

doi : 10. 16473/j. cnki. xblykx1972. 2019. 01. 010

‘火焰’茶条槭休眠期种子辐射处理对其幼苗的影响*

刘秋萍, 王京伟, 黄晓旭, 刘冬云
(河北农业大学 园林与旅游学院, 河北 保定 071000)

摘要: 为诱导产生突变植株, 利用不同辐射剂量的⁶⁰Co- γ 射线对‘火焰’茶条槭休眠期的种子进行辐射处理, 并观测辐射处理对种子萌发后实生幼苗的叶色及叶绿素、光合特性及荧光特性的影响。主要研究结果如下: 在夏季, 各辐射处理叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素总量、类胡萝卜素含量、花色素苷含量均与对照无显著差异; 在秋季, 各辐射处理叶绿素 a 含量和叶绿素总量均在 20Gy 处理时降到最低, 且均与对照差异显著 ($P < 0.05$); 在秋季, 类胡萝卜素含量在 20Gy 辐射处理时达到最低, 比对照低了 44.62%, 与对照差异极显著 ($P < 0.01$); 在秋季, 60Gy 和 200Gy 辐射处理时, 各辐射处理叶片的花色素苷含量比对照分别低了 36.68%、70.59%, 与对照差异极显著 ($P < 0.01$); 叶片光饱和点 (LSP) 和表观量子效率 (AQY) 均在 20Gy 辐射处理时达到最大, 而光补偿点 (LCP) 在 20Gy 辐射处理时降到了最低; 实生幼苗叶片净光合速率 (P_n) 日变化、蒸腾速率 (T_r) 日变化以及气孔导度 (G_s) 日变化均为“单峰”曲线; 与对照相比, F_v/F_o 值、 F_v/F_m 值、 ABS/RC 值及 Dlo/RC 值差异不显著, F_o 值在 200Gy 时最大, 达到极显著 ($P < 0.01$) 差异, TRo/RC 值在 100Gy 和 200Gy 辐射处理时与对照差异极显著 ($P < 0.01$), ETo/RC 值在 100Gy 辐射处理时达到最大且与对照达到显著 ($P < 0.05$) 差异。低剂量 (20Gy) 辐射‘火焰’茶条槭休眠期种子, 可以增强叶片的光合能力, 过高的辐射剂量 (100–200Gy) 抑制了叶片的光合作用。

关键词: ‘火焰’茶条槭; 叶色; 叶绿素; 光合特性; 荧光特性

中图分类号: S 723.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-8246 (2019) 01-0054-09

Effects of Radiation Treatment on the Seedling of *Acer ginnala* 'Flame' during Dormancy Period

LIU Qiu-ping, WANG Jing-wei, HUANG Xiao-xu, LIU Dong-yun

(College of Landscape Architecture and Tourism, Agricultural University of Hebei, Baoding Hebei 071000, P. R. China)

Abstract: In order to induce mutant plants, different doses of ⁶⁰Co- γ -rays were used to treat the seeds of *Acer ginnala* 'Flame' during dormant period, and the leaf color and chlorophyll of the seedlings after germination were observed. Effects of photosynthetic and fluorescence characteristics. The main results were as follows: in summer, there was no significant difference in chlorophyll a content, chlorophyll b content, chlorophyll total amount, carotenoid content and anthocyanin content between the radiation treatments and the control. In autumn, the chlorophyll a content and total chlorophyll content of each radiation treatment decreased to the lowest in 20Gy treatment, and the difference was significant ($P < 0.05$) compared with the control, and in autumn, the content of chlorophyll a and the total chlorophyll content in each radiation treatment decreased to the lowest. The content of carotenoid reached the lowest under 20Gy radiation treatment, which was 44.62% lower than that of the control, and

* 收稿日期: 2018-05-31

基金项目: 河北省重点研发计划-农业关键共性技术攻关专项项目“景观林木、乡土树种种质资源筛选和创新课题 (17226320D)”。

第一作者简介: 刘秋萍 (1992-), 女, 硕士研究生, 主要从事园林植物培育研究。E-mail: 15033259616@163.com

通讯作者简介: 刘冬云 (1971-), 女, 副教授, 硕士生导师, 博士, 主要从事地被植物资源收集及育种研究。

E-mail: dongyunliu@hebau.edu.cn

the difference between the two groups was very significant ($P < 0.01$). In autumn, the contents of anthocyanin in leaves of 60Gy and 200Gy radiation treatments were 36.68% and 70.59% lower than those of the control, respectively, and the difference was very significant ($P < 0.01$). The light saturation point (LSP) and apparent quantum efficiency (AQY) of the leaves reached the maximum at 20Gy radiation treatment, while the optical compensation point (LCP) decreased to the lowest at 20Gy radiation treatment. Diurnal variation of net photosynthetic rate (P_n) and transpiration rate (Tr) in seedling leaves The (G_s) diurnal variation of stomatal conductance and the change of stomatal conductance were all “single peak” curves. There was no significant difference in F_v/F_o value, F_v/F_m value, ABS/RC value and DIO/RC value between the two groups, but the F_o value was the highest at 200Gy, and the TRo/RC value was very significant ($P < 0.01$) at 100Gy and 200Gy radiation treatment. The ETo/RC value reached the maximum under 100Gy irradiation and there was significant ($P < 0.05$) difference from the control. Conclusion: low dose (20Gy) radiation can enhance the photosynthetic ability of leaves of *Acer ginnala* ‘Flame’ during dormant period, and the radiation dose is too high (100–200Gy) inhibited leaf photosynthesis.

Key words: *Acer ginnala* ‘Flame’; photosynthetic characteristics; fluorescence characteristic

‘火焰’茶条槭(*Acer ginnala* ‘Flame’)是槭树科(Aceraceae)槭属的落叶灌木,其春秋叶色红艳,色叶期维持时间长,极富观赏性,是优秀的观叶园林植物新品种。辐射诱变育种是利用 γ 射线等诱发植物基因和染色体畸变获得有价值的突变体,从而育成优良的观赏园艺品种。诱变后代的选择是从变异群体中有目的地把符合育种目标的变异筛选出来,供育种直接或间接应用。目前,有关茶条槭的研究,主要集中在扦插繁殖^[1]、组培繁殖^[2]、抗旱^[3]及抗盐碱的研究^[4],而在育种方面的研究较少,利用⁶⁰Co- γ 射线对‘火焰’茶条槭进行辐射处理还尚未见报道。因此,本试验旨在通过辐射诱变,分析实生幼苗叶色及叶绿素、光合特性及荧光特性等方面的变化,以期得到‘火焰’茶条槭的潜在变异植株,从中选育出抗性强且更有观赏价值的彩叶灌木新品种。

1 材料与方 法

1.1 材料及试验地概况

试验材料为‘火焰’茶条槭休眠期种子,种子来源于北京林业大学科技股份有限公司。试验设在河北农业大学试验苗圃地,地理坐标为115°48'E, 38°85'N,海拔18m。属暖温带亚湿润气候类型,极端最低气温(1月)为-26.8℃,极端高温(7月)为43.3℃,年均气温差距较大。年均降雨量500mm左右,主要集中在7–8月,占年总降水量的60%左右,无霜期165–210d。春季干旱多风,夏季炎热多雨,秋季气候凉爽,冬季寒冷少雪,四季分明。试验地土壤类型为石灰性潮褐土,较肥

沃,适宜植物的生长发育。

1.2 方 法

将‘火焰’茶条槭休眠期的种子按⁶⁰Co- γ 射线辐射剂量0Gy、20Gy、40Gy、60Gy、80Gy、100Gy、200Gy、300Gy共8个照射梯度于2017年3月16日在北京大学技术物楼钴源室所进行辐射处理,辐射剂量率为1.8Gy/min。将辐射后的‘火焰’茶条槭种子分别层积处理2个月后,进行播种。种子出苗长至4片真叶时,移栽至塑料盆内(12cm×11cm)。当实生苗长至6–8片真叶时,按照辐射处理梯度移栽至地里。于2017年6月15日对苗木进行正常肥水管理,对其实生幼苗进行指标观测。

1.3 生理指标的测定方法

1.3.1 色素含量的测定

花色素苷的测定参照Pirie等^[5]的方法略作调整。叶绿素和类胡萝卜素的测定参照杨代宇等^[6]方法略作调整。色素含量的测定分别于8月15日和10月15日进行2次。

1.3.2 叶片颜色测定

叶色参数采用全自动色彩色差计CR-400对植株夏秋2个季节的叶片颜色进行测定,记录 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值,其中 L^* 值表示光泽明亮度,范围从黑(0)到白(100); a^* 值代表色泽红和绿,其正值越大,红色越深,负值越小,绿色越深; b^* 值表示色泽黄和蓝,其正值越大,黄色越深,负值越小,蓝色则越深。每个处理3次重复,叶片颜色的测定分别于8月15日和10月15日进行2次。

1.4 光合特性的测定方法

1.4.1 光合日变化的测定

2017年7月,采用Li-6400型便携式光合作统

对各辐射后‘火焰’茶条槭种子培育出的实生苗叶片进行不离体的光合日变化测定。测定时间为晴天的8:00-18:00,每2h测定1次。测定时间为7月中旬,连续测2d。每个处理3个重复。Li-6400便携式光合仪记录叶片的光合参数有:净光合速率 $[Pn \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 、蒸腾速率 $[Tr \text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 、气孔导度 $[Gs \text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 、胞间 CO_2 浓度 $(Ci \mu\text{mol}/\text{mol})$ 等。

1.4.2 光合参数的测定

光响应曲线的测定于2017年7月中旬上午8:00-11:00进行,连续测2d。每处理测定3个重复。利用 CO_2 钢瓶将参比室的 CO_2 浓度稳定在 $380 \mu\text{mol}/\text{mol}$,设定温度为 25°C 。手动设置人工光源光强为 $2000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $1700 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $1400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $1200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $1000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $150 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $100 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $50 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $20 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $0 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。利用叶子飘^[7]设计的光合软件对光响应曲线进行拟合,并求得光饱和点 $[LSP \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 、光补偿点 $[LCP \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 、暗呼吸速率 $[Rd \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 、最大净光合速率 $[Amax \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 、表观量子效率 $[AQY \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 。

1.5 快速叶绿素荧光参数测定方法

采用FP100便携式荧光仪,参照魏晓东等^[8]方法,选择晴朗的天气上午,于2017年7月中旬

上午8:00-11:00进行测定,将叶片用叶片夹进行暗反应30min后,每个处理3个重复,测定植物叶片的叶绿素荧光参数,包括初始荧光 (F_0) 、最大荧光 (F_m) 、PSII最大光化学效率 (F_v/F_m) 、PSII的量子效率 (F_v/F_0) 、能量分配比率参数 φP_o 、 Ψ_o 、 φE_o 、 φD_o ; PSII比活性参数 ABS/RC 、 TRO/RC 、 ET_o/RC 、 DIo/RC 。

1.6 数据处理与分析

使用Excel 2003进行数据统计,利用软件SPSS进行相关性、方差等数学关系的分析。

2 结果与分析

2.1 辐射对‘火焰’茶条槭叶色的影响

不同剂量辐射对‘火焰’茶条槭实生幼苗叶色的影响见表1。由表1可知,各辐射处理实生幼苗叶片的 L^* 值和 b^* 值与对照之间均差异不显著,说明辐射种子对叶片的亮度和黄色程度影响不显著。在夏季(8月15日),各辐射处理实生幼苗叶片的 a^* 值均为负值,显现为绿色;在秋季(10月15日),对照与各处理之间的 a^* 值均为正值,显现为红色;在秋季(10月15日),20-100Gy辐射处理时,其实生幼苗叶片 a^* 值分别比对照低了1.42%、9.07%、11.51%、9.00%、8.70%;200Gy辐射处理时,其实生幼苗叶片 a^* 值比对照低了72.82%,与对照差异极显著($P < 0.01$),此处理下红色程度较低。

表1 不同辐射处理对叶色的影响

Tab.1 Effects of different doses radiation treatments on leaf color

辐射剂量/Gy	测量日期	L^* 值(光泽亮度)	a^* 值(红-绿)	b^* 值(黄-蓝)
0	8月15日	45.56±1.68Aa	-14.67±0.77Aa	25.45±2.33Aa
20		42.89±2.72Aa	-14.19±0.42Aa	25.54±2.31Aa
40		41.64±2.20Aa	-14.95±0.50Aa	23.72±2.04Aa
60		46.81±2.32Aa	-14.57±0.64Aa	26.56±0.38Aa
80		43.53±1.76Aa	-14.44±0.70Aa	24.75±2.11Aa
100		42.83±0.40Aa	-14.58±0.32Aa	23.53±0.13Aa
200		42.09±0.86Aa	-13.84±0.19Aa	23.65±1.45Aa
0	10月15日	44.31±1.85Aa	17.55±1.77Aa	13.33±1.08Aa
20		41.83±1.19Aa	17.30±0.47Aa	15.20±0.73Aa
40		41.17±1.32Aa	15.96±1.07Aa	14.60±0.49Aa
60		42.02±1.43Aa	15.53±0.57Aa	15.97±0.47Aa
80		43.85±0.75Aa	15.97±0.27Aa	16.44±1.70Aa
100		43.36±0.82Aa	16.02±0.84Aa	14.73±0.31Aa
200		42.56±0.96Aa	4.77±4.04Bb	15.92±1.16Aa

注:不同大写字母表示同一测定时间不同辐射处理之间差异达到极显著水平($P < 0.01$);不同小写字母表示同一测定时间不同辐射处理之间差异达到显著水平($P < 0.05$),下同。 L^* 表示光泽明亮度,范围从黑(0)到白(100); a^* 值代表色泽红和绿,其正值越大,红色越深,负值越小,绿色越深; b^* 表示色泽黄和蓝,其正值越大,黄色越深,负值越小,蓝色则越深。

2.2 辐射对‘火焰’茶条槭幼苗叶片生理特性的影响

2.2.1 辐射对叶绿素含量的影响

不同辐射剂量照射处理后, ‘火焰’茶条槭幼苗叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总量测量结果见表 2。由表 2 可知, 在夏季 (8 月 15 日), 各辐射处理实生苗幼苗叶片的叶绿素 a 与对照差异不显著; 在秋季 (10 月 15 日), 20Gy 辐射处理时, 叶绿素 a 比对照低了 82.61%, 与对照差异显著 ($P<0.05$); 40–200Gy 辐射处理时, 叶绿素 a 与对

照差异不显著。在夏季 (8 月 15 日), 各辐射处理实生苗幼苗叶片的叶绿素 b、叶绿素总量均与对照差异不显著; 在秋季 (10 月 15 日), 叶绿素 b 与对照差异不显著; 在 20Gy 辐射处理时, 叶绿素总量降到最低, 比对照低了 83.87%, 与对照差异显著 ($P<0.05$), 而 40–200Gy 辐射处理时, 叶绿素总量与对照无显著差异。叶绿素 a/b 在夏季与秋季测量中均与对照无显著差异。

表 2 不同辐射处理对叶绿素含量的影响

Tab. 2 Effects of different doses of radiation treatments on chlorophyll content

辐射剂量/Gy	测量日期	叶绿素 a/mg · g ⁻¹	叶绿素 b/mg · g ⁻¹	叶绿素总量/mg · g ⁻¹	叶绿素 a/b
0		0.96±0.05ABab	0.34±0.01Aab	1.29±0.06ABab	2.83±0.11Aab
20		0.97±0.01ABab	0.32±0.02Ab	1.30±0.03ABab	3.06±0.09Aa
40		1.06±0.02Aa	0.38±0.01Aa	1.43±0.03Aa	2.77±0.06Ab
60	8 月 15 日	0.90±0.02Bb	0.32±0.01Ab	1.22±0.03Bb	2.81±0.01Aab
80		1.00±0.01ABab	0.36±0.01Aab	1.36±0.01ABab	2.78±0.02Aab
100		0.95±0.02ABab	0.35±0.01Aab	1.30±0.03ABab	2.73±0.02Ab
200		0.89±0.01Bb	0.32±0.01Ab	1.22±0.02Bb	2.75±0.03Ab
0		0.23±0.07ABabc	0.08±0.02ABab	0.31±0.09ABab	3.17±0.06Aa
20		0.04±0.00Bd	0.01±0.00Bb	0.05±0.01Bc	3.09±0.97Aa
40		0.19±0.01ABbcd	0.06±0.00ABab	0.25±0.01ABbc	3.31±0.16Aa
60	10 月 15 日	0.17±0.00ABcd	0.06±0.00ABab	0.23±0.00ABbc	2.90±0.19Aa
80		0.17±0.00ABcd	0.06±0.01ABab	0.23±0.00ABbc	3.01±0.82Aa
100		0.34±0.05Aab	0.10±0.02ABab	0.44±0.06Aab	3.42±0.20Aa
200		0.36±0.04Aa	0.16±0.05Aa	0.52±0.07Aa	2.86±1.35Aa

2.2.2 辐射对类胡萝卜素含量的影响

辐射处理对‘火焰’茶条槭种子实生幼苗的类胡萝卜素含量的测量结果见表 3。

表 3 不同辐射处理对类胡萝卜素含量的影响

Tab. 3 Effect of different radiation treatments on carotenoid content

辐射剂量 /Gy	测量日期	
	8 月 15 日	10 月 15 日
0	1.95±0.10ABabc	1.30±0.20Aa
20	1.99±0.02ABabc	0.72±0.04Bb
40	2.15±0.01Aa	1.28±0.08ABab
60	1.77±0.05Bc	1.30±0.01Aa
80	2.06±0.00ABab	1.30±0.03Aa
100	1.91±0.03ABbc	1.37±0.15Aa
200	1.77±0.05Bc	1.37±0.16Aa

由表 3 可知, 在夏季 (8 月 15 日), 各辐射处理的类胡萝卜素含量与对照差异不显著; 在秋季 (10 月 15 日), 20Gy 辐射处理时, 类胡萝卜素含

量比对照低了 44.62%, 与对照差异极显著 ($P<0.01$); 40–200Gy 辐射处理时, 类胡萝卜素含量与对照差异未达到显著水平。

2.2.3 辐射对花色素苷含量及其与叶绿素的比值的影响

花色素苷是茶条槭叶片呈色的重要影响因素, 辐射处理对‘火焰’茶条槭种子实生幼苗的花色素苷含量、花色素苷含量与叶绿素的比值影响见表 4。由表 4 可知, 在夏季 (8 月 15 日), 各辐射处理实生苗叶片的花色素苷含量、花色素苷含量/叶绿素总量与对照差异不显著。在秋季 (10 月 15 日), 在 60Gy 和 200Gy 辐射处理时, 实生苗的花色素苷含量与对照差异极显著 ($P<0.01$), 分别比对照低了 36.68%、70.59%; 花色素苷含量/叶绿素总量在 20Gy 辐射处理时达到最大, 为 367.02, 与对照差异极显著 ($P<0.01$), 在 200Gy 辐射处理时, 花色素苷含量/叶绿素总量达到最小, 为 13.88, 与对照差异显著 ($P<0.05$)。

表4 不同辐射处理对花色苷含量及与叶绿素的比值的影

Tab.4 Effects of different radiation treatments on the content of anthocyanin and anthocyanin/chlorophyll

辐射剂量 /Gy	测量日期	花色苷含量 /mg · g ⁻¹	花色苷含量/叶绿素总量
0		6.78±0.29Aa	5.26±0.36Aa
20		6.13±0.12Aa	4.72±0.05Aa
40	8月15日	6.75±0.43Aa	4.72±0.38Aa
60		5.63±0.31Aa	4.62±0.30Aa
80		6.68±0.41Aa	4.90±0.25Aa
100		6.67±0.30Aa	5.13±0.30Aa
200		6.40±0.34Aa	5.24±0.18Aa
0		24.07±0.64Aa	92.94±25.91Bb
20		19.13±3.08ABab	367.02±28.05Aa
40	10月15日	18.29±0.47ABab	73.99±1.51Bbc
60		15.24±0.25Bb	66.93±0.66Bbc
80		20.08±0.97ABab	88.44±6.03Bb
100		21.36±0.19ABab	50.64±6.11Bbc
200		7.08±0.49Cc	13.88±1.06Bc

2.3 辐射对‘火焰’茶条槭幼苗光合特性的影响

运用光合计算软件拟合‘火焰’茶条槭幼苗光响应曲线,结果见图1。由图1可知,‘火焰’茶条槭实生苗的净光合速率均随着光合有效辐射(PAR)的升高逐渐提高,当光合有效辐射升高到一定程度,即达到光饱和点时,净光合速率保持平缓,不再上升或略有下降。随光照强度的增大,各辐射处理与对照之间的差距逐渐增大。经辐射后,各处理实生苗的净光合速率随辐射剂量的增加呈现先升高后降低的趋势。在20Gy辐射处理时最高,40-200Gy辐射处理均低于对照组。

最大净光合速率能反映出单个叶片光合能力的强弱^[9],光补偿点能反映出叶片对弱光的适应能力,光饱和点反映叶片对强光的适应能力,暗呼吸速率 R_d 反映叶片呼吸作用对光合产物消耗的多少^[10],表现量子效率反映植物对弱光的利用效率^[11]。‘火焰’茶条槭的光响应曲线经拟合所得的各参数如表5所示。经辐射处理后,实生苗的光饱和点和表现量子效率随着辐射剂量的增加呈先增加后减小的趋势,在20Gy时达到最大,分别比对照高了5.48%和8.26%;在200Gy辐射处理时最小,分别比对照低了32.43%和35.24%;随着辐射剂量的增加,其实生苗的光补偿点呈先降低后升高的趋势,在200Gy辐射处理时,光补偿点达到最大,比对照高了26.77%。说明适宜的辐射剂量照射‘火焰’茶条槭种子可以提高‘火焰’茶条槭对强光的适应能力和对弱光的利用效率,增强叶片的光合能力。

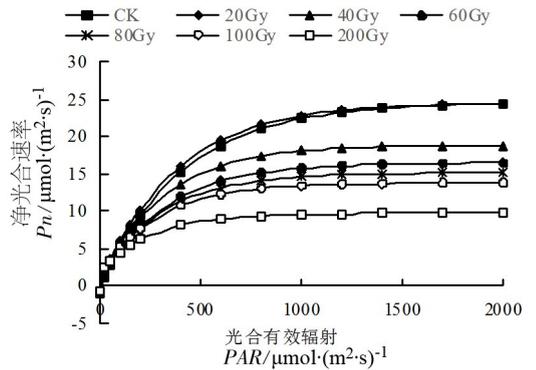


图1 不同辐射处理下的光响应曲线

Fig.1 Light response curves under different radiation treatments

表5 不同辐射处理下光响应曲线参数

Tab.5 Parameters of light response curve under different radiation treatments

辐射剂量 /Gy	光饱和点 LSP / $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	光补偿点 LCP / $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	光饱和时最大净光合速率 P_{max} / $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	暗呼吸速率 R_d / $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	表现量子效率 AQY / $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
0	1 630.992 7	17.120 1	24.646 4	0.994 5	0.059 3
20	1 720.339 4	15.673 8	24.593 6	0.986 6	0.064 2
40	1 618.164 1	16.655 8	18.822 1	0.971 6	0.059 9
60	1 504.012 6	19.220 6	16.502 5	0.938 9	0.050 3
80	1 443.079 4	19.330 5	15.153 3	0.920 3	0.049 1
100	1 382.489 6	19.024 9	13.821 5	0.891 2	0.048 4
200	1 102.003 9	21.703 2	9.722 1	0.798 4	0.038 4

2.4 辐射对‘火焰’茶条槭幼苗光合日变化的影响

2.4.1 辐射对净光合速率 (P_n) 日变化的影响

从图 2 可知, ‘火焰’茶条槭净光合速率日变化表现为先升后降的“单峰”曲线。经辐射处理后, 实生苗的净光合速率日变化趋势与对照组基本相同。8:00–12:00 时, 随外界环境光强的增大, 实生苗净光合速率逐渐上升, 在 12:00 时达到峰值, 无“午休”现象, 此时对照的实生苗的 P_n 值 $22.20\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$; 当辐射剂量为 20Gy 时, 实生苗的 P_n 值最大, 比对照高了 6.91%; 200Gy 辐射处理时, 实生苗的 P_n 值最小, 比对照低了 34.99%; 12:00–18:00, 各辐射处理实生苗的 P_n 值均逐渐降低, 在 18:00 时达到最小值。

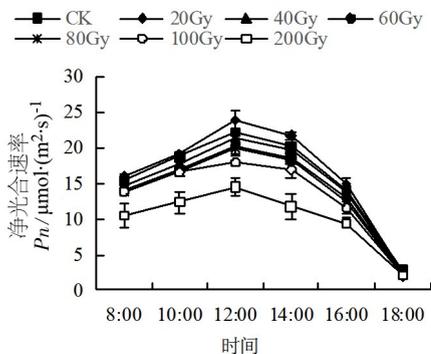


图 2 不同辐射处理下 P_n 的变化

Fig. 2 Changes of P_n under different radiation treatments

2.4.2 辐射对气孔导度 (G_s) 日变化的影响

气孔导度表示气孔张开的程度, 影响光合作用、呼吸作用及蒸腾作用。

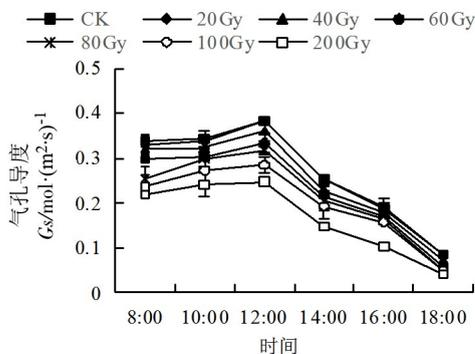


图 3 不同辐射处理下 G_s 的变化

Fig. 3 Changes of G_s under different radiation treatments

从图 3 可以看出, 各处理的‘火焰’茶条槭实生苗的气孔导度日变化均为“单峰”曲线, 为先升

后降的变化趋势。8:00–12:00 气孔导度逐渐升高, 于 12:00 达到峰值, 12:00–18:00 不断下降, 在 18:00 时降为最低。各辐射处理实生苗的气孔导度均随着辐射剂量的增加而逐渐降低。对照的气孔导度日均值最大, 为 $0.26\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 经辐射处理后, 20–200Gy 处理的实生苗的气孔导度日均值分别比对照低了 0.61%、6.48%、13.49%、18.82%、24.84%、37.15%。

2.4.3 辐射对蒸腾速率 (T_r) 日变化的影响

从图 4 中可以看出, 经辐射处理的‘火焰’茶条槭幼苗, 蒸腾速率 (T_r) 日变化趋势均为“单峰”曲线, 8:00–12:00 随光照强度的增加, 蒸腾速率缓慢升高, 在 12:00 时达到峰值, 此时‘火焰’茶条槭对照实生苗的 T_r 值为 $5.23\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 20Gy 辐射处理下的实生苗的 T_r 值最大, 比对照高了 8.22%, 200Gy 辐射处理下的实生苗的 T_r 值最小, 比对照低了 34.23%; 12:00–18:00 各处理实生苗的蒸腾速率均逐渐降低, 在 18:00 时达到最小值; 在 20Gy 辐射处理之后, 蒸腾速率日均值最大为 $3.98\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$; 在 200Gy 辐射处理之后, 蒸腾速率日均值最小, 为 $2.53\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

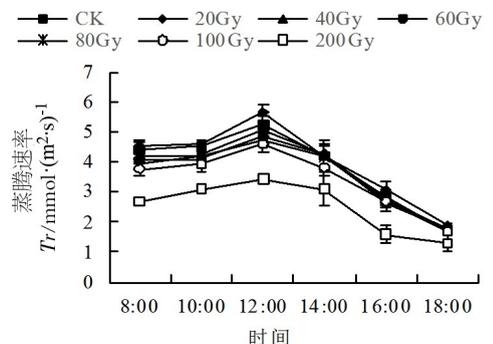


图 4 不同辐射处理下 T_r 的变化

Fig. 4 Changes of T_r under different radiation treatments

2.4.4 辐射对叶片胞间 CO_2 浓度 (C_i) 日变化的影响

由图 5 可知, 各辐射处理的实生苗的胞间 CO_2 浓度日变化趋势均为先降后升的“单峰”曲线, 胞间 CO_2 浓度日均值随着辐射剂量的增加不断降低。经辐射处理后其幼苗叶片胞间 CO_2 浓度在中午 12:00 时达到最低峰值, 此时对照的实生苗的胞间 CO_2 浓度 C_i 值为 $296.00\mu\text{mol}/\text{mol}$, 200Gy 辐射处理时实生苗的胞间 CO_2 浓度 C_i 值最小。

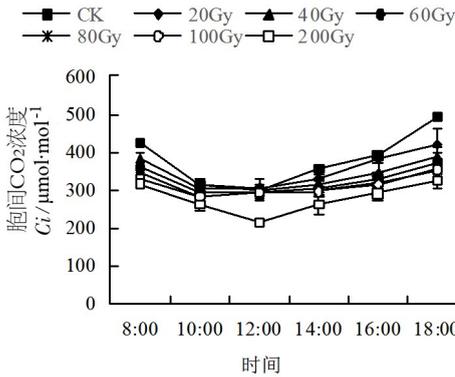


图5 不同辐射处理下 C_i 的变化

Fig. 5 Changes of C_i under different radiation treatments

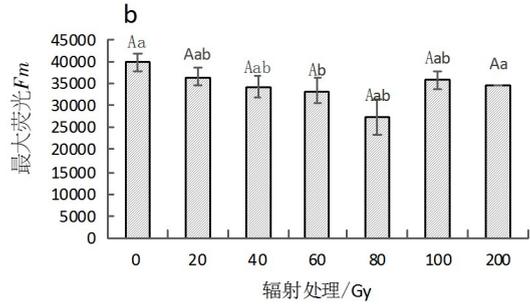
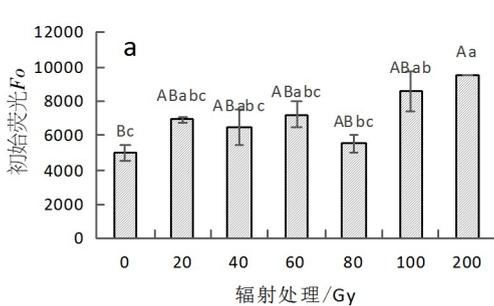


图6 不同辐射处理下 F_o 、 F_m 的变化

Fig. 6 Changes of F_o and F_m under different radiation treatments

最大荧光 (F_m) 为 PS II 反应中心完全关闭时的荧光产量, 可反映通过 PS II 的电子传递情况^[13]。图 6-b 表明, ‘火焰’茶条槭种子辐射后, 各辐射处理的实生苗 F_m 的值均有不同程度降低, 60Gy 辐射处理时, F_m 的值比对照低了 16.12%, 与对照差异显著 ($P < 0.05$), 其他处理与对照差异均不显著。

3.2 辐射对‘火焰’茶条槭幼苗叶片 F_v/F_o 、 F_v/F_m 的影响

F_v/F_o 是 PS II 的量子效率, 其变化趋势反映了受到胁迫后的潜在活性变化^[14]。由图 7-a 可知, 辐射处理对 ‘火焰’茶条槭实生苗 F_v/F_o 无显著影响。 F_v/F_m 为暗适应条件下的 PS II 最大光化学效

3 辐射对‘火焰’茶条槭幼苗叶片快速叶绿素荧光参数的影响

3.1 辐射对‘火焰’茶条槭幼苗叶片 F_o 、 F_m 的影响

初始荧光 (F_o) 是 PS II 反应中心完全开放时的荧光产量, 与叶片叶绿素含量有关^[12]。辐射处理对 ‘火焰’茶条槭实生苗 F_o 的影响见图 6-a。当辐射处理剂量为 200Gy 时, F_o 值最大, 比对照高了 92.99%, 且与对照组差异极显著 ($P < 0.01$)。

率, 代表 PS II 反应中心的最大光能转化效率^[15]。由图 7-b 可知, 辐射处理对 ‘火焰’茶条槭实生苗 F_v/F_m 无显著影响。

3.3 辐射对‘火焰’茶条槭幼苗叶片能量分配比率的影响

ϕP_o 是吸收的光能中被反应中心所捕获到的量子产量^[16], 同 F_v/F_m 具有同等含义。 ψ_o 反映了被反应中心捕获的激子中, 促进电子传递到电子传递链中超过 QA 的电子受体的激子与促进 QA 还原的激子的比值。 ϕE_o 是吸收的光能应用到电子传递的量子产量, ϕD_o 反映了用于热耗散的量子产量。由表 6 可知, 辐射处理对 ‘火焰’茶条槭实生苗的 ϕP_o 、 ψ_o 值、 ϕE_o 、 ϕD_o 影响均不显著。

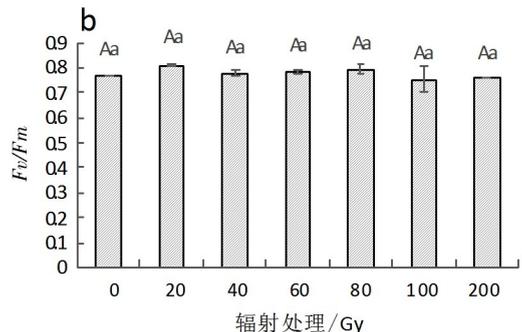
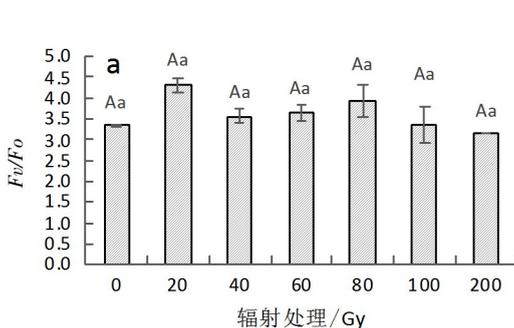


图7 不同辐射处理下 F_v/F_o 、 F_v/F_m 的变化

Fig. 7 Changes of F_v/F_o and F_v/F_m under different radiation treatments

表 6 不同辐射处理对幼苗能量分配比率的影响

Tab. 6 Effects of different radiation treatments on energy distribution ratio of seedlings

辐射剂量/Gy	φP_o	Ψ_o	φE_o	φD_o
0	0.77±0.00Aa	0.56±0.03Aa	0.43±0.03Aa	0.23±0.01Aa
20	0.81±0.01Aa	0.6±0.01Aa	0.49±0.00Aa	0.19±0.01Aa
40	0.78±0.01Aa	0.58±0.03Aa	0.45±0.03Aa	0.22±0.01Aa
60	0.78±0.01Aa	0.54±0.04Aa	0.43±0.04Aa	0.22±0.01Aa
80	0.79±0.02Aa	0.59±0.02Aa	0.47±0.02Aa	0.21±0.01Aa
100	0.75±0.05Aa	0.57±0.03Aa	0.43±0.05Aa	0.25±0.01Aa
200	0.76±0.00Aa	0.48±0.00Aa	0.36±0.00Aa	0.24±0.01Aa

3.4 辐射对‘火焰’茶条槭幼苗叶片 PS II 比活性参数的影响

ABS/RC 反映了单位反应中心吸收的光能; TRO/RC 反映了单位反应中心捕获的用于还原 QA 的能量; ETo/RC 反映了单位反应中心捕获的用于电子传递的能量; DIo/RC 反映了单位反应中心耗散掉的能量。辐射处理‘火焰’茶条槭种子对植株 PS II 反应中心活性参数的影响如表 7 所示。辐射处

理‘火焰’茶条槭种子对其实生苗幼苗 ABS/RC 值、 DTo/RC 值无显著影响。在 100Gy 辐射处理时, 实生苗幼苗 TRO/RC 的值达到最大, 比对照高了 31.93%, 与对照差异极显著 ($P<0.01$); 经辐射处理后, 在 100Gy 辐射处理时, 实生苗幼苗 ETo/RC 的值达到最大, 比对照高了 31.33%, 与对照差异显著 ($P<0.05$)。

表 7 不同辐射处理下比活性参数变化

Tab. 7 Effects of different radiation treatments on the germination rate

辐射剂量/Gy	ABS/RC	TRO/RC	ETo/RC	DIo/RC
0	1.92±0.12Aa	1.48±0.09Bb	0.83±0.10Ab	0.44±0.03Aa
20	2.09±0.01Aa	1.70±0.02ABab	1.02±0.00Aab	0.40±0.01Aa
40	2.19±0.19Aa	1.70±0.12ABab	0.98±0.03Aab	0.49±0.07Aa
60	2.14±0.11Aa	1.68±0.08ABab	0.91±0.04Aab	0.46±0.03Aa
80	1.93±0.03Aa	1.54±0.06ABab	0.91±0.00Aab	0.40±0.03Aa
100	2.63±0.39Aa	1.95±0.15Aa	1.09±0.02Aa	0.68±0.24Aa
200	2.52±0.00Aa	1.92±0.00Aa	0.92±0.00Aab	0.61±0.00Aa

4 结论与讨论

4.1 结论

经辐射处理后, ‘火焰’茶条槭实生苗叶片的 L^* 值和 b^* 值均无明显变化; 在秋季, 其实生苗叶片的 a^* 值无明显变化规律; 但当辐射剂量为 200Gy, 其实生苗叶片的 a^* 值明显降低。

在夏季, 低剂量的辐射有利于叶绿素的合成, 高剂量的辐射抑制叶绿素的合成, 在秋季, 则相反。在夏季, 各辐射处理实生苗的花色素苷没有明显变化规律; 但在秋季, 进行适量的辐射处理有利于其实生苗花色素苷的合成。

经辐射处理后, ‘火焰’茶条槭实生苗净光合速率日变化表现为“单峰”曲线; 在 20Gy 辐射处理时, 实生苗的光饱和点和表现量子效率达到最大、光补偿点降到最低; 当辐射剂量达到 200Gy 时, 其实生苗的净光合速率 (P_n) 和蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s) 和胞间 CO_2 浓度 (C_i), 各指标的

值降为最低。

辐射处理对其实生苗 F_o 值具有一定的影响, 当辐射剂量达到 200Gy 时, F_o 值达到最大; 各辐射处理的实生苗 F_m 值均有不同程度的降低; 各辐射处理的实生苗 F_v/F_o 和 F_v/F_m 、 φP_o 、 Ψ_o 、 φE_o 和 φD_o 的值无明显变化规律。

4.2 讨论

植物叶片内不同色素变化与外部环境因子共同决定着叶片的呈色^[17], 其中叶绿素、类胡萝卜素与花色素苷的含量、比例以及在叶片中的分布状况是影响植物叶片呈色的最主要的因素^[18-19]。相关研究表明彩叶树种叶片呈现彩色的直接原因就是叶片中的色素种类及其比例发生了变化^[20], 秋季叶片变红是花色素苷大量合成的结果^[21-22]。

光合作用日变化是植物生产过程中物质积累与生理代谢的基本单元。已有研究表明, 低剂量的 γ 射线辐射处理会提高植株光合速率^[23], 而之后光合速率又会随着辐照剂量的增加而逐渐降低^[24]。低剂

量辐射‘火焰’茶条槭种子,可以提高‘火焰’茶条槭幼苗叶片对光的适应能力,增强叶片的光合能力,过高的辐射剂量则抑制了叶片的光合作用,究其原因,低剂量辐射刺激了光合作用所需要的光合酶的活性,而过高的剂量辐射破坏了光合酶的活性。

通过对植物快速叶绿素荧光动力学参数的测定,分析其光系统II的活性,可快速、准确地了解植物的生理状态。综上所述,过高剂量的辐射对‘火焰’茶条槭的刺激破坏了酶的活性,抑制了光合作用的发生,致使‘火焰’茶条槭实生苗的PSII反应中心受到破坏或不可逆的失活。

PSII反应中心的活性参数 ABS/RC 、 TR_0/RC 、 ET_0/RC 、 DI_0/RC 能够更确切地反映出植物光合机构对光能的吸收、传递及耗散的情况^[25]。PSII反应中心失活会使单位反应中心吸收的光能 ABS/RC 升高,又由于电子传递受阻,从而使单位反应中心捕获的用于电子传递的能量 ET_0/RC 降低,为了避免光损伤,过剩的能量就会以热能的形式耗散掉,最后导致单位反应中心耗散掉的能量 DI_0/RC 显著上升。

本试验获得的‘火焰’茶条槭诱变苗群体已经全部完成田间定植,可进行多年的生长表现观测,为进一步的跟踪观测和筛选变异新材料奠定了基础。

参考文献:

- [1] 李彬. 6种园林植物扦插生根影响因素的响应分析[J]. 林业科技, 2013, 38(2): 13-15.
- [2] 孙秀芝. 彩叶绿化树种的观测与快繁研究[J]. 河北林业, 2017(3): 28-29.
- [3] 孙志虎, 王庆成. 应用PV技术对北方4种阔叶树抗旱性的研究[J]. 林业科学, 2003, 39(2): 33-38.
- [4] 孙晶, 王庆成, 刘强, 等. NaHCO_3 胁迫下朝鲜接骨木和茶条槭苗木的生长及生理响应[J]. 林业科学, 2010, 46(8): 71-77.
- [5] Pirie A, Mullins M G. Changes in anthocyanin and phenolics content of grapevine leaf and fruit tissues treated with sucrose, nitrate abscisic acid[J]. Plant Physiology 1976, 58: 468-472.
- [6] 杨代宇, 穆富香, 白飞妮, 等. 盐藻中叶绿素的提取方法比较及条件优化[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(25): 7-20.
- [7] 叶子飘. 光合作用对光和 CO_2 响应模型的研究进展[J]. 植物生态学报, 2010, 34(6): 727-740.
- [8] 魏晓东, 陈国祥, 施大伟, 等. 干旱胁迫对银杏叶片光合系统II荧光特性的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(23): 7492-7500.
- [9] 邢歆, 丁彦芬, 余义亮. 不同品种欧洲卫矛光合特性

[J]. 东北林业大学学报, 2018, 46(1): 12-26.

[10] Kitao M, Lei T T, Koike T, et al. Susceptibility to photoinhibition of three deciduous broadleaf tree species with different successional traits raised under various light regimes[J]. Plant Cell & Environment, 2000, 23(1): 81-89.

[11] Richardson A D, Berlyn G P. Spectral reflectance and photosynthetic properties of *Betula papyrifera* (Betulaceae) leaves along an elevational gradient on Mt. Mansfield, Vermont, USA[J]. American Journal of Botany, 2002, 89(1): 88-94.

[12] 白志英, 李存东, 赵金锋, 等. 干旱胁迫对小麦代换系叶绿素荧光参数的影响及染色体效应初步分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(1): 47-57.

[13] 黄秋娟, 赵顺, 刘春梅, 等. 遮荫处理对铁尾矿基质臭柏实生苗快速叶绿素荧光特性的影响[J]. 林业科学, 2015, 51(5): 17-26.

[14] 刘彤, 崔海娇, 吴淑杰, 等. 东北红豆杉幼苗光合和荧光特性对不同光照条件的响应[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(3): 65-70.

[15] 刘超, 袁野, 盖树鹏, 等. 强光高温交叉胁迫对牡丹叶片PSII和PSI之间能量传递的影响[J]. 园艺学报, 2014, 41(2): 311-318.

[16] 贾浩, 郝建博, 曹洪波, 等. 遮荫对‘保佳红’桃树叶片快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的影响[J]. 西北植物学报, 2015, 35(9): 1861-1867.

[17] 王冬雪. 种源与环境因子对枫香叶色变化的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.

[18] 李保印, 周秀梅, 王西波, 等. 不同彩叶植物叶片中叶绿体色素含量研究[J]. 河南农业大学学报, 2004(3): 285-288.

[19] 涂铭, 李玮婷, 费越, 等. 5种种属植物叶形态与高光谱特征比较[J]. 西南林业大学学报, 2017, 37(6): 113-118.

[20] 洪丽. 茶条槭幼树叶色变化的生理特性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008.

[21] 孙明霞, 王宝增, 范海, 等. 叶片中的花色苷及其对植物适应环境的意义[J]. 植物生理学通讯, 2003(6): 688-694.

[22] Saure M C. External control of anthocyanin formation in apple[J]. Scientia Horticulturae, 1990, 42(3): 181-218.

[23] Vanhoudt N, Horemans N, Wannijn J, et al. Primary stress responses in *Arabidopsis thaliana* exposed to gamma radiation[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2014, 129: 1-6.

[24] Fan J, Shi M, Huang J, et al. Regulation of photosynthetic performance and antioxidant capacity by ^{60}Co γ -irradiation in *Zizania latifolia* plants[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2014, 129: 33-42.

[25] 杨鑫, 张启超, 孙淑云, 等. 水深对苦草生长及叶片PSII光化学特性的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1623-1631.