

DOI:10.11937/bfyy.201623007

低剂量⁶⁰Co-γ 辐照刺激拟南芥植株生长的效应

张 亮, 马 灵 玉, 王 太 霞

(河南师范大学 生命科学院, 河南 新乡 453007)

摘 要:以拟南芥为试材,以 0、50、150 Gy 剂量⁶⁰Co-γ 辐照拟南芥种子,研究其对拟南芥植株生长发育的影响。结果表明:与对照相比,50 Gy 辐照处理显著增加了拟南芥植株高度、莲座叶长度、角果长度、种子数量以及叶片光合色素含量;150 Gy 辐照拟南芥的各项生长和生理指标显著降低,表明高剂量辐照处理抑制了拟南芥植株的生长。说明低剂量的⁶⁰Co-γ 辐照显著促进拟南芥植株的营养生长和生殖生长。

关键词:⁶⁰Co-γ 辐照;刺激效应;植株生长;拟南芥

中图分类号:S 124⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)23-0028-05

拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)属十字花科拟南芥属草本植物,其植株矮小,生长周期快,种子数目多。由于其具有形态简单,生命力强,基因组简单等优点,20 世纪 80 年代以来拟南芥经常作为模式生物用于植物学研究的各个领域。目前,拟南芥已经被大量用于植物形态、生理以及分子生物学的研究,几乎成为植物学研究必不可少的一种植物。

⁶⁰Co-γ 辐射属于电离辐射,与 α 和 β 等其它辐射相

比,⁶⁰Co-γ 具有较强的穿透力,是一种有效的物理诱变因子^[1]。目前,⁶⁰Co-γ 辐射在植物诱变育种中发挥重要作用。在通过诱变育种进行植物改良的过程中,通过辐射种子有可能导致基因突变,这种变异性可以使植物育种专家挑选出具有优良特性的新基因型材料,例如早熟,耐盐性,提高粮食产量和质量等^[2-3]。γ 辐射对植物的形态变化和生物学响应主要取决于辐射剂量的大小。高剂量的离子辐射会对植物的生殖生长造成伤害,而且还会导致减产,然而低剂量的离子辐射会促进植物的生长^[4-5]。大量的研究表明,低剂量的⁶⁰Co-γ 辐射对植物生长发育具有刺激作用。辐射处理后植物的各种生长参数都受到了一定的影响,如种子萌发率,根长,茎长,株高,茎的直径以及叶面积等^[6]。低剂量的⁶⁰Co-γ 辐射对植物的生物学效应还包括生物分子和新陈代谢等一系列生理生化的改变,例如,类囊体膜的扩大、光合作用的变化、抗氧化体系的调整以及酚类化合物的积累

第一作者简介:张亮(1982-),男,博士,副教授,硕士生导师,现主要从事植物逆境胁迫等研究工作。E-mail:zhangliang@htu.edu.cn.

责任作者:王太霞(1964-),女,博士,教授,硕士生导师,现主要从事植物结构学等教学与科研等工作。E-mail:wtaixia@sina.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31300163,31270225);河南师范大学科研启动基金资助项目(5102099179107)。

收稿日期:2016-07-25

Abstract: Nine treatments including three levels of water (105 L, 150 L, 195 L, treatment code W1, W2, W3) and three levels of fertilization (65 g, 90 g, 117 g, treatment code F1, F2, F3) per plant were set. Cucumber 'Jinyou 10' was used to investigate the effects of yield, water use efficiency and nutritional quality in the different nine treatments by soilless culture in bag. The results indicated that F2W1 was not only save water and fertilizer but also without affecting yield in early results. The medium term and late yields of F3W2 and F3W3 were the highest, followed by F2W2 and F2W1. The medium term and late yields were significant affected by water, fertilizer and their interactions in turn, the orders of the factors were fertilizer > the interaction effect of water and fertilizer > water, but the early yield did not affected significant by the factors. The water use efficiency showed an increased trend with fertilizers' increasing in the same water level, but a decreasing trend with improvement of water in the same fertilizer level. The nutritional quality of cucumber were synthetically evaluated by principal component analysis, and the first three treatments of comprehensive index were F1W1, F2W1 and F2W2. Considering the overall above, F2W2 and F2W1 were the best treatment with nutritional quality assurance and they did not overmach decreasing yield.

Keywords: water and fertilizer coupling; cucumber; yield; nutritional quality

等^[3-9]。此外,低剂量⁶⁰Co- γ 辐照还有助于增强植物细胞内酶的活性,提高植物对环境胁迫的抗性^[9]。研究发现,在盐胁迫下,低剂量⁶⁰Co- γ 辐照的水稻种子萌发后生长的幼苗植株高于对照幼苗,表明低剂量⁶⁰Co- γ 辐照能增强植物的抗盐性^[10]。有试验证明,低剂量的 γ 辐射可以增强植物干旱耐受性,消除干旱胁迫带来的危害和影响^[11-12]。然而,前人研究主要集中在低剂量⁶⁰Co- γ 辐照对植物幼苗生长的刺激效应,有关植物植株生长对⁶⁰Co- γ 辐照的响应研究较少。该试验以不同剂量⁶⁰Co- γ 辐照的拟南芥种子为试材,研究低剂量⁶⁰Co- γ 辐照对拟南芥植株营养生长和生殖生长阶段的刺激作用,以期在农业中利用⁶⁰Co- γ 辐照来提高农作物质量和产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试拟南芥为 Columbia (Col-0) 生态型由课题组保存。

1.2 试验方法

1.2.1 拟南芥的培养 用 2.5% 的次氯酸钠处理拟南芥种子 10 min, 随后用灭菌水反复清洗 4~5 遍, 将种子铺于 1/2 MS 固体培养基上 (1% 琼脂、1% 蔗糖、pH 5.8), 放置 4 °C 冰箱黑暗春化 48 h 后于光照培养箱内培养 7 d。将营养土和蛭石 1:1 混匀, 高压灭菌 40 min 后, 装盆待用。将拟南芥幼苗移栽入拟南芥专用小盆中, 至于培养室内生长。在光照培养箱和培养室中的拟南芥生长条件温度均为 22 °C, 光照周期为 16 h 光照, 8 h 黑暗。

1.2.2 ⁶⁰Co- γ 辐照处理拟南芥种子 选用同一批拟南芥植株收获的种子, 将种子装入离心管中, 于 2015 年 10 月在河南省科学院同位素研究所对拟南芥种子进行 ⁶⁰Co- γ 辐照。辐照剂量的速度为 8.5 Gy · min⁻¹, 根据前期研究结果^[15], 该试验设置辐照剂量分别为 50 Gy 和 150 Gy, 以未辐照的种子为对照, 用 0 Gy 表示。

1.2.3 拟南芥的形态生理 待盆栽拟南芥生长 45 d 时观察分析植株的形态和生理指标。生理试验于 2015 年 12 月在河南师范大学生命科学学院进行, 主要包括植株高度、莲座叶长度、角果长度以及光合色素含量。

1.3 项目测定

1.3.1 形态指标的测定 选取不同剂量⁶⁰Co- γ 辐照种子后生长的植株, 测量生长 45 d 植株的株高、莲座叶长度和角果长度, 并用体视显微镜统计拟南芥角果的种子数。每个处理随机选择 20 株植株进行统计。

1.3.2 光合色素含量的测定 参照 LICHTENTHAL-ER^[13] 和 WELLBURN^[14] 的丙酮提取法提取光合色素,

每个处理组随机选取 5 株拟南芥。称取洗净的拟南芥叶片约 0.1 g, 剪碎后 (所切面积大小一致) 装入盛有 15 mL 80% 丙酮提取液的试管中, 盖紧塞子, 置于 38~40 °C 的恒温箱中浸提 24 h, 使碎叶片呈白色而溶液呈绿色为止, 冷却至室温后用提取液再定容到 15 mL, 摇匀后用分光光度计分别在 470、645、663 nm 处测定并记录吸光值, 通过 A 值计算色素含量。叶绿素 a 浓度 (C_a) = $(12.21A_{663}) - (2.81A_{645})$; 叶绿素 b 浓度 (C_b) = $(20.13A_{645}) - (5.03A_{663})$; 类胡萝卜素浓度 (C_{car}) = $(1000A_{470} - 3.27C_hl a - 104C_hl b) / 229$ 。求得色素的浓度后, 再计算组织中单位鲜质量的各色素的含量, 各色素的含量 ($\mu g \cdot g^{-1} FW$) = (色素的浓度 × 提取液总体积 × 稀释倍数) / 样品鲜质量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 13.0 软件对各处理间的差异性进行单因素方差 (ANOVA) 检验, 并用 Excel 2007 软件作图。

2 结果与分析

2.1 低剂量⁶⁰Co- γ 辐照对拟南芥植株高度的影响

从图 1A 可以看出, 与对照相比, 50 Gy 辐照促进了拟南芥植株的生长, 而 150 Gy 辐照明显抑制了拟南芥植株的生长。从图 1B 统计植株高度的结果可以验证,

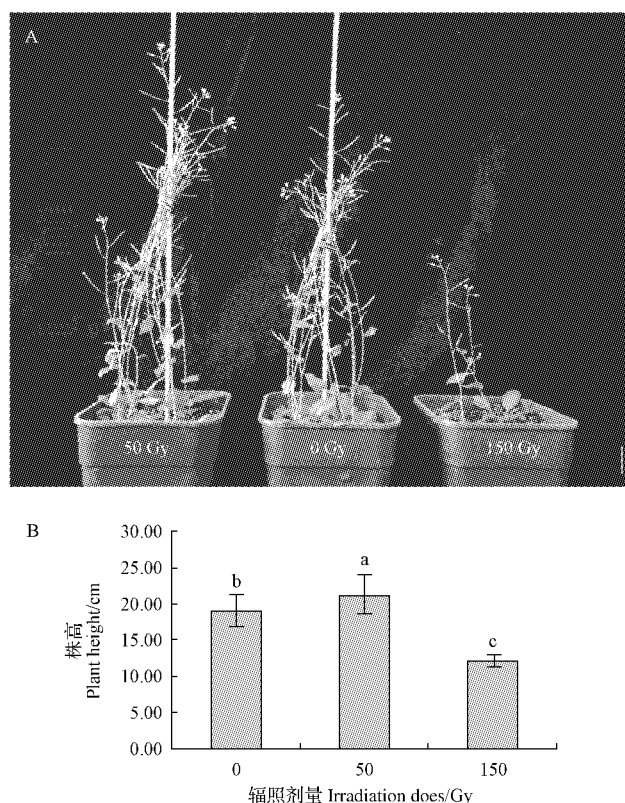


图 1 不同剂量⁶⁰Co- γ 辐照对拟南芥植株高度的影响

Fig. 1 Effects of gamma irradiation of different doses on plant height of *Arabidopsis*

50 Gy 辐照的拟南芥植株高度显著高于对照,平均株高达到了 21.29 cm,比对照增加了 11.61%。150 Gy 辐照的拟南芥植株高度为 12.20 cm,比对照减小了 36.03%。

2.2 低剂量⁶⁰Co-γ 辐照对拟南芥莲座叶长度的影响

从图 2A 可以看出,50 Gy⁶⁰Co-γ 辐照促进了拟南芥莲座叶的生长,而 150 Gy 辐照抑制了莲座叶的生长。图 2B 的统计数据进一步表明,50 Gy 辐照显著增加了拟南芥植株莲座叶长度,达到了 2.70 cm,比对照增加了 26.92%;与对照 0 Gy 相比,150 Gy 辐照的拟南芥莲座叶长度显著低于对照,只达到 1.35 cm,比对照减小了 36.54%。

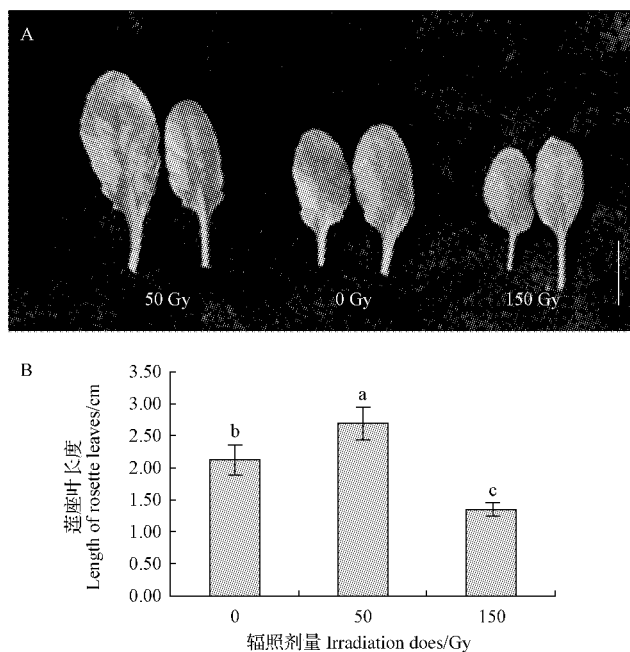


图 2 不同剂量⁶⁰Co-γ 辐照对拟南芥莲座叶长度的影响

Fig. 2 Effects of gamma irradiation of different doses on length of rosette leaves of *Arabidopsis*

2.3 低剂量⁶⁰Co-γ 辐照对拟南芥角果长度和种子数量的影响

由图 3A 可以看出,与对照相比,50 Gy 辐照处理的拟南芥角果长度增加,150 Gy 辐照抑制了拟南芥角果的生长。通过统计辐照处理下的角果长度和每个角果的种子数,由图 3B、C 进一步分析,50 Gy 辐照的拟南芥植株角果的平均长度为 1.38 cm,每个角果的种子数量平均为 53.4 个,角果长度以及种子数均显著高于对照。与对照相比,150 Gy 辐照的拟南芥角果长度和种子数目都显著低于对照,分别比对照组减少了 13.79% 和 11.69%。

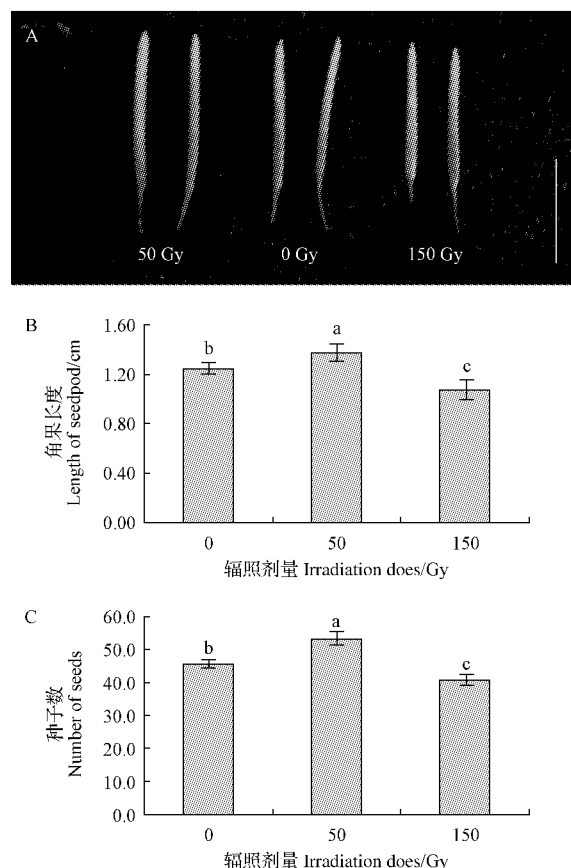


图 3 不同剂量⁶⁰Co-γ 辐照对拟南芥角果长度和种子数的影响

Fig. 3 Effects of gamma irradiation of different

doses on length of seedpod and number of seeds of *Arabidopsis*

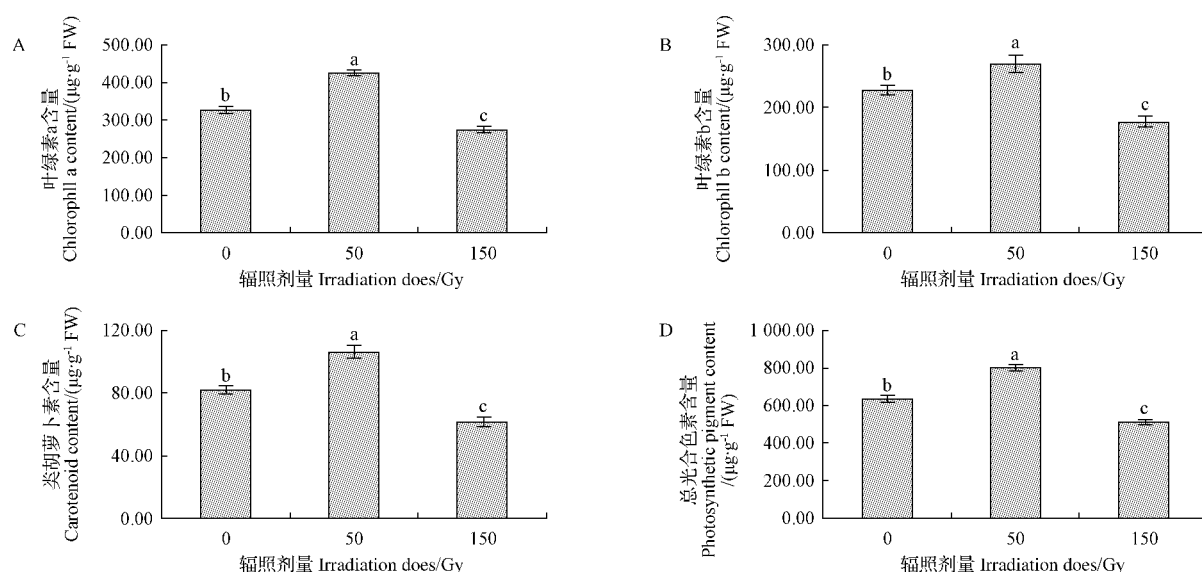
2.4 低剂量⁶⁰Co-γ 辐照对拟南芥叶片光合色素的影响

由图 4 可知,与对照相比,50 Gy ⁶⁰Co-γ 辐照处理的拟南芥叶片叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素以及总光合色素含量均增加,分别达到了 424.86、269.81、106.41、801.08 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$,比对照分别增加了 29.79%、18.3%、29.41%和 25.63%,其中叶绿素 a 的含量增加的最明显;而 150 Gy 辐照处理的拟南芥,其叶片的各种光合色素含量都显著低于对照,分别减少了 16.23%、22.14%、25.13%和 19.49%,减少最多的是类胡萝卜素。

3 结论与讨论

毒物兴奋效应(hormesis)指的是任何低剂量的有毒物质对任何生物物种都能引起刺激效应,其中包括离子辐射。毒物兴奋效应通常被认为是一种剂量效应现象,它具有低剂量刺激高剂量抑制的特点,而且这个结论在多种生物体中得到了证实,包括微生物,无脊椎动物,实验动物和高等植物等。

课题组前期研究发现,低剂量⁶⁰Co-γ 辐照能够促进拟南芥幼苗的生长,其中,剂量为 50 Gy 的辐照刺激效

图4 不同剂量 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照对拟南芥光合色素含量的影响Fig. 4 Effects of gamma irradiation of different doses on contents of photosynthetic pigments of *Arabidopsis*

应最显著,而 150 Gy 辐照明显抑制幼苗的生长^[15]。因此,该试验设定了 50 Gy 和 150 Gy $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照剂量,以研究这 2 个剂量对拟南芥植株生长的影响。多个试验证明低剂量的 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照能够促进植株的生长发育以及增强对环境胁迫的耐受性^[3-4,11,15]。该研究的结果表明,低剂量 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照可以刺激拟南芥植株的生长,主要表现为植株高度增加,莲座叶增长,角果长度增加以及种子数目增多。JAN 等^[16] 研究发现,用 0~10 Gy 剂量的 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理的补骨脂,植株高度随着辐照剂量的增加而增高,当辐照剂量大于 10 Gy,植株高度出现逐渐降低的趋势。此外,植株的叶片面积和种子数量在辐照剂量为 10 Gy 时,数值达到最大,显著高于对照组和较高剂量的处理组。SINGH 等^[17] 以 10、30、50、70、100 Gy 辐照处理小麦种子,研究了 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照对小麦植株生长发育以及产量的影响。结果表明,当辐照剂量为 10 Gy 时,每个小穗以及每一个麦穗的种子数与其它辐照剂量相比都达到了最大值。上述研究结果与该试验的结论一致,表明低剂量 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照可以调节植物的营养生长,而产生刺激效应的辐照剂量与植物物种有关。此外,该试验发现,低剂量 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照还有助于增加拟南芥叶片叶绿素 a,叶绿素 b,类胡萝卜素以及总光合色素的含量,而高剂量的 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照则抑制拟南芥光合色素的积累。MARCUS 等^[18] 对莴苣种子以不同剂量 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理,研究发现当辐照剂量为 30 Gy 时,莴苣叶片中叶绿素 a,叶绿素 b,类胡萝卜素以及总光合色素的含量均高于对照和其它剂量处理组,达到最高值。此外,用不同剂量

(0、300、400、500 Gy) $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理秋葵发现,辐照剂量为 400 Gy 时,叶绿素 a,叶绿素 b 以及总色素含量均达到最大值,而且与其它处理组相比均达到了显著水平^[19]。这些研究结果都支持了该研究的结论。还有研究认为,低剂量 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照刺激植物幼苗生长可能是刺激细胞分裂,直接或间接地刺激生长素相关基因的表达,而高剂量的 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照有可能扰乱蛋白质的合成、激素的平衡以及酶的活性^[20-21]。该研究认为,低剂量辐照处理能够促使植株光合色素大量积累,增强光合作用,进而促进植株的营养生长和生殖生长。综上所述,该研究发现,对拟南芥种子进行低剂量的 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照处理,显著促进拟南芥植株高度和莲座叶长度的增加,以及促进拟南芥角果的生长,增加拟南芥角果种子数量。此外,低剂量 $^{60}\text{Co-}\gamma$ 辐照对种子进行辐照处理以后,显著促进叶片光合色素的积累。

参考文献

- [1] DAVIES C, HOWARD D, TAM G, et al. Isolation of *Arabidopsis thaliana* mutants hypersensitive to gamma radiation[J]. Molecular and General Genetics, 1994, 243: 660-665.
- [2] BACHIRI H, DJEBBAR R, DJENADI C. Gamma irradiation effects on some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under control and water stress conditions[J]. American Journal of Plant Physiology, 2014, 9(3): 103-109.
- [3] BORZOU EI A, KAFI M, KHAZAEI H, et al. Effect of gamma radiation on germination and physiological aspects of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings[J]. Pakistan Journal of Botany, 2010, 42(4): 2281-2290.
- [4] KIM D Y, HONG M J, PARK C S, et al. The effects of chronic radiation of gamma ray on protein expression and oxidative stress in *Brachypodium*

- distachyon*[J]. International Journal of Radiation Biology, 2015, 91(5): 407-419.
- [5] WI S G, CHUNG B Y, KIM J S, et al. Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants[J]. Micron, 2007, 38(6): 553-564.
- [6] MARCU D, CRISTEA V, DARABAN L. Dose-dependent effects of gamma radiation on lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*) seedlings [J]. International Journal of Radiation Biology, 2013, 89(3): 219-223.
- [7] AKSHATHA, CHANDRASHEKAR K R, SOMASHEKARAPPA H M, et al. Effect of gamma irradiation on germination, growth, and biochemical parameters of *Terminalia arjuna* Roxb[J]. Radiation Protection and Environment, 2013, 36(1): 38-44.
- [8] GICQUEL M, TACONNAT L, RENOU J P, et al. Kinetic transcriptomic approach revealed metabolic pathways and genotoxic-related changes implied in the *Arabidopsis* response to ionizing radiations[J]. Plant Science, 2012, 195(3): 106-119.
- [9] EI-BELTAGI H S, AHMED O K, EI-DESOUKY W. Effect of low doses gamma-irradiation on oxidative stress and secondary metabolites production of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) callus culture[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2011, 80(9): 968-976.
- [10] SHEREEN A, ANSARI R, MUMTAZ S, et al. Impact of gamma irradiation induced changes on growth and physiological responses of rice under saline condition[J]. Pakistan Journal Botany, 2014, 41(5): 2487-2495.
- [11] MOUSSA H R. Low dose of gamma irradiation enhanced drought tolerance in soybean[J]. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 2011, 17(1): 63-72.
- [12] LIANG Z, FENGXIA Z, WENCAI Q, et al. Irradiation with low-dose gamma ray enhances tolerance to heat stress in *Arabidopsis* seedlings[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2016, 128: 181-188.
- [13] LICHTENTHALER H K. Chlorophyll and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes[J]. Methods in Enzymology, 1987, 148C: 350-382.
- [14] WELLBURN A R. The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution[J]. Journal of Plant Physiology, 1994, 144: 307-313.
- [15] WENCAI Q, LIANG Z, WEISEN F, et al. ROS and ABA signaling are involved in the growth stimulation induced by low-dose gamma irradiation in *Arabidopsis* seedling[J]. Appl Biochem Biotechnol, 2015, 175(3): 1490-1506.
- [16] JAN S, PARWEEN T, SIDDIQI T O. Gamma radiation effects on growth and yield attributes of *Psoralea corylifolia* L. with reference to enhanced production of psoralen[J]. Plant Growth Regulation, 2011, 64(2): 163-171.
- [17] SINGH B, DATTA P S. Gamma irradiation to improve plant vigour, attributes of wheat[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2010, 79(2): 139-143.
- [18] MARCU D, CRISTEA V, DARABAN L. Dose-dependent effects of gamma radiation on lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata*) seedlings[J]. International Journal of Radiation Biology, 2013, 89(3): 219-223.
- [19] HEGAZI A Z, HAMDELDIN N. The effect of gamma irradiation on enhancement of growth and seed yield of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Monech) and associated molecular changes[J]. Journal of Horticulture and Forestry, 2010, 2(3): 38-51.
- [20] KOVALCHUK I, MOLINIER J, YAO Y, et al. Transcriptome analysis reveals fundamental differences in plant response to acute and chronic exposure to ionizing radiation[J]. Mutation Research, 2007, 624(s1-2): 101-113.
- [21] FAN J, SHI M, HUANG J Z, 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(129C): 33-42.

Effect of Low-dose Gamma Irradiation on Growth and Development of *Arabidopsis* Plants

ZHANG Liang, MA Lingyu, WANG Taixia

(College of Life Science, Henan Normal University, Xinxiang, Henan 453007)

Abstract: *Arabidopsis* seeds were irradiated with gamma irradiation at the doses of 0, 50 and 150 Gy, respectively and the biological effects of gamma irradiation on plant growth and development were investigated. The results showed that 50 Gy gamma irradiation significantly increased *Arabidopsis* plant height, rosette leaf length, pod length, number of seeds, and content of photosynthetic pigments. While, gamma irradiation at the dose of 150 Gy obviously decreased the growth and physiological parameters, indicating that gamma irradiation at high doses inhibited *Arabidopsis* plant growth. Taken together, these results indicated that low-dose gamma irradiation significantly promoted the vegetative and reproductive growth in *Arabidopsis* plants.

Keywords: gamma irradiation; stimulatory effect; plant growth; *Arabidopsis thaliana*