

闫海霞, 王晓国, 黄昌艳, 等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对重瓣大岩桐组培苗移栽成活和生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(20): 135-138.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.034

$^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对重瓣大岩桐组培苗 移栽成活和生长的影响

闫海霞, 王晓国, 黄昌艳, 邓杰玲, 何荆洲, 卜朝阳
(广西壮族自治区农业科学院花卉研究所, 广西南宁 530007)

摘要:采用 4 个剂量的 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射处理不同大岩桐品种的组培生根苗, 研究各品种间对 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线的敏感性, 通过直线回归方程计算出半致死剂量, 并对各品种的植株生长情况进行差异性分析。结果表明, 不同品种对辐射的敏感性不同, 粉红色和玫瑰红具白边的品种对辐射的敏感性较差, 而深红色以及紫色具白边品种对辐射的敏感性较强; 重瓣大岩桐的死亡率与和辐射剂量之间表现出显著的正相关性; 粉色、红色、红色具白边、紫色具白边的半致死剂量分别为 45、19、74、9 Gy; 辐射处理对植株的生长具有一定的抑制作用, 抑制作用因品种、性状不同而异。

关键词:重瓣大岩桐; 组培苗; $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线; 辐射; 敏感性; 死亡率; 半致死剂量; 变异

中图分类号: S682.2⁺90.4⁺3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)20-0135-04

重瓣大岩桐 (*Sinningia speciosa*) 为苦苣苔科的多年生球根花卉, 分类上起初归属为苦苣苔属, 之后又将其归属为岩桐属, 别称落雪泥、巴西芙蓉等, 原产于巴西。在我国引种大岩桐的工作始于 20 世纪 30 年代, 至 90 年代仅有少量生产。近年来, 重瓣大岩桐因其花大、色泽艳丽、色彩丰富而成为花卉市场的新宠。此外, 重瓣大岩桐整株花期长, 1 年连续多次开花, 性喜温湿, 耐阴, 是不可多得的室内花卉。目前, 有关重瓣大岩桐的研究主要集中在栽培养护、繁殖以及遗传转化等方面, 在育种方面也有少量报道。重瓣大岩桐在我国的育种工

作起步较晚, 主要采取传统的杂交育种、诱变育种^[1]、转基因育种^[2], 而关于辐射的研究尚未见报道。辐射育种中常用 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线作为辐射诱变源, 是一种有效的品种培育与改良手段, 已被广泛应用于木本植物如猕猴桃^[3]、油茶^[4]、香梨^[5-6]、苹果^[7]以及草本植物西瓜^[8]、菊苣^[9]、马铃薯^[10]、蓖麻^[11]等多种植物。近年来, 辐射育种在观赏植物的应用上也逐渐增多, 月季^[12-13]、菊花^[14]、海棠^[15]、桂花^[16-17]的辐射育种研究已有相关报道, 但重瓣大岩桐的辐射育种研究尚未开展。本试验以 4 种重瓣大岩桐组培生根苗为材料, 以 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线为辐射源, 进行了不同辐射剂量的处理, 统计其死亡率以及植株生长情况, 分析品种间对辐射的敏感性, 明确辐射剂量与重瓣大岩桐死亡率之间的关系, 计算出其半致死剂量, 为重瓣大岩桐育种提供参考依据。

收稿日期: 2017-05-12

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划 (编号: 桂科攻 1598006-5-8、桂科能 1598022-1-5); 广西南宁市科学研究与技术开发计划 (编号: NC20152008-3); 南宁市西乡塘区科学研究与技术开发计划 (编号: 2015302); 广西壮族自治区农业科学院项目 (编号: 2015YT89)。

作者简介: 闫海霞 (1981—), 女, 广西贵港人, 硕士, 副研究员, 从事花卉新品种选育与示范推广工作。E-mail: 819307232@qq.com。

通信作者: 卜朝阳, 研究员, 从事观赏植物的生物技术研究。E-mail: yangnv@126.com。

1 材料和与方法

1.1 供试材料

重瓣大岩桐组培苗, 花色分别为粉色 (P)、玫瑰红具白边 (W)、深红色 (RD)、紫色具白边 (V), 由广西壮族自治区农业科学院花卉研究所提供。

[15] 许大全, 张玉忠, 张荣铤. 植物光合作用的光抑制[J]. 植物生理学报, 1992(4): 237-243.

[16] 蒋高明. 毛乌素沙地若干植物光合作用, 蒸腾作用和水利用效率种间及生境间差异[J]. 植物学报, 1999, 41(10): 1114-1124.

[17] 何平. 温室效应与植物光合作用——大气 CO_2 浓度升高对植物光合机理影响的分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2001, 21(1): 1-4.

[18] 黄成林, 傅松玲, 梁淑云, 等. 五种攀缘植物光合作用与光因子关系的初步研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1131-1134.

[19] 郑洁, 胡美君, 郭延平. 光质对植物光合作用的调控及其机理[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1619-1624.

[20] 刘贤赵, 王国安, 李嘉竹, 等. 中国北方农牧交错带 C_3 草本植物 $\delta^{13}\text{C}$ 与温度的关系及其对水分利用效率的指示[J]. 生态学报, 2011, 31(1): 123-136.

2011, 31(1): 123-136.

[21] 刘贤赵, 李朝奎, 徐树建, 等. 中国北方干湿气候区 C_3 草本植物 $\delta^{13}\text{C}$ 值及其与湿润指数的关系[J]. 植物学报, 2011, 46(6): 675-687.

[22] 贡汉伯. 青藏高原内陆不同生态系统中主要植物 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta\text{N}/\text{‰}$ 及非结构性碳水化合物季节性变化特征研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2010.

[23] 张雷明, 上官周平, 毛明策, 等. 长期施氮对旱地小麦灌浆期叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 695-698.

[24] 胡文海, 喻景权. 低温弱光对番茄叶片光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(1): 41-46.

[25] 赵丽英, 邓西平, 山仑. 渗透胁迫对小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1261-1264.

1.2 试验方法

1.2.1 组培苗的辐射处理 选择高度为5 cm、叶片4张以上的重瓣大岩桐生根组培苗,辐射源为⁶⁰Co-γ射线,辐射剂量为0、15、30、45、60 Gy(记为处理1、2、3、4、5),每个梯度辐射植株为72株,重复3次。经辐射处理后的组培苗在室温中2~3 d后除去瓶盖,加入少量水将培养基软化后取出,洗净基部培养基,用50%多菌灵可湿性粉剂的800~1 000倍液浸泡10 min,移栽到基质上,浇透定根水,30 d后统计成活率,并比较辐射剂量对各品种成活的影响:

成活率 = 成活植株数 / 辐射植株数 × 100% ;

死亡率 = 死亡植株数 / 辐射植株数 × 100% 。

1.2.2 半致死剂量的计算 以死亡率作为衡量辐射损伤效应的重要指标,以不同辐射量 x 为自变量,不同辐射剂量下的死亡率 y 为因变量,利用统计软件SPSS 19.0得出直线回归方程 $y = a + bx$ 来计算不同品种的重瓣大岩桐的半致死剂量。

1.2.3 生长情况 每隔7 d对辐照的重瓣大岩桐的组培苗桐生长情况进行观察,连续观察45 d并统计生长性状:茎干高、花梗高、叶片数、分枝数、花梗数,分析各品种不同处理间的差异。

茎干高指基质面(或土壤表面)至植株茎干顶端的最大距离;花梗高指植株花梗的最大高度;叶片数是整个植株的所有叶片的总和;分枝数指从球茎生长出来的茎干的总和;花梗数指整个植株的所有花梗的总和。

1.3 统计分析

数据用统计软件SPSS 19.0进行差异性分析,并用Duncan's新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同辐射剂量对重瓣大岩桐成活的影响

研究发现,随着辐射剂量的增加,粉色重瓣大岩桐成活率逐渐降低,其中处理1的成活率显著高于处理5,处理2、3、4的成活率无显著差异。相反地,死亡率随着辐射剂量的增加在逐渐增大,处理5的死亡率最高,为57.41%(表1)。深红色重瓣大岩桐的成活率随辐射剂量的升高而降低,辐照处理的成活率显著低于对照,辐射剂量为60 Gy时成活率最低。相反地,死亡率的变化与辐射剂量呈正相关,辐射剂量为60 Gy时的死亡率高达93.98%(表2)。在玫瑰红具白边重瓣大岩桐中,低辐射剂量的成活率与对照的成活率无显著差异,而对照的死亡率与不同处理间均存在显著差异。当辐射剂量≥45 Gy时,成活率显著降低(表3)。紫色具白边重瓣大岩桐的对照和剂量为15 Gy的成活率、死亡率存在显著差异,且成活率显著高于其他辐射剂量,死亡率显著低于其他辐射剂量。当辐射剂量在30~60 Gy时,成活率、死亡率无显著差异(表4)。

由上述分析可知,不同品种对辐射剂量的敏感程度不同,粉红色和玫瑰红具白边的品种对辐射的敏感性较差,而深红色以及紫色具白边品种对辐射的敏感性较强,即粉红色和玫瑰红具白边的品种经过辐射后,成活率普遍较高,而深红色以及紫色具白边品种经过辐射后,成活率普遍较低。此外,随着辐射剂量的增加,4个品种的成活率均呈下降的趋势,且成活与辐射剂量呈负相关,死亡率则与辐射剂量呈正相关。随着辐射剂量的增加,植株出现死亡的时间较早。综上可知,重瓣

表1 不同辐射剂量对粉色重瓣大岩桐成活的影响

处理	辐射剂量 (Gy)	成活率 (%)	死亡率 (%)	生长情况
P1	0	91.67a	8.33c	25 d内无植株死亡
P2	15	70.37ab	29.63bc	20 d内无植株死亡
P3	30	59.72bc	40.28ab	15 d内无植株死亡
P4	45	47.69bc	52.31ab	10 d内无植株死亡
P5	60	42.59c	57.41a	10 d内无植株死亡

注:同列数据后不同小写字母表示在0.05水平上差异显著。下表同。

表2 不同辐射剂量对深红色重瓣大岩桐成活的影响

处理	辐射剂量 (Gy)	成活率 (%)	死亡率 (%)	生长情况
R1	0	97.22a	2.78c	25 d内无植株死亡
R2	15	33.33b	66.67b	15 d内无植株死亡
R3	30	24.53bc	75.46ab	10 d内无植株死亡
R4	45	15.74bc	84.26ab	10 d内无植株死亡
R5	60	6.02c	93.98a	10 d内无植株死亡

表3 不同辐射剂量对玫瑰红具白边重瓣大岩桐成活的影响

处理	辐射剂量 (Gy)	成活率 (%)	死亡率 (%)	生长情况
W1	0	93.98a	6.02c	25 d内无植株死亡
W2	15	79.63ab	20.37ab	20 d内无植株死亡
W3	30	77.78ab	22.22ab	20 d内无植株死亡
W4	45	62.96b	37.04a	20 d内无植株死亡
W5	60	59.72b	40.28a	20 d内无植株死亡

表4 不同辐射剂量对紫色具白边重瓣大岩桐成活的影响

处理	辐射剂量 (Gy)	成活率 (%)	死亡率 (%)	生长情况
V1	0	83.79a	16.20c	25 d内无植株死亡
V2	15	22.68b	77.31b	10 d内无植株死亡
V3	30	12.50c	87.50a	10 d内无植株死亡
V4	45	9.72c	90.28a	10 d内无植株死亡
V5	60	6.94c	93.06a	10 d内无植株死亡

大岩桐的死亡率与和辐射剂量之间表现显著的正相关性。

2.2 重瓣大岩桐半致死剂量的确定

对粉花重瓣大岩桐的辐射剂量与死亡率(表1)进行简单线性回归分析可知:粉色重瓣大岩桐的直线回归方程为 y (死亡率) = 13.426 + 0.806 x_1 (辐射剂量),从直线回归方程中可以求得,当 $y_1 = 50$ (即死亡率为50%)时, $x_1 = 45.377$,即粉色重瓣大岩桐组培苗的半致死剂量 $LD_{50} = 45.377$,约为45 Gy。从结果可以看出,死亡率和辐照剂量之间呈显著的正相关性。

采用上述同样的分析方法可得,深红色重瓣大岩桐的直线回归方程为 $y_2 = 24.630 + 1.333x_2$,半致死剂量 $LD_{50} = 19.031$,约为19 Gy;玫瑰红具白边重瓣大岩桐的直线回归方程为 $y_3 = 8.148 + 0.568x_3$,半致死剂量 $LD_{50} = 73.68$,约为74 Gy;紫色具白边重瓣大岩桐的直线回归方程为 $y_4 = 39.537 + 1.111x_4$,半致死剂量 $LD_{50} = 9.417$,约为9 Gy。

2.3 不同辐射剂量对组培苗生长的影响

研究发现,粉色重瓣大岩桐组培苗茎干高、花梗高、花梗数随着辐射剂量的增加呈下降的趋势;叶片数在低剂量时无显

显著变化,在高剂量时存在显著差异;植株的分枝数差异不明显。由此可见, $^{60}\text{Co}-\gamma$ 对粉色重瓣大岩桐的干高、花梗高、花梗数具有抑制作用(表5)。

深红色重瓣大岩桐组培苗对照的干高、叶片数和其他辐射处理间的干高、叶片数存在显著差异,而花梗高、分枝数、花梗数在低剂量时与对照无显著差异,当剂量高于45 Gy时,花梗高以及花梗数显著低于对照(表6)。由此表明,不同辐射剂量对深红色重瓣大岩桐的干高、叶片数有显著的抑制作用,高剂量对花梗高以及花梗数无显著的抑制作用。

不同辐射剂量对玫瑰红具白边重瓣大岩桐的干高、花梗

高、分枝数无显著影响,但对叶片数、花梗数的影响略有差异。辐射剂量为30 Gy处理的叶片数显著少于高剂量的辐射处理;经过辐射处理后,花梗数显著减少(表7)。由上可知,不同辐射剂量对玫瑰红具白边重瓣大岩桐的干高、花梗高、叶片数、分枝数无显著的抑制作用,但对花梗数则有显著的减少作用。

不同辐射剂量的紫色具白边重瓣大岩桐干高、花梗高、分枝数、花梗数均无显著差异,仅叶片数略有差异,低剂量与对照无显著差异,当剂量 ≥ 45 Gy时,叶片数显著减少(表8)。由此可见,不同辐射剂量对紫色具白边重瓣大岩桐生长的抑制作用不明显,但高剂量能显著减少叶片数。

表5 不同辐射剂量对粉色重瓣大岩桐组培苗生长的影响

处理	辐射剂量 (Gy)	干高 (cm)	花梗高 (cm)	叶片数 (张)	分枝数 (个)	花梗数 (朵)	变异情况
P1	0	11.00a	17.27a	9.50bc	1.39ab	7.33a	未见
P2	15	8.22b	15.34a	9.17bc	1.44ab	7.28a	未见
P3	30	7.82bc	14.58a	8.84c	1.28b	6.50ab	花瓣分层明显
P4	45	5.42cd	9.78b	10.61ab	1.83a	3.61bc	部分花朵畸形
P5	60	4.53d	7.42b	11.94a	1.78a	1.78c	花瓣分层明显

表6 不同辐射剂量对深红色重瓣大岩桐组培苗生长的影响

处理	辐射剂量 (Gy)	干高 (cm)	花梗高 (cm)	叶片数 (张)	分枝数 (个)	花梗数 (朵)	变异情况
R1	0	9.00a	13.92a	15.33a	2.33a	7.63a	未见
R2	15	5.46c	12.00ab	11.10b	1.97ab	6.43ab	部分花朵畸形
R3	30	7.25b	11.85ab	10.53b	1.91ab	5.33abc	部分花朵畸形
R4	45	7.14b	8.74bc	9.93b	1.63ab	3.86bc	花瓣分层明显
R5	60	4.47c	6.89c	10.35b	1.53b	2.70c	花瓣分层明显

表7 不同辐射剂量对玫瑰红具白边重瓣大岩桐组培苗生长的影响

处理	辐射剂量 (Gy)	干高 (cm)	花梗高 (cm)	叶片数 (张)	分枝数 (个)	花梗数 (朵)	变异情况
W1	0	5.67	9.50	10.00ab	1.33	4.39a	未见
W2	15	4.97	9.44	9.89ab	1.11	2.33b	部分花朵畸形
W3	30	5.39	11.19	8.06b	1.61	2.17b	部分花朵畸形
W4	45	4.32	7.22	11.33a	1.39	2.05b	部分花朵畸形
W5	60	4.67	9.43	10.83a	1.55	1.50b	部分花朵畸形

表8 不同辐射剂量对紫色具白边重瓣大岩桐组培苗生长的影响

处理	辐射剂量 (Gy)	干高 (cm)	花梗高 (cm)	叶片数 (张)	分枝数 (个)	花梗数 (朵)	变异情况
V1	0	5.17	13.83	9.78a	1.00	3.67	未见
V2	15	4.22	10.33	8.67ab	1.17	3.00	花瓣分层明显
V3	30	3.92	9.28	8.33ab	1.11	3.67	花瓣分层明显
V4	45	4.67	9.67	8.00b	1.17	3.83	花瓣分层明显
V5	60	5.22	12.17	8.00b	1.00	3.67	花瓣分层明显

通过上述的分析可知,辐射处理对植株的生长具有一定的抑制作用,抑制作用因品种、性状不同而异。

3 讨论与结论

植株经过辐照后会表现出一定的损伤效应,重瓣大岩桐在经过辐射处理后,初期并未表现出明显的叶片枯萎、茎尖坏死、叶片掉落或黄化、死亡,这可能与辐射剂量的大小有关。因为辐照剂量越大,组培苗的损伤效应表现得越早,植株在较短时间内会出现叶片掉落或死亡;辐照剂量越小,组培苗的损

伤效应潜伏期长,射线对植株的损伤随着时间的推移逐渐表现出来^[12]。

$^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐照黑莓组培苗后,其存活率与辐照剂量之间均表现出极显著的负相关性,且黄化、玻璃化、畸形、生长迟缓以及死亡等现象随着辐照剂量的增大发生越频繁^[18]; $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射观赏海棠的组培苗后,随着辐射剂量的增加,组培苗的死亡率显著上升^[19]。在本试验中,随着辐射剂量的增加,成活率逐渐降低,死亡率逐渐升高,这表明成活率与辐射剂量呈负相关,而死亡率与辐射剂量呈正相关,这与前

人研究的结果是一致的。

植株辐射后,由于品种不同,其半致死剂量也有所不同,这是由植物遗传背景的差异造成,即基因型决定的。如采用不同辐照剂量的 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线处理3个不同品种的石斛兰品种幼苗,结果显示半致死剂量品种间存在差异^[20];柳覬等对不同品种澳洲坚果进行高剂量 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照发现,不同品种的致死剂量和半致死剂量有较大差异^[21]。本试验中玫瑰红具白边品种半致死剂量最高,其次为粉红色品种,再次是深红色品种,紫色具白边品种的半致死剂量最低,为9 Gy。这表明玫瑰红具白边品种和粉色品种对 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线敏感性较差,而深红色以及紫色具白边品种对辐射的敏感性较强。

本试验通过对各品种的生长情况进行方差分析可知, $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对重瓣大岩桐的生长具有一定的抑制作用,但抑制作用因品种、性状不同而异。这和前人的观点是一致的:如不同辐照剂量对石斛兰的株高、假鳞茎长、叶片长均有抑制作用,其中30、40 Gy的辐照剂量作用明显^[20];3种变色叶类观赏海棠辐射处理后,其新梢生长速率、新梢长度、枝条粗度、节间长度显著减小,叶面积、花瓣面积、叶片厚度显著降低^[22];观赏海棠组培苗辐射后,其增殖率、生根率、平均根长、苗高均明显下降,同时出现叶变小、增厚,节间和根系变短、变粗,顶端生长势减弱^[19];紫薇种子辐射后,幼苗的根长、株高等都受到了抑制^[23]。百合种球经辐照后,植株成活率、株高、叶片数、花蕾数、开花株率、花径随着剂量的增加相应减小^[24]。通常来说, $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对植株的生长具有抑制或者促进作用。多数物种对 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线的反应是抑制作用,但也有一些物种在辐照后表现出促进作用,这种促进作用限于低剂量的辐射处理。如在蜡梅的辐射中,低剂量对幼苗根的生长具有促进作用,而高剂量则会导致真叶的抽出及生长^[25];80、160 Gy的剂量可提高万寿菊发芽率,而20、320 Gy的剂量则会抑制芽和根的生长,且所有剂量的辐射处理幼苗及成苗的高度均低于对照,花径也有所减小^[26]。因此, $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对植株的生长产生的作用因物种、品种、性状的不同而不同。

参考文献:

- [1]王鹤鸿,葛欣,徐启江,等.秋水仙碱诱导大岩桐(*Sinningia speciosa*)多倍体研究[J].热带亚热带植物学报,1999,7(3):237-242.
- [2]宋俊芳,张秋,罗明,等.绿色荧光蛋白基因转化大岩桐的研究[J].湖北大学学报(自然科学版),2000,23(2):171-173.
- [3]叶开玉,李洁维,蒋桥生,等.猕猴桃 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射诱变育种适宜剂量的研究,2012,32(5):687-694.
- [4]聂浪,查钱慧,黄永芳,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐照对越南油茶种子发芽及幼苗生长的影响[J].林业与环境科学,2017,33(1):72-76.
- [5]尹航,覃伟铭,南鑫,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对库尔勒香梨的辐射

- 效应[J].经济林研究,2013,31(2):71-77.
- [6]杨振,李疆,梅闯,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐照对库尔勒香梨枝条当代诱变效应初报[J].新疆农业科学,2012,49(5):848-855.
- [7]张玉娇,杨峰,赵林,等.金帅和嘎拉苹果 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射诱变效应的初步研究[J].江西农业学报,2012,24(5):76-77.
- [8]陈亮,李小明,杨世梅,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射对西瓜着花及果实性状的影响[J].中国瓜菜,2016,29(6):5-9.
- [9]张玉,白史且,李达旭,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射对茼蒿种子发芽及幼苗生理的影响[J].草地学报,2013,21(1):147-151.
- [10]杨先泉,王翠,赵勤,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照马铃薯适宜剂量与效应研究[J].核农学报,2010,24(5):917-921.
- [11]谭美莲,汪磊,严明芳,等.辐射对蓖麻种子生长及生理指标的影响[J].作物研究,2012,26(1):35-39.
- [12]李黎,陈菲,韩辉,等.丰花月季组培苗对 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射敏感性及其半致死剂量的研究[J].国土与自然资源研究,2009(4):93.
- [13]李树发,张颖,邱显钦,等.切花月季 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐照诱变育种初报[J].核农学报,2011,25(4):713-718.
- [14]葛维亚,杨树华,陈林,等.辐照对地被菊种子的生长效应[J].核农学报,2011,25(1):67-70.
- [15]王晶,刘录祥,赵世荣,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对菊花组培苗的诱变效应[J].农业生物技术学报,2006,14(2):241-244.
- [16]熊运海,万路生.桂花种子的 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射敏感性及其半致死剂量研究[J].北方园艺,2016(20):81-84.
- [17]史玉敏,罗先真,严恒,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照对桂花枝条生长和生理指标的影响及耐辐照性评价[J].核农学报,2017,31(2):350-356.
- [18]王小敏,吴文龙,张春红,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐照对黑莓组培苗的诱变效应及半致死剂量[J].经济林研究,2011,29(3):35-39.
- [19]刘丽强,刘军丽,张杰,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射对观赏海棠组培苗的诱变效应[J].中国农业科学,2010,43(20):4255-4264.
- [20]任羽,张银东,徐世松,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线对石斛兰辐照效应的影响[J].热带作物学报,2013,34(9):1672-1675.
- [21]柳覬,孔广红,倪书邦,等.高剂量 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照对澳洲坚果种子的诱变及致死效应[J].西南农业学报,2014,27(1):291-295.
- [22]台德强,耿惠,姚允聪,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射对3种变色叶类观赏海棠的诱变效应[J].果树学报,2015,32(5):806-814.
- [23]赵静,王奎玲,刘庆超,等.紫薇种子 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射效应与半致死剂量的确定[J].中国农学通报,2008,24(2):463-465.
- [24]赵兴华,杨佳明,吴海红,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐照百合鳞茎诱变育种研究[J].北方园艺,2015(10):90-92.
- [25]袁蒲英,宋兴荣,何相达. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射对蜡梅种子发芽及幼苗生长的影响[J].北京林业大学学报,2012,34(增刊1):118-121.
- [26]王慧娟,孟月娥,赵秀山,等. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射万寿菊对发芽率及生长的影响[J].中国农学通报,2009,25(19):161-163.