵母细胞中获得的,当时的技术共获得了 60 633 个转录本,揭示了 4 665 个基因,其中有 1 981 个基因是具有已知功能的,其他 2 684 个基因尚未被鉴定过<sup>[1]</sup>。从人类基因组计划<sup>[3]</sup>的实施开始,截至 2013 年 10 月已有 68 种植物和 119 种动物的基因组文章相继发表。高通量测序在过去十几年中快速发展,促使关于生物的功能基因组研究日

益兴起,人们利用测序技术研究了从简单模式生物(如酵母、拟南芥、水稻等)到人等一些高等物种的基因组中 DNA 修饰和 RNA 的定性定量变化等动态的基因组位点的特性。在对基因组测序和分析研究的同时,关于复杂的转录组研究也广泛发展起来。利用高通量测序技术平台分析转录组的结构和表达水平,更能挖掘未知转录本和稀有转录本,精确地识别 RNA 的可变剪切以及编码序列的单核苷酸多态性(SPN),更进一步解析复杂的转录组信息<sup>[4]</sup>。

最初的转录组研究主要以基因芯片微阵列技术为基础,由于基因芯片技术的检测范围取决于芯上的探针信息,所以只能检测已知序列的特征,缺少发现新基因的能力,而高通量测序技术可以很好地弥补基因芯片技术在这方面的不足。因此,现阶段转录组的研究是借助于高通量的二代 DNA 测序技术(NGS)<sup>[5]</sup>来完成的,通过构建 cDNA 文库并对 cDNA 进行高通量测序,分析测序结果进而解析转录组学中的复杂变化,这使 RNA 测序技术对基因芯片微阵列技术是极大的挑战。目前,以基因测序技术为核心的新技术平台支撑体系已经相对成熟和完善,例如:illumina 公司的 Solexa 测序技术、罗氏公

收稿日期:2013-12-31

基金项目:国家科技计划农村领域项目(编号:2013AA102604-3)。

作者简介:王康宇(1983—),吉林通化人,博士研究生,从事植物功能基因组学研究。E-mail: wky427@sina.com。

通信作者:张美萍,教授,博士生导师,从事植物基因组学与系统生物学研究。E-mail: wanglaoshi0606@163.com。

[16]冯立娟,苑兆和,尹燕雷,等. 槭属 2 品种叶变色期花青苷含量与相关酶活性的变化[J]. 林业科学,2009,45(8):56-60.

[17]姜卫兵,庄 猛,韩浩章,等. 彩叶植物呈色机理及光合特性研究进展[J]. 园艺学报,2005,32(2):352-358.

[18]晁月文,李竞芸,张广辉. 彩叶植物呈色机理及其育种研究进展[J]. 江苏林业科技,2008,35(4):46-48,52.

[19]Oren-Shamir M,Levi-Nissim A. UV-light effect on the leaf pigmentation of *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'[J]. Scientia Horticulturae,1997,71(1/2):59-66.

[20]Deal D L,Raulston J C,Hinesley L E. Leaf color retention, dark respiration, and growth of red-leaved Japanese maples under high night temperatures[J]. Amer Soc Hort Sci,1990,115(1):135-140.

[21]张 琰,卓丽环,赵亚洲. 遮荫处理对“血红鸡爪槭”叶片色素及碳水化合物含量的影响[J]. 上海农业学报,2006,22(3):21-24.

[22]李玉娟,张 健,李 敏,等. 蔗糖和不同外源激素处理对美国红枫色叶的影响[J]. 广西农学报,2009,24(6):27-28,42.

[23]杨铁华,梁 鸣,佟 斌,等. 外源物质对元宝槭生长及生理特性的影响[J]. 国土与自然资源研究,2010(2):80-80.

[24]陈 睿,徐书霞,吕建洲. 外源蔗糖对红花槭叶色参数和色素含量的影响[J]. 天津农业科学,2012,18(2):14-16.

[25]孙 波,刘晓东,郑德丞. 假色槭叶色变化对土壤施 FeSO<sub>4</sub> 酸化处理的响应[J]. 东北林业大学学报,2008,36(9):51-52,58.

[26]韩 辉,宫 伟. 不同土壤酸碱度对紫花槭秋季叶色变化的影响[J]. 吉林农业,2010(6):76,80.

[27]唐 玲,李倩中,李淑顺,等. 秋季模拟酸雨对鸡爪槭叶片呈色相关生理的影响[J]. 江苏农业学报,2010,26(6):1357-1361.

[28]马 晓,陈 刚,张冬梅. 生态因子及矿质元素对红花槭叶片色素含量的影响[J]. 北方园艺,2012(13):86-88.

[29]安龙杰. 鸡爪槭叶片花色苷合成关键基因的克隆和序列分析[D]. 保定:河北农业大学,2012.

[30]洪 丽,王金刚,龚束芳. 彩叶植物叶色变化及相关影响因素研究进展[J]. 东北林业大学学报,2010,41(6):152-156.