

辐射诱导的白花紫露草花青素含量及成分研究

刘瑞媛^{1,2} 余丽霞¹ 杜艳¹ 李欣¹ 金文杰¹ 曲颖¹ 董喜存¹ 李文建¹

¹ (中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

² (甘肃农业大学 兰州 730000)

摘要 利用初始能量为 80 MeV/u 的碳离子束对白花紫露草枝条进行了辐照处理, 吸收剂量范围 0–20 Gy, 得到彩叶变异株, 针对其叶片花青素含量和成分, 采用 pH 示差法及 HPLC-MS 进行了测定。结果表明, 白花紫露草彩叶植株的总花青素含量 0.162 mg/g, 是对照株 0.009 mg/g 的 18 倍。彩叶变异株粉色叶片中共检测出 7 种花青素成分: 天竺葵素、矢车菊素、锦葵色素、矮牵牛素、天竺葵-3-葡萄糖苷、芍药素-3-葡萄糖苷以及矢车菊-3-O-鼠李葡萄糖苷。白花紫露草对照中共鉴定出 6 种花青素成分。与对照株相比, 变异株中增加了矮牵牛素, 且各花青素成分含量均得到了提高, 提示白花紫露草彩叶变异株叶片变为粉色是由花青素含量增高及成分的变化引起的。

关键词 白花紫露草, 花青素, 碳离子束, 变异, 辐照

中图分类号 Q691.5, TL99

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2015.rj.33.040402

随着经济快速增长, 花卉产业异军突起, 在世界经济舞台上扮演着越来越重要的角色, 如今已成为世界上最具活力的产业之一。而花卉育种在花卉产业的发展中占有重要的基础地位。花卉育种手段主要有传统的常规育种、生物技术育种和诱变育种等, 其中诱变育种包括物理诱变和化学诱变。辐射诱变和航天诱变同属于物理诱变, 但辐射诱变育种较航天诱变方法简单、安全、经济、突变率高、变异稳定快, 可在较短的时间内育出新品种, 因此辐射诱变育种更适合人们培育花卉求新求异的特点, 从而成为花卉品种选育的重要手段之一。

目前应用于观赏植物辐射诱变育种的常用射线主要有重离子束、 β -射线、 γ -射线、X-射线和中子等。重离子束作为一种新的辐射源, 由于其具有传能线密度高、相对生物效率高、损伤后修复效应小和能量沉积的空间分辨性好等特点, 正逐步受到花卉育种工作者的青睐。

目前, 通过重离子辐照诱变育种技术已成功获得了仙客来、菊花、康乃馨和一串红等的花卉突变株^[1-3], 因此, 重离子辐射诱变育种为花卉育种开辟了一个新途径。

白花紫露草(*Tradescantia flumiensis*)又名淡竹叶、白花紫鸭跖草, 是鸭跖草科(*Commelinaceae*)紫露属(*Tradescantia*)多年生草本植物^[4], 原产于南美、巴西中部、乌拉圭和巴拉圭。性喜温暖湿润气候, 适宜生长温度为 15–25 °C, 畏烈日, 宜生于有明亮的散射光处, 对土壤要求不高。其植株铺散, 叶色美观, 宜盆栽观赏, 是书橱、几架的良好装饰植物。夏季又可作为吊挂廊下的观叶植物。多被养花者作为盆栽悬吊观赏植物。常见栽培的还有花叶品种, 叶片上有白色条纹。白花紫露草通常在春末秋初时进行扦插繁殖, 容易栽培, 生长强健。同时, 利用紫露草也可以检测辐射污染相关的研究。因此, 中国科学院近代物理研究所科研人员根据白花紫露草对环境变化的敏感性以及重离子辐照诱变高效的特点, 对其进行碳离子辐照, 筛选出白花紫露草彩叶变异株, 其特征是茎秆紫色、叶片随温度降低出现粉色斑块且斑块颜色深浅与面积随温度发生变化的特征。由于叶片出现粉色主要是基于花青素含量变化的结果, 故本研究利用 pH 示差法、HPLC-MS 技术对其彩叶突变体粉色叶片中花青素含量及成分进行了测定, 重点研究突变体叶片内花青素变化的规

基金资助: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB3-05-01)资助

第一作者: 刘瑞媛, 女, 1983 年 9 月出生, 2008 年于陕西师范大学获生物化学与分子生物学专业硕士学位, 现就职于中国科学院近代物理研究所, 助理研究员, 主要从事辐射育种及分子机理的研究

通讯作者: 李文建, 博士, 研究员, E-mail: wjli@impcas.ac.cn; 董喜存, 博士, 副研究员, E-mail: dongxicun@impcas.ac.cn

收稿日期: 初稿 2015-04-13; 修回 2015-05-19

律, 以期为重离子束辐照诱变花卉育种提供理论依据, 进一步提高花卉诱变育种的效率。

1 材料与方法

1.1 材料及试剂

选取温室内长势一致的盆栽白花紫露草 (*Tradescantia fluminensis*), 剪取茎尖, 长度 8–10 cm。

岛津 LC-20AD 高效液相色谱仪(日本 Shimadzu 公司), 配备二极管阵列检测器(DAD); LTQ VelosOrbitrap 质谱仪(德国 Thermo 公司), 配有电喷雾离子源(ESI); BSA224S 型电子分析天平(赛多利斯科学仪器有限公司); TDL-5-A 低速台式大容量离心机(上海安亭科学仪器厂); N-1100DW 旋转蒸发仪(上海爱郎仪器有限公司); 分光光度计。对照品(美国 Sigma 公司)、乙腈、甲醇(色谱纯, 美国 Sigma 公司)、甲酸、乙酸(色谱纯, 天津科密欧化学试剂有限公司)、水为去离子重蒸水。

1.2 方法

1.2.1 辐照及培养方法

取 5 个白花紫露草茎段, 捆成一束, 固定于转盘上。实验在兰州重离子加速器国家实验室(NL-HIAL)重离子研究装置(HIRFL)TL2 终端上进行, 以初始能量为 95.8 MeV/u, 剂量率 4 Gy/min 的碳离子束引出真空, 在室温和大气条件下照射白花紫露草茎段, 剂量设置为 0–20 Gy。每个处理设三次重复。处理后, 扦插到装有园土:草炭土:河沙配比为 4:1:1 的混合土壤的花盆内, 花盆直径 18 cm。置于自然条件下的温室内, 进行培养观察。

1.2.2 叶片花青素的提取

选取 15 °C / 6 °C (白天/黑夜) 培养条件下的白花紫露草对照和彩叶变异株各 1.0 g 同叶位新鲜叶片, 于液氮中研成粉末, 用 5 mL 酸性甲醇(0.1% HCl)浸提, 转至 10 mL 离心管中涡旋 30 s, 再于 25 °C, 300 r/min 恒温振荡 40 min, 2500 r/min 条件下离心 15 min。以上步骤重复两次, 并将两次上清合并, 定容于 10 mL 容量瓶中, 并用 0.45 μm 滤膜过滤。取上述 3 mL 滤液, 加 3 mL 水, 3 mL 氯仿, 涡旋振荡 30 s 并使之混匀。静置后, 20 °C, 2500 r/min 离心 15 min, 使含有叶绿素的有机相与含有花青素的水相分离。取水相, 旋转蒸发成浓缩液, 即获得白花紫露草及其彩叶突变体的花青素。

1.2.3 总花青素含量测定

利用 pH 值示差法, 参照文献[5]的方法, 略有改动。将 1.0 mL 花青素浓缩液加入到 9.0 mL KCl 缓冲液(0.025 mol/L KCl, pH=1.0)或 NaAc 缓冲液(0.4 mol/L CH₃CO₂Na·3H₂O, pH=4.5)中, 室温静置 15 min, 分光光度计分别检测 520 nm 及 700 nm 的吸光度。

总花青素含量(以氯化矢车菊计)的计算如公式(1)。

$$\text{花青素浓度}(\text{mg/L}) = [A \times M_w \times V \times F \times 1000] / \epsilon m \quad (1)$$

其中, $A = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}=1.0} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}})_{\text{pH}=4.5}$; M_w 为氯化矢车菊相对分子质量(322.5 g/mol); V 为稀释体积; F 为稀释倍数(本实验稀释 10 倍); ϵ 为氯化矢车菊摩尔消光系数(17157 mol⁻¹); m 为样品质量。

1.2.4 花青素成分及其在样本中相对含量测定

利用 HPLC-MS 技术检测花青素的成分及其相对含量。

色谱条件: 色谱柱: C18 柱(150 mm×2.1 mm, Waters, USA); 流动相 A: 5%甲酸水溶液, 流动相 B: 100%乙腈溶液; 梯度洗脱程序: 0–2 min, 5%B; 2–3 min, 7%B; 3–4 min, 8%B; 4–5 min, 70%B; 5–9 min, 90%B; 9–11 min, 95%B; 11–14 min, 95%–5%B; 14–15 min, 5%B; 流速: 0.2 mL/min; 进样体积为 10 μL。

质谱条件: ESI 离子源, 正离子模式采集数据, 扫描质量 m/z 50–1500。离子源参数 ESI: 鞘气为 30, 辅气为 10, 毛细管温度为 350 °C, 锥孔电压 4.5 kV。

2 数据统计及分析

样品中花青素含量最终以 1.0g 试样含有的花青素的质量(mg)来表示, 数据利用 SPSS18.0 软件分析处理, 组间显著性比较用 t 检验, $p < 0.05$ 表示差异显著, $p < 0.01$ 表示差异极显著。

花青素成分鉴定通过对所有质谱峰进行降噪、峰匹配等处理, 对变量进行加和离子和同位素峰注释, 并根据其精确分子量检索化合物数据库。所用的数据库有: METACYC (MetaCyc Database), HMDB (Human Metabolome Database), NCBI (National Center for Biotechnology Information), KEGG 数据库。

3 结果

3.1 碳离子束辐照诱导的白花紫露草变异株的表型变化

2007年3月份以碳离子束辐照白花紫露草茎尖后，扦插于花盆。9月末，通过表型观察，在吸收剂量为20 Gy的辐照处理组筛选到白花紫露草叶片基部出现粉色斑块的植株，并于第二年进行扦插扩繁。如图1所示，白花紫露草对照株(WT, wild type)常年呈绿色，叶互生，长椭圆形，茎节处膨大，贴地茎节易生根。与对照株相比，彩叶变异株表型变化很大。花紫露草彩叶变异株(MT, mutant type)茎由绿色变为紫红色，该变异株叶片颜色随季节变化，秋冬季节温度降低时新生叶片在叶片基部出现粉色，直到整叶均为粉色。而后随着温度升高，粉色慢慢褪去，盛夏时完全变为深绿色。

迄今该变异株已扩繁至数千株，突变性状一直保持稳定。在对变异株生长条件进行优化时发现，该植株非常易于栽培，在园土：草炭土：河沙配比为4：1：1的混合土壤中扦插繁殖即可。

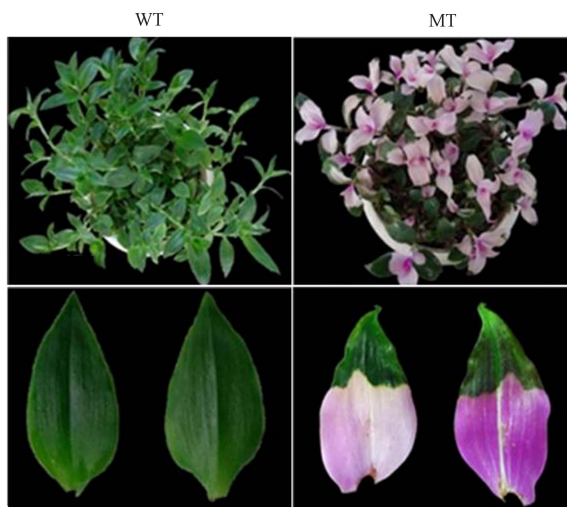


图1 碳离子辐照诱导的白花紫露草彩叶突变株

Fig.1 The mutant of *Tradescantia fumiensis* induced by carbon ions

3.2 白花紫露草及其彩叶变异株总花青素含量的测定

植物叶片中通常包含3种主要色素，即叶绿素、类胡萝卜素和花青素。在植物绿色叶片中叶绿素占主导地位，类胡萝卜素普遍存在，但其含量很低，花青素被认为也存在于植物叶片中。这3种色素在

细胞中的含量和位置决定了叶片的颜色表现。通常叶色改变是由于花青素含量变化造成的，因此主要对白花紫露草对照株及变异株的总花青素含量进行了测定。花青素发色团结构的转换是pH值的函数，而且起干扰作用的棕褐色（降解）产物的特征光谱不随pH值的改变而变化，结合朗伯-比耳定律^[5]可得出，在2个不同的pH值下，花青素溶液的吸光值的差值与花青素的含量成比例。因此通过两个pH值，同一波长（以花青素最大可见吸收波长）下的吸光值差值，参考花青素含量的计算公式便可以测得总花青素含量。由图2可以看出，白花紫露草彩叶变异株其粉色叶片中其总花青素含量(0.162 mg/g)显著高于对照株(0.009 mg/g)，是对照株的18倍。进一步说明变异株叶片粉色是由花青素决定的，而对照株绿色叶片中也含有花青素，但其含量很低，故其叶片不会出现粉色。

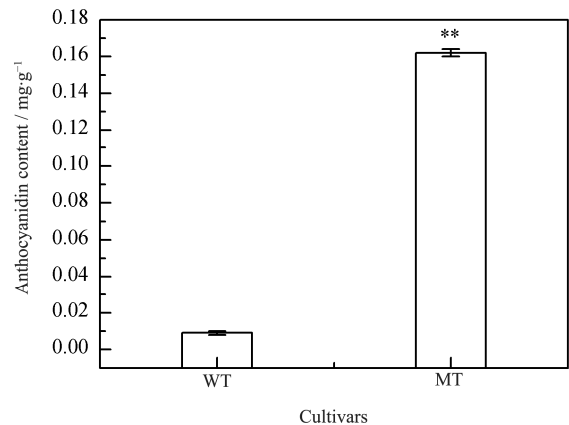


图2 白花紫露草及其彩叶变异株总花青素含量
**, $p < 0.01$

Fig.2 The anthocyanidin content of *Tradescantia fumiensis* and its mutant with color leaves, **, $p < 0.01$

3.3 白花紫露草及其彩叶变异株花青素成分及其相对含量的测定

目前，分析花青素苷成分时比较常用的方法主要有：HPLC-ESI-MS、EI-MS和APCI-MS等，本研究利用HPLC-MS技术对白花紫露草对照和彩叶变异株的花青素组成成分进行分析。花青素苷成分复杂，较难分离，通过一系列预实验，以乙腈、水为流动相，进行甲酸不同添加量的梯度洗脱优化。结果发现，流动相A为5%甲酸浓度时，样品中花色苷成分分离度好，基线平稳（如图3），分离效果理想。通过分析化合物的色谱保留时间，紫外最大

吸收波长, 并通过质谱的分子离子峰和碎片离子峰并利用 METACYC、HMDB、NCBI 和 KEGG 数据库对图 3 中样品各峰进行比对, 共鉴定出 7 种花青素苷, 且 MT 中各花青素苷成分丰度显著高于 WT (见图 4)。由表 1 可以看出, 在白花紫露草中共检测出 6 种花青素, 分别是天竺葵素、矢车菊素、锦葵色素、天竺葵-3-葡萄糖苷、芍药素-3 葡萄糖苷以及矢车菊-3-O-鼠李葡萄糖苷。而在其彩叶变异株中, 共检测出 7 种花青素成分, 在 WT 花青素成分

的基础上, 增加了矮牵牛素。MT 中各成分相对含量与 WT 相比均有所提高, 其中变化最大的是矮牵牛素, WT 中缺失矮牵牛素, 而 MT 中含有 $0.47 \mu\text{g/mL}$ 矮牵牛素; 其次是天竺葵 3-葡萄糖苷, 其含量由 $7.66 \mu\text{g/mL}$ 升高到 $16.79 \mu\text{g/mL}$ 。MT 中总花青素含量与 WT 相比也有所升高, 由 $17.79 \mu\text{g/mL}$ 升高到 $24.78 \mu\text{g/mL}$, 提高了 39.35%。综上, MT 叶片颜色为粉色是由于其花青素含量升高以及成分变化造成的。

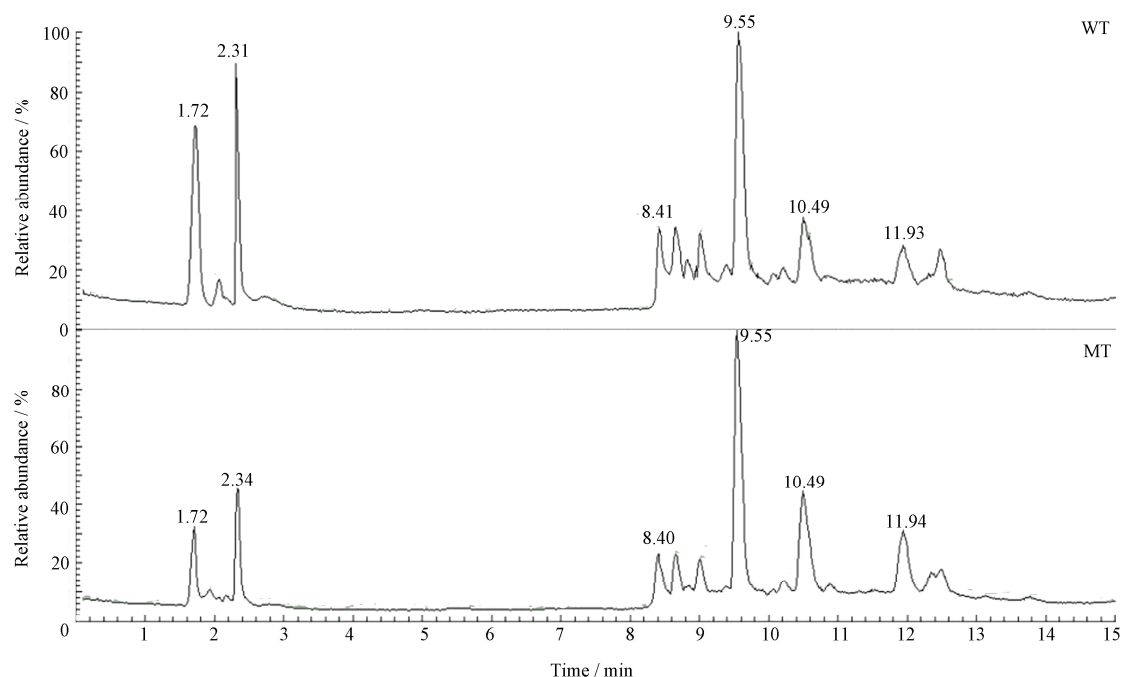


图 3 花青素成分总色谱图

Fig.3 The total chromatogram of anthocyanin pigmentation

表 1 白花紫露草及其彩叶变异株花青素成分及其相对含量的鉴定

Table 1 The identification of anthocyanin pigmentation and relative content of *Tradescantia fumiensis* and its mutant

质荷比 m/z	滞留时间 / s Retention time	质量精度 / 10^{-6} Quality precision	化合物名称 Compounds name	WT / $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	MT / $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$
271.06	496.58	9.4	天竺葵素 Pelargonidin	0.1	0.23
287.05	525.45	9.8	矢车菊素 Cyanidin	0.63	0.88
317.06	506.28	9.8	矮牵牛素 Petunidin	ND	0.47
331.08	564.56	7.1	锦葵色素 Malvidin	0.5	0.62
433.11	507.26	9.5	天竺葵-3 葡萄糖苷 Pelargonidin-3-glucoside	7.66	16.79
463.12	500.47	8.4	芍药素-3 葡萄糖苷 Peonidin-3-glucoside	0.36	0.41
595.16	501.45	7.6	矢车菊-3-O-鼠李葡萄糖苷 Cyanidin-3-O-rhamnosylglucoside	0.19	0.47

注: ND 表示无该成分。

Note: ND, not detected.

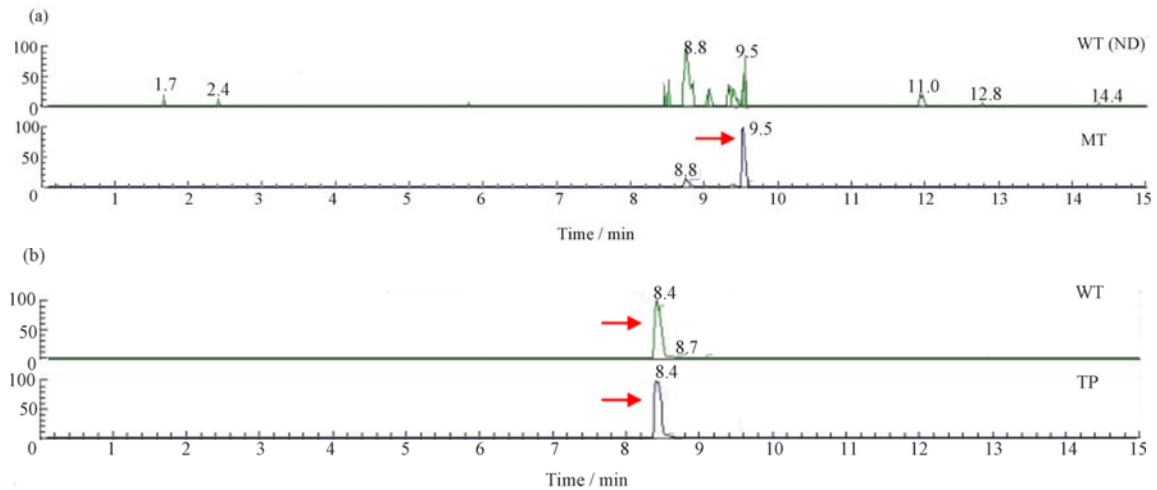


图4 不同花青素成分色谱图 (ND 表示无该成分; (a) 矮牵牛素, (b) 天竺葵-3-葡萄糖苷)

Fig.4 The different chromatogram of anthocyanin pigmentation (ND, Not detected; (a) Petunidin; (b) Pelargonidin-3-glucoside)

4 讨论

随着人们生活质量的不断提高, 环境绿化和美化日益受到人们的重视。传统的绿化植物材料品种单一, 绿化景观单调, 已经远远不能满足人们的需要。彩叶植物由于具有绚丽多样的色彩, 在春夏两季盛花期过后与绿叶植物相互丰富了景观色彩, 已经成为目前绿化和美化的新宠^[7-8]。目前, 我国推广应用的彩叶植物大多数是通过天然杂交或自然变异筛选而来的, 选育过程长, 不能适应我国园林快速发展的需要。而辐射诱变育种的突变率高, 变异稳定且快速, 可以在较短的时间内选育出新品种, 极大提高了育种工作的效率。重离子束作为一种新的辐射源, 由于其具有高的传能线密度及相对生物学效应, 能够增加诱变效率, 突变谱宽, 氧增强比(OER)较小和 DNA 损伤的可修复性等特点, 近年来已广泛应用于植物诱变育种工作中^[3,8-10], 但是未见有辐照常绿植物进行诱变并得到彩叶突变的报道。

碳离子束辐照白花紫露草诱导的彩叶变异株最明显的变化在于叶片, 叶片颜色随温度的降低, 由单一的绿色变为粉绿斑叶, 且突变性状稳定, 从而可以为冬季园林增添多样的色彩。通常高等植物叶片中的色素主要包括 3 类, 即叶绿素、类胡萝卜素和类黄酮类色素, 其中叶绿素包括叶绿素 a 和叶绿素 b; 类胡萝卜素包括类胡萝卜素和叶黄素; 类黄酮类色素又称为花色素苷。不同色素在外观上呈现不同的颜色: 叶绿素 a 表现为蓝绿色, 叶绿素 b 表现为黄绿色, 类胡萝卜素为橙黄色, 叶黄素表现为

黄色, 花色素苷在酸性或碱性条件分别表现为红色或蓝色。本研究以碳离子($^{12}\text{C}^{6+}$)辐照的白花紫露草彩叶稳定变异株为研究对象, 其最明显的特征是叶片在低温环境由单一的绿色转变为粉绿斑叶, 说明在低温条件下其粉绿色斑叶是花色素苷起主导作用。利用 pH 值示差法对二者的总花青素含量进行了测定, 结果发现, 在野生型白花紫露草叶片中, 其几乎不含花青素, 花青素含量仅为 0.001 mg/g, 显著低于彩叶突变体粉绿斑叶中花青素的含量 (0.051 mg/g), 说明白花紫露草彩叶变异株粉绿斑叶是由花青素决定的, 而对照的绿色叶片中也含有花青素, 但其含量相当低, 故其叶片不会出现粉色。

花青素属于类黄酮色素的主要色素, 主要积累在花瓣表皮细胞的液泡内, 控制花瓣颜色。花青素的基本结构母核是 2-苯基苯并呋喃, 大多数花青素在花色单元的 3, 5, 7 碳位上有取代基。由于取代基不同, 形成了各种各样花青素, 目前已知的有 20 多种, 植物中常见的有天竺葵素、矢车菊素、飞燕草素、锦葵色素、矮牵牛素、芍药色素的衍生物^[11-12], 且 Yoshida 等^[13]发现, 随着花青素取代基的变化, 其颜色也发生变化, 天竺葵素呈现橙色、砖红色、粉红色和红色, 矢车菊素呈现洋红色和深红色, 飞燕草素呈现蓝紫色和蓝色, 芍药花素、锦葵素和矮牵牛素呈现紫红色和蓝紫色, 且依次越来越偏向蓝色调。但不同植物中含有的花青素苷各不相同, 进一步利用 HPLC-MS 对白花紫露草及其彩叶突变体的花青素成分进行了比较研究, 在白花紫露草中共检测出 6 种花青素, 分别是天竺葵素、矢车菊素、

锦葵色素、天竺葵-3-葡萄糖苷、芍药素-3 葡萄糖苷以及矢车菊-3-O-鼠李葡萄糖苷。而在其彩叶突变体中,共检测出 7 种花青素成分,在白花紫露草原有花青素成分的基础上,增加了矮牵牛素,其他花青素成分的相对含量与对照相比均有所提高,且这几种花青素成分呈现红色、紫色。进一步说明白花紫露草彩叶突变体出现粉色叶片主要是由于矮牵牛素的出现以及其他花青素含量的增加引起的。

植物经重离子辐照后,叶绿素缺失及花色突变是一种普遍现象。在叶绿素缺失方面:Abe 等^[14]利用碳离子束辐照水稻种子至吸收剂量为 40 Gy, M2 代群体的白化突变率为 7.31%,且水稻干种子经氦离子辐照至吸收剂量为 20 Gy 后,其叶绿体缺失突变率达 11.6%。Zhou 等^[15]利用 221 MeV 碳离子束辐照非洲堇叶片的外植体不定芽至吸收剂量为 5 Gy 后,同样也出现了叶片边缘白化的叶绿素缺失突变体。在花色突变方面,Matsumura 等^[2]利用碳离子束辐照菊花叶片和花瓣外植体至吸收剂量为 4 Gy 后,其花瓣颜色突变率为 7.4%。Sugiyama 等^[16]对仙客来花粉管进行碳离子束辐照至吸收剂量为 12 Gy,花瓣颜色突变率达 13.3%。而白花紫露草经碳离子辐照后,其变异株叶片出现粉色斑块,像这种经重离子辐照后,植物叶片同时发生叶绿体缺失和花青素含量增加的研究,未见报道,但彩叶变异株由哪些特定基因造成叶片颜色突变,仍需进一步的深入研究。

参考文献

- Nakayama M, Tanikawa N, Morita Y, *et al.* Comprehensive analyses of anthocyanin and related compounds to understand flower color change in ion-beam mutants of cyclamen (*cyclamenspp*) and carnation (*dianthus caryophyllus*) [J]. *Plant Biotechnology*, 2012, **29**: 215-221.
- Matsumura A, Nomizu T, Furutani N *et al.* Ray florets color and shape mutants induced by $^{12}\text{C}^{5+}$ ion beam irradiation in chrysanthemum [J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, **123**(1): 558-561.
- Wu D L, Hou S W, Qian P P, *et al.* Flower color chimera and abnormal leaf mutants induced by $^{12}\text{C}^{6+}$ heavy ions in *Salvia splendens* Ker-Gawl [J]. *Scientia Horticulturae*, 2009, **121**: 462-467.
- 陈宝鑫, 王晓旭, 张倩怡. 白花紫露草的组织培养与植株再生体系的建立[J]. *北方园艺*, 2009, **6**: 84-86.
- CHEN Baoxin, WANG Xiaoxu, ZHANG Qianyi. Tissue culture and plantlet regeneration of *tadescantia fluminensis* [J]. *Northern Horticulture*, 2009, **6**: 84-86.
- Kanitha T, Tewaruth W. Extraction and application of antioxidants from black glutinous rice [J]. *LW-Food Science and Technology*, 2010, **43**: 476-481.
- 任全进, 于金平, 韩福贵. 浅谈彩叶植物在园林中的应用[J]. *江苏农业科学*, 2007, **3**: 129-132.
- REN Quanjin, YU Jinping, HAN Fugui, *et al.* The introduction of application of color-leaf plants in the garden [J]. *Journal of Jiangsu Agricultural Science*, 2007, **3**: 129-132.
- 刘维华, 李梅. 彩叶植物的观赏价值及应用前景探讨[J]. *四川林勘设计*, 2005, **2**(6): 25-27.
- LIU Weihua, LI Mei. Discussion of Ornamental value and application prospect of color-leaf plants [J]. *Sichuan Forestry Exploration and Design*, 2005, **2**(6): 129-132.
- Xue X, Liu B M, Zhang L L, *et al.* Mutagenic effects of heavy ion irradiation on rice seeds [J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 2012, **290**: 19-25.
- Meng Z G, Liang S J, Hang X M, *et al.* Identification of heavy-ion radiation-induced microRNAs in rice [J]. *Advances in Space Research*, 2011, **47**: 1054-1061.
- 唐掌雄, 刘志芳, 施巾帼. 重离子辐照冬小麦诱变效应的研究[J]. *核技术*, 2008, **28**(1): 30-33.
- TANG Zhangxiong, LIU Zhifang, SHI Jinguo. Studies on mutagenic effects of winter wheat by heavy ions irradiation [J]. *Nuclear techniques*, 2008, **28**(1): 30-33.
- Araceli C O, Lourdes P H, Elena P H, *et al.* Chemical studies of anthocyanins: a review [J]. *Food Chemistry*, 2009, **113**: 859-871.
- 赵云荣, 王世雷. 植物花青素研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2008, **36**(8): 3095-3097.
- ZHAO Yunrong, WANG Shilei. Research progress of anthocyanin [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2008, **36**(8): 3095-3097.
- Yoshida K, Mori M, Kondo T. Blue flower color development by anthocyanins: from chemical structure to cell physiology [J]. *Natural Product Reports*, 2009, **26**(7): 857-964.
- Abe T, Matsuyama T, Sekido S, *et al.* Chlorophyll-deficient mutants of rice demonstrated the deletion of a DNA fragment by heavy-ion irradiation [J]. *Journal of Radiation Research*, 2002, **43**(S): 157-161.
- Zhou L B, Li W J, Yu L X, *et al.* Linear energy transfer

dependence of the effects of carbon ion beams on
adventitious shoot regeneration from *in vitro* leaf explants
of *Saintpaulia ionantha* [J]. International Journal of
Radiation Biology, **82**(7): 473-481.

16 Sugiyama M, Saito H, Ichida H, *et al.* Biological effects
of heavy-ion beam irradiation on cyclamen [J]. Plant
Biotechnology, 2008, **25**(1): 101-104.

Anthocyanin contents and pigmentation analysis of *tradescantia fumiensis* mutant induced by radiation

LIU Ruiyuan^{1,2} YU Lixia¹ DU Yan¹ LI Xin¹ JIN Wenjie¹
QU Ying¹ DONG Xicun¹ LI Wenjian¹

¹(Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

²(Gansu Agricultural University, Lanzhou 730000, China)

ABSTRACT The branches of *tradescantia fumiensis* were irradiated with carbon ions, and the initial energy of the carbon ions was 95.8 MeV/u (dose rate 4 Gy/min, dose range 0–20 Gy). A mutant line with pink leaves was obtained. The aim is to explore the mutation mechanism of the mutant with pink leaves obtained by carbon ions irradiation in *tradescantia fumiensis*. pH differential method was used to evaluate the total anthocyanidin content of wild type and its mutant with pink leaves. HPLC-MS method was used to detect the anthocyanin pigmentation between wild type and its mutant with pink leaves. The total anthocyanidin content of the mutant was 18 fold than that of wild type. Seven anthocyanins were determined and identified as pelargonidin, cyaniding, petunidin, malvidin, pelargonidin-3-glucoside, peonidin-3-glucoside and cyanidin-3-O-rhamnosylglucoside in the mutant; Six anthocyanins were determined and petunidin could not be detected in wild type. The results showed that, compared with wild type, the total anthocyanidin content increased and the components of anthocyanin were also changed in the mutant.

KEYWORDS *Tradescantia fumiensis*, Anthocyanin, Carbon ions, Mutant, Radiation

CLC Q691.5, TL99