

^{60}Co γ 辐射对两种栀子组织培养的影响

胡瑶 雷星宇 李宏告 张勇 周毅吉 李丽辉

(湖南省农业科学院核农学与航天育种研究所 长沙 410125)

摘要 探讨 ^{60}Co γ 辐射对药用栀子种子组织培养的诱变效应。以“林海1号”、武冈野生栀子果实为试材,采用4个剂量的 ^{60}Co γ 射线辐照处理,处理后取种子进行组织培养。观察不同辐射条件下两种栀子组织培养出愈率、死亡率、不定芽分化、不定根分化情况,以及组培苗叶片结构的变化。随着吸收剂量的增加,“林海1号”出愈率降低,而武冈野生栀子40 Gy处理的出愈率升高;辐照后两种栀子不定芽分化率、生根率均呈下降趋势;“林海1号”半致死剂量范围为40~60 Gy;武冈野生栀子半致死剂量约为40 Gy。经过辐照处理的两种栀子叶片气孔都发生了不同程度的变化,保卫细胞出现皱缩现象,两种栀子均以40 Gy处理最为明显。20~40 Gy ^{60}Co γ 射线辐照处理后,“林海1号”栀子、武冈野生栀子均能出苗且正常生长,生根率较高,是较为合适的剂量范围。

关键词 ^{60}Co γ 辐射, 栀子, 组织培养

中图分类号 Q691.5

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2021.rj.39.030401

Effect of ^{60}Co γ ray radiation on tissue culture of gardenias

HU Yao LEI Xingyu LI Honggao ZHANG Yong ZHOU Yiji LI Lihui

(Hunan Academy of Agricultural Sciences, Hunan Institute of Nuclear Agriculture Science and Space Breeding,
Changsha 410125, China)

ABSTRACT This study aims to investigate the mutagenic effect of ^{60}Co γ radiation on the tissue culture of medicinal gardenia seeds. Four ^{60}Co γ radiation doses were selected to irradiate the fruits of the gardenia jasminoides obtained from Linhai No. 1 and those of the wild jasminoides obtained from Wugang, and then the treated seeds were tissue cultured. The rate of callus, mortality, adventitious bud differentiation, and adventitious root differentiation, and the change in the structure of the leaf tissue under different radiation doses were observed and compared. With the increase in the ^{60}Co γ radiation dose, the callus rate of the Linhai No. 1 gardenia decreased, whereas that of the Wugang wild gardenia increased under a radiation dose of 40 Gy. The adventitious bud differentiation rate and rooting rate of the two types of gardenias decreased after radiation. The semilethal dose for the “Linhai No. 1” gardenia was 20~40 Gy and that of the Wugang wild gardenia was approximately 40 Gy. Different degrees of changes were observed in the stomata of the leaves of the two gardenias, and their guard cells were found to shrink; the most significant differences were observed under the radiation dose of 40 Gy. The “Linhai

基金资助: 湖南省农业科技创新基金项目(2019ZYC02、2020CX03-2)资助

第一作者: 胡瑶,女,1988年5月出生,2014年毕业于湖南农业大学观赏园艺专业获农学硕士学位,现从事观赏植物辐射育种研究工作,助理研究员

通信作者: 李丽辉,副研究员, E-mail: 115219219@qq.com

收稿日期: 初稿 2020-11-09; 修回 2021-01-30

Supported by Agricultural Science and Technology Innovation Fund Project of Hunan Province(2019ZYC02、2020CX03-2)

First author: HU Yao (female) was born in May 1988, and obtained her master's degree from Hunan Agricultural University in ornamental horticulture in 2014. Now she is an assistant professor, engaging in radiation breeding of ornamental plants

Corresponding author: LI Lihui, associate professor, E-mail: 115219219@qq.com

Received 09 November 2020; accepted 30 January 2020

No. 1" and Wugang wild gardenias that were treated under ^{60}Co γ radiation emerged and grew normally with a higher rooting rate, indicating that ^{60}Co γ is a more suitable radiation dosage.

KEYWORDS ^{60}Co γ ray radiation, Gardenia, Tissue culture

CLC Q691.5

栀子花 (*Gardenia jasminoides* Ellis) 为茜草科栀子属常绿灌木或小乔木, 又名山栀子、黄栀子, 产于我国长江流域, 喜温暖湿润环境。栀子花芳香馥郁, 色泽洁白, 且花含挥发油, 可提制浸膏, 作调香剂, 果实可作黄色染料, 根、花、种子可入药, 具有重要的经济价值和观赏价值^[1]。

但国内适合商品化生产的品种还很少, 新品种选育显得尤为迫切。辐照诱变育种和组织培养相结合的育种体系是近年来研究者普遍关心的育种方法, 它可以提高植物在基因水平上的突变率, 有利于打破性状连锁和促进基因重组, 扩大植物的变异范围, 减小亲本对变异类型的限制, 缩短育种年限, 最终促进新种质的产生^[2-3]。

目前, 辐射诱变技术在植物新品种培育及品种性状改良等领域已得到广泛应用, 而组织培养在植物快速繁殖方面也普遍应用。辐照诱变育种主要采用 X 射线、 ^{60}Co γ 射线、电子束等对花卉进行辐照。Ahloowalia 等^[4]采用软 X 射线对 50 个品种的杜鹃进行辐照诱变育种, 最终发现 31% 的植株都产生了嵌合体变异的情况; 齐文全等^[3]研究结果表明, ^{60}Co γ 射线对不同庭院月季品种扦插苗的最适吸收剂量为 45 Gy, 该剂量范围内, 月季扦插苗既能保持一定的生长, 又具有较高的变异频率; 王晶等^[5]利用 ^{60}Co γ 射线对菊花组培苗进行辐照处理, 结果表明辐照后的变异花增加了不同深浅的红色素, 且突变植株均为同质稳定突变; 林兵等^[6]的研究表明, ^{60}Co γ 辐射诱变可以作为荷兰鸢尾新品种培育的有效途径; 朱宗文等^[7]研究电子束对番茄种子的影响时发现, 随着电子束剂量的增加, 番茄种子的发芽率逐渐降低, 当剂量为 600 Gy 时, 黄盆栽和 1479 种子发芽率分别为对照组 (CK) 的 97.2% 和 77.2%; 彭颖^[8]采用 ^{60}Co γ 射线对栀子组织培养愈伤组织进行不同吸收剂量的射线处理, 结果表明栀子的半致死剂量为 40 Gy 左右, 致死剂量为 60 Gy 左右, 还发现其染色体发生了明显变异, 变异率以 40 Gy 处理最高。

综上所述, ^{60}Co γ 射线用于植物辐照诱变育种效果较好, 但关于栀子辐照诱变结合组织培养的报道尚为少见, 如对于吸收剂量、辐射时间对栀

子种子组培培养生长和发育的影响以及辐射后植株的变异情况鲜见报道。本研究以“林海 1 号”、武冈野生栀子果实为试材, 进行 ^{60}Co γ 射线辐射并结合组织培养系列试验, 探讨辐照对两种栀子种子组织培养的影响, 得出半致死剂量, 为进一步选育优良栀子品种资源奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为汨罗基地栽培栀子“林海一号”和武冈野生栀子引种栽培第二年收获的成熟果实, 采收后自然晒干, 阴凉处存放。

1.2 辐照处理

将两种栀子果实分别采用自封袋分装后, 送往湖南省核农学与航天育种研究所生物辐照中心进行辐照处理, 剂量分别为 0 Gy、20 Gy、40 Gy、60 Gy, 每组 8 个样品。

1.3 组织培养

将辐照后的果实浸泡 24 h, 取出种子接种到分化培养基 (MS+6-BA 1.5 mg/L+NAA 0.3 mg/L) 中培养, 并诱导植株再生 (生根培养基为 1/2MS+IBA 2.0 mg/L)。各剂量组培养 5 瓶, 每瓶 5 粒种子。具体指标测定方法见式 (1) ~ (7)。

出愈率 (%) = (出愈外植体数/接种外植体总数) (1)

污染率 (%) = (污染的外植体数/接种外植体总数) × 100% (2)

褐化率 (%) = (褐化的外植体数/接种外植体总数) × 100% (3)

出苗率 (%) = (出苗数/芽分化培养基上总苗数) × 100% (4)

生根率 (%) = (生根苗数/生根培养基上总苗数) × 100% (5)

平均根长 (cm/条) = 根总长 (cm) / 总根数 (条) (6)

平均苗高 (cm/株) = 苗高总和 (cm) / 总株数 (7)

1.4 辐照后组培苗叶片气孔结构分析

当组培苗叶片长至6片叶时,分别从不同辐照处理叶片中随机采集三个2 mm×2 mm样品,将样品固定于体积分数2.5%的戊二醛(0.1 mol/L磷酸缓冲液, pH为7.0),置于4℃下冷藏保存3 d,用磷酸缓冲液冲洗6次,用体积分数1%锇酸固定3 h,用相同磷酸缓冲液冲洗干净。将组织在分级乙醇中进行脱水,临界点干燥,再在观察台上固定,利用高压涂膜装置进行喷金处理。对单个气孔在Quanta 200扫描电子显微镜(FEI Corp, USA)下观

察和拍照^[9]。

1.5 数据分析

试验数据采用SPSS 17.0进行方差分析,以Duncan's进行多重比较,以Excel 2019绘制图表。

2 结果与分析

2.1 辐照对两种栀子种子启动培养的影响

表1中均为培养45 d后的统计数据。

表1 不同剂量⁶⁰Co γ辐射对两种栀子种子启动培养的影响
Table 1 Effects of different absorbed doses on the start training of two kinds of gardenia

品种名 Species	吸收剂量/Gy Absorbed dose	接种数/个 Inoculated number	污染数/个 Pollution number of seedlings	褐化数/个 Brown number of seedlings	出愈数/个 Callus num- ber of seed- lings	污染率/% Pollution rate	褐化率/% Brown rate	出愈率/% Callus rate
林海一号 Linhai No.1	0	25	0	4	21	0	16	84
gardenia	20	25	0	7	18	0	28	72
	40	25	0	11	14	0	44	56
	60	25	0	12	13	0	48	52
武冈野生栀子 Wugang wild	0	25	0	14	11	0	56	44
gardenia	20	25	5	12	8	20	48	32
	40	25	0	7	18	0	28	72
	60	25	5	12	8	20	48	32

由表1可以看出,⁶⁰Co γ射线辐照对两种栀子种子启动培养均产生了不同程度的影响。“林海一号”栀子种子4个处理均未出现污染的情况,而经辐照后的种子组培出愈率逐渐降低,其中60 Gy处理的褐化率最高,出愈率最低,20 Gy辐照处理的“林海一号”种子出愈率最高。武冈野生栀子在40 Gy辐照处理下出愈率达到72%,较CK高出28%。60 Gy处理的“林海1号”栀子种子比武冈野生栀子种子总体出愈率高。

2.2 辐照对两种栀子不定芽分化的影响

将颜色翠绿、长势良好的栀子愈伤组织接种在分化培养基中,再进行不定芽的诱导试验。每组10瓶,每瓶接入5块愈伤组织,培养30 d后统计结果。经过辐照处理的两种栀子出苗率均比对照低。但武冈野生栀子40 Gy处理较20 Gy处理出苗率又显著上升。“林海1号”和武冈野生栀子均为60 Gy处理出苗率最低,比对照组分别下降了65.19%和58.38%,呈显著性差异。武冈野生栀子出苗率除20 Gy处理略低于“林海1号”栀子外,

其余各处理出苗率均高于“林海一号”栀子。

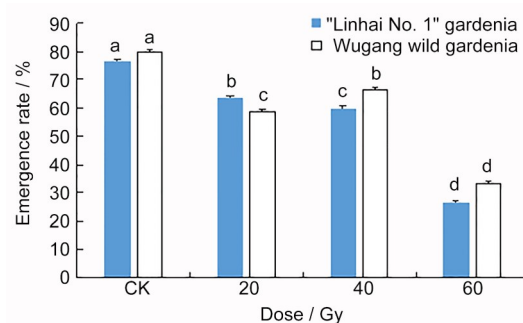


图1 不同剂量⁶⁰Co γ辐射对两种栀子不定芽分化的影响
Fig.1 Effects of different absorbed doses on adventitious bud differentiation of two kinds of gardenia

2.3 辐照对两种栀子不定根分化的影响

从增殖培养中选择栀子不定芽生长健壮且高度大于2 cm的组培苗进行生根诱导。接种30 d后的调查结果见表2和图2。由表2和图2可知,“林海1号”栀子生根率随着剂量的增大而降低,剂量达到60 Gy时,生根率明显低于其他处理组和对照组。40 Gy处理的“林海1号”栀子组培苗平均苗高最高,较对照和60 Gy处理组呈显著差异,其根

系较发达。而剂量达到 60 Gy 时，“林海 1 号” 栀子平均苗高最矮，根系短，数量少，长势也一般。与对照存在显著差异。但整体长势较“林海 1 号”差。两种栀子在 60 Gy 辐照处理下发生了株高明显矮化现象，较对照差异显著。

表2 不同剂量⁶⁰Co γ 辐射对两种栀子不定根分化的影响
Table 2 Effects of different radiation doses on the adventitious root differentiation of two kinds of gardenia

品种名 Species	吸收剂量 / Gy Absorbed dose	平均苗高 / cm Means seeding height	平均根长 / cm Means root length	生根率 / % Rooting rate	长势 Growth vigor
林海一号 Linhai No.1 gardenia	0	2.35±0.15 ^b	2.61±0.14 ^b	93.3 ^a	长势一般，主根明显，须根较多 Growing is weak, taproot is obvious, fibrous root is more
	20	2.48±0.14 ^{ab}	3.67±0.06 ^a	80.0 ^b	长势较好，根系较多 Growing is better, more roots
	40	2.63±0.10 ^a	3.56±0.09 ^a	66.7 ^c	长势较好，根系发达，叶片稍有焦尖 Growing is better, developed root system, slightly scorched blade tip
	60	2.07±0.11 ^c	1.65±0.09 ^c	33.3 ^d	长势一般，根系较少 Growing is weak, the root is less
武冈野生 Wugang wild gardenia	0	2.56±0.07 ^a	2.11±0.10 ^c	73.3 ^a	长势较好，根系较少 Growing is better, the root is less
	20	2.02±0.14 ^b	2.71±0.10 ^b	60.0 ^b	长势较好，根系较多 Growing is better, the root is more
	40	2.64±0.07 ^a	5.47±0.16 ^a	46.7 ^c	长势好，主根明显，根系较长 Growing is better, taproot is obvious, the root is longer
	60	1.58±0.06 ^c	1.19±0.06 ^d	26.7 ^d	长势一般，根系少 Growing is weak, the root is less

注：同列数据后不同小写字母表示在差异显著($p<0.05$)。
Note: different lowercase letters in the same column represented significant difference($p<0.05$).

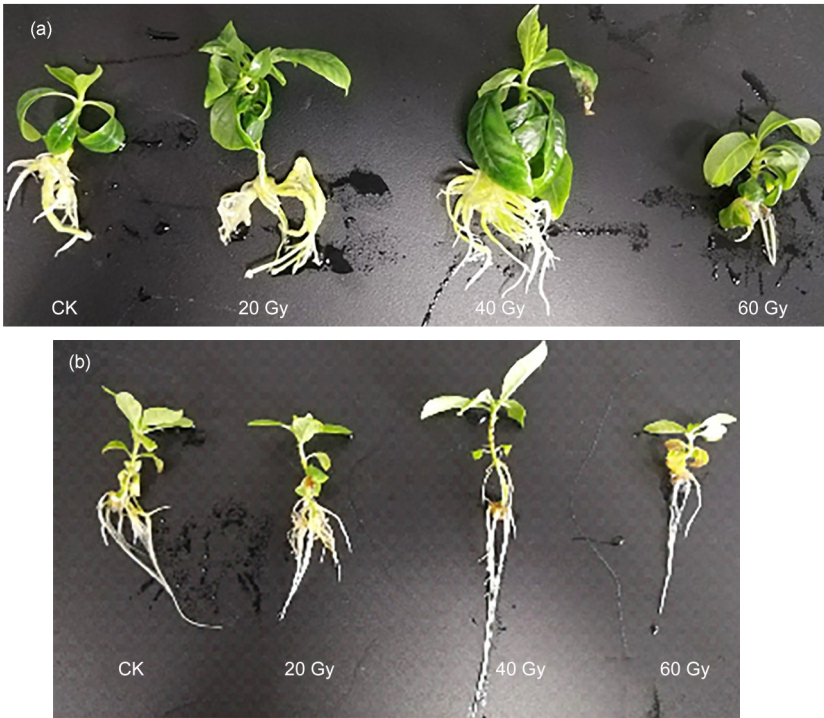


图2 不同剂量⁶⁰Co γ 辐射对“林海 1 号”(a)和武冈野生栀子(b)不定根分化的影响
Fig.2 Effects of different radiation doses on the adventitious root differentiation of "Linhai No. 1" gardenia (a) and Wugang wild gardenia (b)

2.4 辐射对两种栀子叶片气孔开度的影响

取两种经不同吸收剂量处理的栀子组培苗幼嫩叶片作电镜制片,比较辐照后的叶片与对照叶片的气孔形态及大小,其结果见图3。从已张开的气孔形态来看,经辐照处理的“林海1号”栀子叶片气孔张开程度较对照大,且均出现不同程度的皱缩,60 Gy处理的最为明显。武冈野生栀子经辐照处理的叶片气孔也呈现不同程度的变化。20 Gy处理的气孔变小,保卫细胞和副卫细胞出现皱缩;40 Gy处理的气孔张开程度变化不大,但保卫细胞

皱缩程度最大;60 Gy处理的气孔内壁变薄,外壁变化不大,副卫细胞皱缩明显。从表3可以看出,“林海1号”栀子辐射后叶片的气孔都有不同程度的增大,保卫细胞宽度变宽,气孔打开程度以60 Gy处理为最大,与对照呈显著差异。武冈野生栀子辐射后叶片气孔变化与“林海1号”不同,其中40 Gy处理的气孔长宽及气孔开度均比对照大,20 Gy和60 Gy处理的气孔长宽及气孔开度则均比对照小,处理后的叶片气孔保卫细胞宽度均比对照宽,但差异不显著。

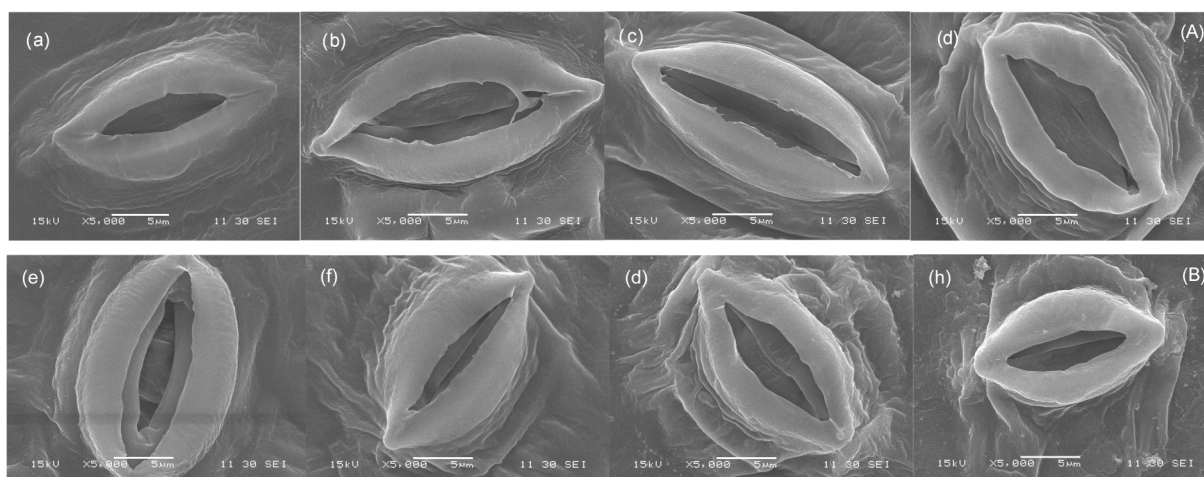


图3 不同剂量 ^{60}Co γ 辐射对“林海1号”栀子(A)和武冈野生栀子(B)气孔形态的影响:(a) CK;(b) 20 Gy;(c) 40 Gy;(d) 60 Gy;(e) CK;(f) 20 Gy;(g) 40 Gy;(h) 60 Gy

Fig.3 Effects of different absorbed doses on the adventitious root differentiation of "Linhai No. 1" gardenia (A) and Wugang wild gardenia (B): (a) CK; (b) 20 Gy; (c) 40 Gy; (d) 60 Gy; (e) CK; (f) 20 Gy; (g) 40 Gy; (h) 60 Gy

表3 不同剂量 ^{60}Co γ 辐射对两种栀子叶片结构的影响

Table 3 Effects of different radiation doses on the leaf structures of two kinds of gardenia

品种名 Species	吸收剂量 / Gy Absorbed dose	气孔长度 / μm Stoma length	气孔宽度 / μm Stoma width	保卫细胞宽度 / μm Guard cell length	气孔开度 / μm Stomatal aperture
林海一号 Linhai No.1 gardenia	0	18.10 ± 3.58^c	8.92 ± 1.23^b	6.18 ± 0.56^a	2.74 ± 0.67^{ab}
	20	26.10 ± 2.48^a	13.07 ± 2.71^a	9.82 ± 3.58^a	3.25 ± 1.40^{ab}
	40	23.77 ± 0.40^{ab}	10.63 ± 0.32^{ab}	8.16 ± 0.46^a	2.80 ± 0.49^b
	60	21.10 ± 1.47^{bc}	12.23 ± 0.84^a	7.99 ± 1.06^a	4.24 ± 0.67^a
武冈野生栀子 Wugang wild gardenia	0	20.50 ± 1.11^{ab}	11.57 ± 1.69^a	7.02 ± 1.28^a	4.55 ± 0.43^a
	20	10.00 ± 1.34^{ab}	10.67 ± 0.11^a	7.69 ± 0.54^a	2.97 ± 0.64^b
	40	24.03 ± 4.01^a	12.77 ± 2.11^a	7.63 ± 1.81^a	5.13 ± 0.95^a
	60	18.60 ± 2.40^b	10.73 ± 0.87^a	7.73 ± 1.28^a	3.00 ± 0.54^b

注: 同列数据后不同小写字母表示在差异显著($p < 0.05$)

Note: different lowercase letters in the same column represented significant difference ($p < 0.05$)

3 讨论

用辐射方法结合组织培养技术使得育种效率明显增高,是植物新种质选育快速有效的方法之一,剂量是 ^{60}Co γ 射线诱变育种应用过程中的一个

重要因素,在一定范围内,增大吸收剂量可提高突变频率,扩大变异谱,但过高的剂量会使致死率提高,不良畸变率增大^[10-11]。本文采用 ^{60}Co γ 射线对“林海1号”栀子、武冈野生栀子果实进行辐照处理,并进行组织培养。结果表明:随着 ^{60}Co γ

吸收剂量的增加,“林海1号”出愈率降低、而武冈野生栀子40 Gy处理的出愈率升高,说明一定剂量的辐照处理对武冈野生种子的萌发具有促进和刺激作用。这与周亚倩和Stotzky等^[12-13]的研究结果一致:低剂量辐照可促进树兰、香蕉种子的萌发,缩短萌发时间、提高萌发率。耿兴敏等^[14]在研究 ^{60}Co γ 射线对桂花种子萌发及幼苗生长的影响中也发现,较低剂量的辐照可以提高潢川金桂、籽银桂和短柄籽银桂种子的发芽率。在杉木、紫薇、鸢尾^[15-17]等种子辐射育种研究中也有类似发现。

大量研究表明: ^{60}Co γ 射线辐照会引起植物形态损伤或死亡,在诱变育种中,剂量过低达不到诱变效果,随着吸收剂量的增加,植株突变率也会相应提高,但剂量过高,植株正常的代谢会受到干扰,畸变率及死亡率都会增加,通常将半致死剂量作为吸收剂量选择的重要参考依据^[18-19]。如Luz等^[20]研究发现,150 Gy和250 Gy均能引起藜麦发生突变,并且突变率随剂量而增大,350 Gy则导致藜麦品种Pasankalla全部死亡。陈睿等^[21]以两种杜鹃为材料研究辐射效应,发现在25~65 Gy内随着吸收剂量增大,花的变异率增加,花色和花瓣形态出现多样性。本研究中两种栀子辐照后不定芽分化率、生根率均呈下降趋势,“林海1号”半致死剂量为40~60 Gy;武冈野生栀子半致死剂量为40 Gy左右,说明不同植物品种或类型由于存在遗传差异而对辐照的敏感性不同,即使是同种植物的不同生长状态也对辐照的敏感性不同。

本研究还对辐射后的栀子组织培养出来的叶片进行气孔结构观察,“林海1号”栀子经 ^{60}Co γ 射线辐照后,组培苗气孔打开程度均比对照组大,这可能是辐照对植株造成的伤害需要加大呼吸作用,则张大气孔进行自我调节,加强代谢以修复射线对植株的损伤,这与李黎等^[22]研究结果一致。武冈野生栀子则是40 Gy处理后,气孔开度增大显著,这可能是武冈野生栀子耐受剂量的一个转折点。本次试验发现的栀子辐射组培苗矮化、气孔形态皱缩等变异情况,是否为基因组的突变,需要下一步进行验证。

4 结论

^{60}Co γ 射线辐射处理对“林海1号”、武冈野生栀子种子组织培养、组培苗叶片气孔结构的影响差异较大。其中,“林海1号”半致死剂量为40~

60 Gy,武冈野生栀子半致死剂量约为40 Gy。因此,栀子育种可利用 ^{60}Co γ 射线结合组织培养方法进行辐射诱变,为今后为栀子辐射诱变育种提供一定的理论依据。

参考文献

- 1 陈有民. 园林树木学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006.
CHEN Youmin. Landscape dendrology[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006.
- 2 洪亚辉, 朱兆海, 黄璜, 等. 菊花组织培养与辐射诱变的研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2003, 29(6): 457-461. DOI: 10.3321/j.issn:1007-1032.2003.06.001.
HONG Yahui, ZHU Zhaohai, HUANG Huang, et al. On tissue culture and irradiation variation of chrysanthemum [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2003, 29(6): 457-461. DOI: 10.3321/j. issn: 1007-1032.2003.06.001.
- 3 齐文全, 江振威, 王亚琴, 等. ^{60}Co γ 射线对9种庭院月季扦插苗的辐射效应研究[J]. 核农学报, 2020, 34(4): 681-690. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2020.04.0681.
QI Wenquan, JIANG Zhenwei, WANG Yaqin, et al. Radiation effects of ^{60}Co γ ray on the cutting seedlings of nine garden rose[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(4): 681-690. DOI: 10.11869/j. issn.100-8551.2020.04.0681.
- 4 Ahloowalia B S, Maluszynski M. Induced mutations - A new paradigm in plant breeding[J]. Euphytica, 2001, 118(2): 167-173. DOI: 10.1023/A: 1004162323428.
- 5 王晶, 刘录祥, 赵世荣, 等. ^{60}Co γ 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.
WANG Jing, LIU Luxiang, ZHAO Shirong, et al. Effect of ^{60}Co γ rays on *in vitro* mutagenesis of chrysanthemum morifolium Ramat[J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2006, 14(2): 241-244.
- 6 林兵, 钟淮钦, 黄敏玲, 等. ^{60}Co - γ 射线辐射对荷兰鸢尾花色诱变效应的研究[J]. 核农学报, 2019, 33(4): 633-639. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2019.04.0633.
LIN Bing, ZHONG Huaqin, HUANG Minling, et al. The study of ^{60}Co - γ ray irradiation effects on flower color of iris hollandica[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2019, 33(4): 633-639. DOI: 10.11869/j. issn.100-8551.2019.04.0633.
- 7 朱宗文, 田守波, 杨学东, 等. 电子束对番茄种子萌发及幼苗生理生化特性的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(4): 691-697. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2020.04.0691.
ZHU Zongwen, TIAN Shoubo, YANG Xuedong, et al. Effects of electron beam on seed germination and physiological and biochemical properties of tomato

- seedling[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, **34**(4): 691-697. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2020.04.0691.
- 8 彭颖. 栀子快繁体系构建与辐射诱变研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
PENG Ying. Establishment of rapid propagation system and study of radiation mutagenesis of gardenia[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.
 - 9 Zheng Y P, Xu M, Hou R X, *et al.* Effects of experimental warming on stomatal traits in leaves of maize (*Zea mays* L.)[J]. Ecology and Evolution, 2013, **3**(9): 3095-3111. DOI: 10.1002/ece3.674.
 - 10 倪书邦, 贺照勇, 孔广红, 等. ^{60}Co 辐照对澳洲坚果种子萌发与幼苗形态的影响[J]. 中国农学通报, 2011, **27**(22): 103-108.
NI Shubang, HE Xiyong, KONG Guanghong, *et al.* Effects of ^{60}Co irradiation on seed germination and seedling growth of macadamia cultivars[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, **27**(22): 103-108.
 - 11 李树发, 张颖, 邱显钦, 等. 切花月季 ^{60}Co γ 辐照诱变育种初报[J]. 核农学报, 2011, **25**(4): 713-718, F0003.
LI Shufa, ZHANG Hao, QIU Xianqin, *et al.* Breeding of cut roses by ^{60}Co γ -rays irradiation[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2011, **25**(4): 713-718.
 - 12 周亚倩, 姚娜, 魏莉, 等. ^{60}Co - γ 射线对树兰蒴果辐照生物学效应研究[J]. 核农学报, 2017, **31**(9): 1693-1699. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2017.09.1693.
ZHOU Yaqian, YAO Na, WEI Li, *et al.* Effect of ^{60}Co - γ irradiation on capsule of *epidendium secundum*[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2017, **31**(9): 1693-1699. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2017.09.1693.
 - 13 Stotzky G, Cox E A, Wornick R C, *et al.* Some effects of gamma irradiation on seeds and rhizomes of *musa*[J]. American Journal of Botany, 1964, **51**(7): 724-729. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1964.tb06692.x.
 - 14 耿兴敏, 王良桂, 李娜, 等. ^{60}Co - γ 辐射对桂花种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 核农学报, 2016, **30**(2): 216-233. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2016.02.0216.
GENG Xingmin, WANG Lianggui, LI Na, *et al.* Study on the seed germination and seedling growth of *osmanthus fragrans* under ^{60}Co - γ irradiation[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, **30**(2): 216-233. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2016.02.0216.
 - 15 胡瑞阳, 吴博, 纳静, 等. ^{60}Co - γ 射线辐照处理对杉木种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2016, **32**(4): 1-4. DOI: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb15070136.
HU Ruiyang, WU Bo, NA Jing, *et al.* Effects of ^{60}Co - γ radiation on seed germination and seedling growth of *cunninghamia lanceolata*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, **32**(4): 1-4. DOI: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb15070136
 - 16 彭梦婕, 刘丹, 牛贺雨, 等. ^{60}Co - γ 辐射对紫薇种子萌发、幼苗生长和生理的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2020, **47**(4): 530-537. DOI: 10.13610/j.cnki.1672-352x.20200611.001.
PENG Mengjie, LIU Dan, NIU Heyu, *et al.* Effect of ^{60}Co - γ irradiation on *Lagerstroemia* seed germination, seedling growth and physiology[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2020, **47**(4): 530-537. DOI: 10.13610/j.cnki.1672-352x.20200611.001.
 - 17 刘春贵, 李凤童, 孙叶, 等. ^{60}Co - γ 射线对路易斯安那鸢尾种子的辐射效应研究[J]. 核农学报, 2018, **32**(1): 1-7.
LIU Chungui, LI Fengtong, SUN Ye, *et al.* Effects of ^{60}Co - γ rays irradiation on the seeds of Louisiana irises[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, **32**(1): 1-7.
 - 18 Melki M, Marouani A. Effects of gamma rays irradiation on seed germination and growth of hard wheat[J]. Environmental Chemistry Letters, 2010, **8**(4): 307-310. DOI: 10.1007/s10311-009-0222-1.
 - 19 武振华, 王新宇, 薛林贵, 等. 碳离子束辐照对紫苏油品质和理化性质的影响[J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2013, **31**(3): 19-24.
WU Zhenhua, WANG Xinyu, XUE Lingui, *et al.* Effects of carbon ion beams irradiation on the quality characteristics and physic-chemical quality of perilla-oil [J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2013, **31**(3): 19-24.
 - 20 Gomez-Pando L R, La Barra A E D. Developing genetic variability of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) with gamma radiation for use in breeding programs[J]. American Journal of Plant Sciences, 2013, **4**(2): 349-355. DOI: 10.4236/ajps.2013.42046.
 - 21 陈睿, 鲜小林, 万斌, 等. ^{60}Co - γ 辐射对两个杜鹃品种主要性状的影响[J]. 北方园艺, 2015(2): 46-50. DOI: 10.11937/bfy.201502014.
CHEN Rui, XIAN Xiaolin, WAN Bin, *et al.* Effect of ^{60}Co - γ ray on traits of two azalea varieties[J]. Northern Horticulture, 2015(2): 46-50. DOI: 10.11937/bfy.201502014.
 - 22 李黎, 刘晓东, 栗辉. ^{60}Co γ 辐射对菊花叶片组织结构的影响[J]. 国土与自然资源研究, 2010(3): 95-96. DOI: 10.16202/j.cnki.tnrs.2010.03.012.
LI Li, LIU Xiaodong, LI Hui. The effect of radiating on the leaf tissue of *Dendranthema morifolium* by the ^{60}Co γ -ray[J]. Territory & Natural Resources Study, 2010(3): 95-96. DOI: 10.16202/j.cnki.tnrs.2010.03.012.