

文章编号: 1007-4627(2008)02-0182-05

$^{12}\text{C}^{6+}$ 离子辐照对 4 种农作物种子出苗率及幼苗生长的研究*

孙兰弟¹, 张颖聪¹, 吴大利¹, 梁 凯¹, 张彦萍¹, 贾瑞玲¹,
秦倩倩¹, 程 曦¹, 钱平平¹, 李文建², 侯岁稳^{1, 2, #}

(1 兰州大学生命科学学院干旱与草地生态教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 以能量为 80 MeV/u 的 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子为诱变源辐照油菜、胡麻、大葱和兵豆的干种子后, 研究了不同剂量处理对 4 种农作物 M_1 和 M_2 代种子出苗率及幼苗生长的影响。实验结果表明: 重离子所导致的 M_1 代生物学效应因不同的物种而表现出一定的差异, 适当剂量 C 离子辐照促进了油菜和胡麻 M_1 代出苗率和幼苗的生长; 而不同剂量的 C 离子辐照抑制了大葱的出苗率和幼苗的生长; 兵豆 3 个剂量下的出苗率和对照相差很小, 但 90 Gy 辐照有利于其生长。到了 M_2 代, 4 种作物辐照组的发芽率都低于各自的对照组; 30 Gy 剂量下的油菜、胡麻和兵豆长势最好; 大葱依然是对照的长势最好。

关键词: $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子; 出苗率; 大葱; 油菜; 胡麻; 兵豆

中图分类号: Q691 **文献标识码:** A

1 引言

重离子是一种具有高传能线密度(LET)的质量数大于 4 的荷电粒子, 剂量分布在射程末端形成典型的 Bragg 峰, 同时较高的相对生物效应(RBE)等特性被认为是比 X 射线和 γ 射线更有利于植物遗传改良的新的物理诱变源^[1]。近年来, 用离子束生物技术在水稻、小麦、玉米等一些植物诱变育种中取得了显著成效^[2-4]。离子辐照实验所采用的植物样品可以是植物体的各个部位, 由于种子具有取材方便、易于操作、适宜大量处理等特点, 所以通常处理种子最为广泛。

大葱(*Allium fistulosum* L.)是百合科草本植物, 分布广泛, 其味辛性温, 具有较高的营养价值。有通阳活血、发散风邪、按胎止血、发表和里、解毒等功效^[5]。油菜(*Brassica napus* L.)属于十字花科, 是世界范围内重要的油料作物。在我国, 油菜常年种植面积约 1×10^6 hm², 总产约 1×10^7 t, 种植面积和总产量均居世界首位^[6]。胡麻(*Linum us-*

itatissimum L.)又称油用亚麻, 属于亚麻科, 一年生草本植物, 是世界十大油料作物之一。除作为高品质食用油外, 其还具有保健、防病、治病等多项功能; 胡麻油也可用于油漆等工业领域^[7-9]。兵豆(*Lens culinaris* Medic.)又名滨豆、小扁豆, 是豆科兵豆属植物, 其富含多种人体必需氨基酸及维生素, 为豆类中最有营养价值的一种^[10]。

在兰州重离子加速器国家实验室的支持下用能量为 80 MeV/u 的 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子在室温和正常大气条件下辐照上述 4 种植物干种子。根据不同剂量处理对几种作物 M_1 代和 M_2 代种子出苗率及幼苗株高的影响不同, 研究讨论了不同物种对重离子辐照敏感性的差异, 为进一步离子束诱变育种提供基础。

2 材料与方法

2.1 实验材料

大葱、油菜、胡麻和兵豆种子均为兰州当地市售的种子。

* 收稿日期: 2008-01-04; 修改日期: 2008-03-05

* 基金项目: 中国科学院西部之光联合学者项目(XL050616); 甘肃省农业生物技术研究与应用开发项目(GNSW-2006-16); 教育部新世纪优秀人才支持计划

作者简介: 孙兰弟(1981-), 女(汉族), 甘肃兰州人, 硕士研究生, 从事细胞生物学研究; E-mail: sunld2005@lzu.cn

通信联系人: 侯岁稳, E-mail: housw@lzu.edu.cn

2.2 实验方法

辐照在中国科学院近代物理研究所的兰州重离子研究装置(HIRFL)生物辐照终端上进行。对这 4 种作物种子,采用离子贯穿的方式来进行辐照,这样离子可以完全穿透整个种子,减少了因损伤区域的差异所带来的影响。辐照时,材料处在室温和正常大气条件下,引出的 C 离子束初始能量为 80 MeV/u,经过镍窗、电离室、空气后照射到样品上,种子的吸收剂量分别为 30, 90 和 180 Gy,以没有辐照的种子作为对照。

田间实验于 2006 年 3 月底进行,大葱、油菜、胡麻和兵豆种子直接播种于兰州大学植物园内,常规管理,一周左右开始陆续出苗,出苗以子叶展开为标准,以后每间隔一定时间统计每种作物对照组和处理组的出苗率。4 月初,统计株高。成熟后收取种子, M_2 代种子于 2007 年 3 月底播种,第 15 d 统计发芽势,第 30 d 统计发芽率和株高,成熟后收取种子。每一种条件的实验重复了 3 次,最后结果

是 3 次重复的平均值。

3 结果与分析

3.1 不同剂量 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子辐照对大葱、油菜、胡麻和兵豆出苗率的影响

3.1.1 M_1 代群体出苗率

$^{12}\text{C}^{6+}$ 离子辐照后,对不同植物种子 M_1 代出苗率的影响是不同的。 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子辐射处理对大葱的出苗率和存活率影响很大(见图 1(a))。3 个辐照组的出苗率明显低于对照组,自种子播种后(以下省略)第 13 d 时,对照组的出苗率为 48.5%, 30, 90 和 180 Gy 的出苗率分别比对照低 8.0%, 7.5% 和 13.5%。之后对照组和处理组的存活率开始下降, 19 d 以后,各处理组的存活率明显降低。第 33 d 时,对照的存活率为 37.5%, 而 30, 90, 180 Gy 的存活率仅为 13.0%, 5.5% 和 0.5%。由此可见, $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子束辐照对大葱种子有明显的损伤作用,且随着剂量的增大,损伤作用在加剧。

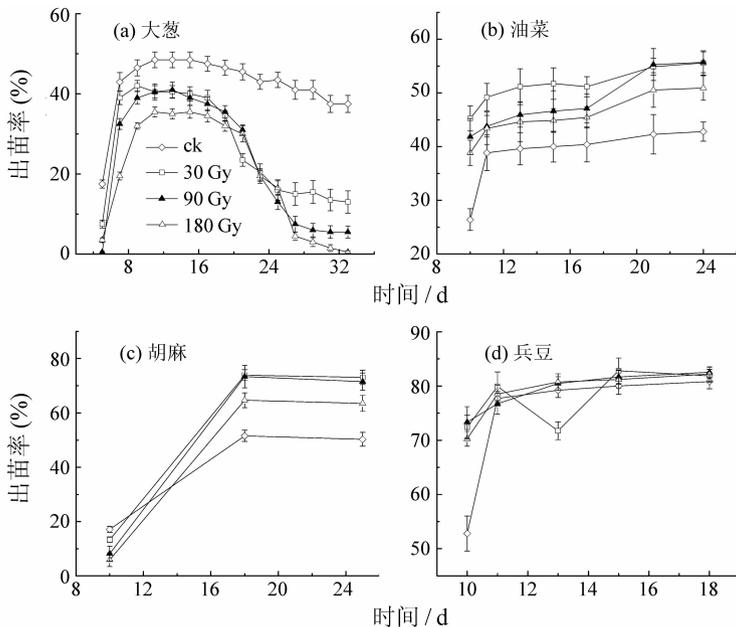


图 1 不同剂量 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子辐照对 4 种农作物 M_1 代群体出苗率的影响(各分图中的实验点同(a))

不同剂量的 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子辐照可明显促进油菜出苗率(见图 1(b))。第 10 d 时, 30, 90 和 180 Gy 的出苗率明显超过了对照组, 增幅分别为 18.9%, 15.5% 和 12.4%, 之后对照及各处理组的出苗率都呈平缓上升趋势。第 24 d 时, 90 Gy 的出苗率最高(55.7%), 比对照高出了 12.9%; 30 和 180 Gy 分

别比对照高出了 12.8% 和 8.1%。由此可见, 适当剂量的 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子辐照将激活油菜种子的萌发。

胡麻种子受到不同剂量的 C 离子束辐照后, 萌发滞后, 但出苗率增大(见图 1(c))。第 10 d 时, 对照的出苗率为 17.2%, 明显高于其它 3 个辐照组。第 18 d 时, 30 和 90 Gy 的发芽率最高, 分别为

73.9%和 73.4%，180 Gy 为 64.7%，而对照仅为 51.6%。之后各组的存活率开始下降。

兵豆的出苗率趋势不同于其它 3 种作物，辐照后的种子出苗时间比较集中，但辐照组和对照组的最终出苗率差异很小(见图 1(d))。第 10 d 时，兵豆各辐照组的出苗率都在 70% 以上，而对照只有 52.8%，第 18 d 时，两类出苗率很接近。

3.1.2 M₂ 代群体出苗率

4 种作物辐照组 M₂ 代的发芽势和发芽率均低于对照组。大葱的发芽势在 30 Gy 最低，为 75.3%，之后随着剂量的增大而升高。胡麻和油菜的发芽势随剂量的升高呈下降趋势，胡麻各处理组和对对照组相比，降低幅度在 37.0%—53.0% 之间，油菜各处理组比对照组降低了 3.2%—9.0%。就兵豆发芽势而言，在 90 Gy 时最低，为 48.6%，在 180 Gy 时发芽率又有所回升，为 53.1%(见图 2)。

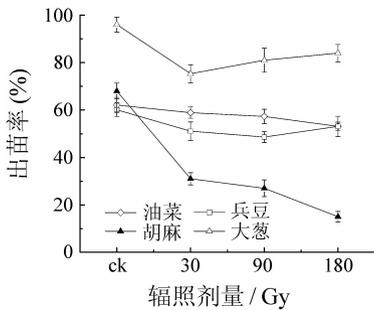


图 2 ¹²C⁶⁺ 离子束辐照对 M₂ 代发芽势的影响

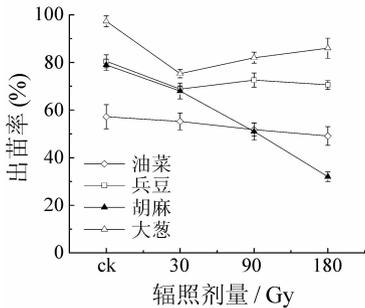


图 3 ¹²C⁶⁺ 离子束辐照对 M₂ 代发芽率的影响

从图 2 和图 3 可知，各种作物的发芽率曲线和发芽势曲线的形状基本一致，除了油菜各剂量下的发芽率比相应的发芽势降低外，其它 3 种作物每种剂量下的发芽率都比相应的发芽势提高了。

3.2 不同剂量 ¹²C⁶⁺ 离子辐照对幼苗株高的影响

3.2.1 4 种作物 M₁ 代幼苗株高

¹²C⁶⁺ 离子束辐照后，这 4 种作物的幼苗高度也随着剂量的不同而发生多样变化(见图 4(a))。在所采取的 3 个剂量中，30 Gy 的重离子辐照明显地促进了油菜和胡麻的植株生长，幼苗株高分别比对照高出 1.1 和 1.2 cm，但随着剂量的升高，二者的株高逐渐降低。3 个剂量的离子辐照也促进了兵豆幼苗的生长，其中 90 Gy 剂量下的幼苗最高，比对照高出 1.3 cm。大葱在重离子辐照后，幼苗的生长受到了很大的抑制作用，180 Gy 剂量下的抑制作用最明显，株高仅是对照株高的 1/5。

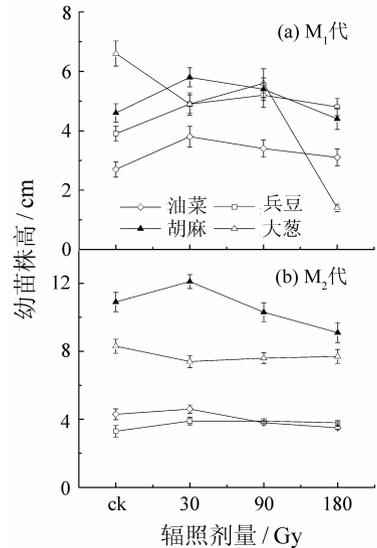


图 4 不同剂量 ¹²C⁶⁺ 离子束辐照对大葱、油菜、胡麻和兵豆幼苗株高的影响

3.2.2 4 种作物 M₂ 代幼苗株高

4 种作物 M₂ 代幼苗株高随剂量变化的曲线见图 4(b)。对油菜、胡麻来说，30 Gy 剂量下的植株长势最好，株高分别比对照高出 0.3 和 1.2 cm，但在 90 和 180 Gy 剂量下，二者的株高低于对照；兵豆 3 个辐照组的株高均高于对照，但 3 个剂量之间差异很小。大葱处理组的幼苗株高随着剂量的增大而升高，但 3 个处理组的株高均低于对照。

4 讨论

4.1 ¹²C⁶⁺ 离子辐照油菜、胡麻、大葱和兵豆后引起的 M₁ 代生物学效应

从本实验可以看出，¹²C⁶⁺ 离子辐照对不同物种的效应是不同的。在所选用的 3 个剂量中，适当剂量的重离子辐照明显地促进了油菜和胡麻的发芽

率和幼苗的生长,说明在出苗率和幼苗生长之间找到一个最佳的辐照剂量是可能的;大葱受辐照后的 M_1 代出苗率和株高都表现出很大的抑制作用,周利斌等曾报道 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子辐照沙打旺干种子也出现类似的变化趋势^[11];对兵豆而言,出苗率几乎不受辐照的影响,这与豆科植物具有高抗辐射性有关^[12, 13]。由此可见,不同物种对离子束的辐射敏感性存在显著差异,有人报道即使同一物种的不同品种间的辐射敏感性差异亦十分显著^[14, 15]。因此建议在进行离子束辐照时,应当针对所研究材料的特异性和辐照敏感性来灵活地选择合适的辐照剂量。

另外,在低能离子注入的当代生物学效应研究中,生物存活-剂量曲线呈“马鞍型”特性^[16, 17],但本实验中使用的 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子贯穿剂量较大,且剂量梯度间隔也较大,所以和低能离子产生的效应有所不同。

4.2 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子辐照油菜、胡麻、大葱和兵豆后引起的 M_2 代生物学效应

4 种作物 M_2 代的出苗情况和 M_1 代比较有很大的不同。油菜和胡麻 3 个处理组的 M_1 和 M_2 代出苗率都随着剂量的增大而降低,但二者处理组的 M_1 代出苗率都高于对照,而 M_2 代出苗率都低于对照。由此可见,重离子辐照后,油菜和胡麻 M_1 代的发芽率主要表现为刺激作用,但到了 M_2 代,损伤作用开始加剧。兵豆 3 个辐照组 M_2 代的发芽率和对照相比降低了很多,但 3 个辐照组之间的发芽率相差很小,这表明并非剂量越大,发芽率越低,可能高剂量的离子辐照对生物损伤存在一定的饱和现象^[18]。大葱 M_2 代的发芽率依然表现为抑制作用,但不同于 M_1 代的是各辐照组的发芽率随剂量的增大而升高。这可能是由于大葱 M_1 代辐照组的存活率很低,那么这些存活的植株就应该具有很高的适应性,且剂量越大,适应性越强。4 种作物 M_1 代和 M_2 代的群体诱变效应不完全相同,这可能是因为 M_1 代同时具有突变效应和生理效应。辐照引起的大多是隐性突变,在 M_2 中才开始表现^[19]。

通过本实验,发现 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子辐照对大葱、油菜、胡麻和兵豆的出苗率和株高的影响是不同的,说明不同物种对 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子辐照的敏感性差异很大,这对解决辐射育种中诱变效率低和定向诱变具有重要意义。

参考文献 (References):

- [1] Wei Zengquan, Xie Hongmei, Liang Jianping, *et al.* Nuclear Physics Review, 2003, **20**(1): 38(in Chinese).
(卫增泉, 颜红梅, 梁剑平等. 原子核物理评论, 2003, **20**(1): 38.)
- [2] Huang Cequn, Li Yufeng. Hybrid Rice, 2002, **17**(5): 5 (in Chinese).
(黄策群, 李玉峰. 杂交水稻, 2002, **17**(5): 5.)
- [3] Tang Zhangxiong, Liu Zhifang, Shi Jinguo, *et al.* Nuclear Techniques, 2005, **28**(1): 30(in Chinese).
(唐掌雄, 刘志芳, 施巾帼等. 核技术, 2005, **28**(1): 30.)
- [4] Luo Hongbing, Zhao Kui, Guo Jiyu, *et al.* Journal of Huainan Agricultural University (Natural Sciences), 2004, **30**(4): 385 (in Chinese).
(罗红兵, 赵葵, 郭继宇等. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2004, **30**(4): 385.)
- [5] Cui Shusheng, Zhang Hao. Compendium of Materia Medica. Beijing: Chinese Medicine and Ancient Book Press, 2005, 49—53(in Chinese).
(崔述生, 张浩. 精编本草纲目. 北京: 中医古籍出版社, 2005, 49—53.)
- [6] Zhang Dongxiao. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2001, **23**(4): 79(in Chinese).
(张冬晓. 中国油料作物学报, 2001, **23**(4): 79.)
- [7] Kelley D S, Branch L B, Love J E, *et al.* Am J Clin Nutr, 1991, **53**(1): 40.
- [8] Berry E M, Hirsch J. Am J Clin Nutr, 1986, **44**(3): 336.
- [9] Shi Gaofeng, Sun Haoran, Chen Xuefu, *et al.* Journal of Anhui Agri Sci, 2006, **34**(10): 2 179(in Chinese).
(史高峰, 孙浩冉, 陈学福等. 安徽农业科学, 2006, **34**(10): 2 179.)
- [10] Kong Zhaosheng, Li Guiquan, Yue Aiqin. Journal of Shanxi Agricultural University, 1999, **19**(1): 63 (in Chinese).
(孔照胜, 李贵全, 岳爱琴. 山西农业大学学报, 1999, **19**(1): 63.)
- [11] Zhou Libin, Li Wenjian, Li Qiang, *et al.* Acta Laser Biology Sinica, 2003, **12**(5): 305 (in Chinese).
(周利斌, 李文建, 李强等. 激光生物学报, 2003, **12**(5): 350.)
- [12] Zhao Kongnan, Chen Qiufang, Wang Cailian, *et al.* Advances in Radiation Induced Mutation Breeding of Plants. Beijing: Atomic Energy Press, 1990, 123—124(in Chinese).
(赵孔南, 陈秋方, 王彩莲等. 植物辐射遗传育种研究进展. 北京: 原子能出版社, 1990, 123—124.)
- [13] Xie Hongmei, Hao Jifang, Wei Zengquan, *et al.* Acta Laser Biology Sinica, 2003, **12**(5): 346 (in Chinese).
(颜红梅, 郝冀方, 卫增泉等. 激光生物学报, 2003, **12**(5): 346.)

- [14] Liang Qiuxia, Huang Qunce, Cao Gangqiang, *et al.* Northern Horticulture, 2007, **176**(5): 1 (in Chinese).
(梁秋霞, 黄群策, 曹刚强等. 北方园艺, 2007, **176**(5): 1.)
- [15] Dong Zun, Liu Jingyang, Ma Hongmei, *et al.* Acta Agriculturae Shanghai, 2003, **19**(1): 15 (in Chinese).
(董遵, 刘敬阳, 马红梅等. 上海农业学报, 2003, **19**(1): 15.)
- [16] Lü Jie, Li Guan, Wang Xinhui. Seed, 2004, **23**(8): 32 (in Chinese).
(吕杰, 李冠, 王新绘. 种子, 2004, **23**(8): 32.)
- [17] Dai Ximei, Huang Qunce, Huang Yanwei. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, **21** (1): 29 (in Chinese).
(代西梅, 黄群策, 黄延伟. 中国农学通报, 2005, **21**(1): 29.)
- [18] Yu Zengliang. Introduction to Ion Beam Biotechnology. Hefei: Anhui Science & Technology Publishing House, 1998, 234—240 (in Chinese).
(余增亮. 离子束生物技术引论. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1998, 234—240.)
- [19] Yuan Chengling, Yu Zengliang. China Biotechnology, 2003, **23**(4): 57 (in Chinese).
(袁成凌, 余增亮. 中国生物工程杂志, 2003, **23**(4): 57.)

Studies of $^{12}\text{C}^{6+}$ Heavy Ions Irradiation on Seed Germination and Young Seedling Growth of Four Crops*

SUN Lan-di¹, ZHANG Ying-cong¹, WU Da-li¹, LIANG Kai¹, ZHANG Yan-ping¹, JIA Rui-ling¹,
QIN Qian-qian¹, CHENG Xi¹, QIAN Ping-ping¹, LI Wen-jian², HOU Sui-wen^{1, 2, #}

(1 Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, Ministry of Education, School of Life Sciences,
Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

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

Abstract: Crops of *Brassica napus* L., *Linum usitatissimum* L., *Allium fistulosum* L. and *Lens culinaris* Medic. were irradiated by 80 MeV/u $^{12}\text{C}^{6+}$ ion beams with doses of 30, 90 and 180 Gy. The germination rates and heights of seedlings of M₁ and M₂ generation of these four plants were studied. The results indicated that germination rates and average heights of the *B. napus* and *L. usitatissimum* were improved by appropriate dose treatment, while great suppression was found in the irradiated groups of the *A. fistulosum*. As far as the *L. Culinaris* was concerned, little differences was observed on M₁ germination rate, but the 90 Gy irradiation was favorable to growth of plant. The treatments with 30, 90 and 180 Gy were inferior to contrast one on M₂ germination rate of the four species. Seedlings of M₂ generation of the *B. napus*, *L. sitatissimum* and *L. culinaris* under 30 Gy grew better than the other groups, while the best performance of the *A. fistulosum* was shown by the control group.

Key words: $^{12}\text{C}^{6+}$ ion; germination rate; *Allium fistulosum* L; *Brassica napus* L; *Linum usitatissimum* L; *Lens culinaris* Medic

* Received date: 4 Jan. 2008; Revised date: 5 Mar. 2008

* Foundation item: Western Light Co-scholar Program of Chinese Academy of Sciences (XL050616); Agricultural Biotechnology Research and Application Foundation of Gansu Province (GNSW-2006-16); Program for New Century Excellent Talents in University

Corresponding author: Hou Sui-wen, E-mail: housw@lzu.edu.cn