

文章编号: 1007-4627(2010)03-0328-07

$^{12}\text{C}^{6+}$ 高能重离子辐照大葱损伤及其分子生物学效应*

李姝汶¹, 王晓军¹, 段翼远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, 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: 利用 30, 90, 180 Gy 3 种剂量的 $^{12}\text{C}^{6+}$ 重离子束辐照大葱种子, 研究其在细胞水平和农艺性状的诱变效应并进行 RAPD 分析。通过与 M1 代的研究结果比较后表明: 经过不同剂量 $^{12}\text{C}^{6+}$ 重离子照射后能有效地诱导大葱细胞形成微核和染色体畸变, 这种诱变效应, 在 M2 代仍然有所表现。M1 代大葱结果期的株高、白长、花序直径和种子产量随辐照剂量增加产生明显差别, 其中 30 Gy 辐照组增幅最大。大葱总水溶性蛋白质和维生素 C 的含量在 30 Gy 组中积累最多, 在 90 Gy 组有明显下降。与 M1 代一致, M2 代中大葱染色体微核率及 RAPD 分析所得的 DNA 多态性比率仍然与辐照剂量呈正相关, 但比率整体下降; 说明高能量重离子辐照造成的 DNA 变异在 M2 代被修复和淘汰。

关键词: 大葱; $^{12}\text{C}^{6+}$ 重离子; 染色体畸变; 维生素 C; 总水溶性蛋白; RAPD 分析

中图分类号: Q693 **文献标识码:** A

1 引言

自 Hirono 等^[1]在 1970 年报道了多种能量的重离子⁴He, ¹²C 和⁴⁰Ar 等对拟南芥产生辐照生物学效应以来, 关于重离子辐射植物的生物效应的研究便屡见报道。

与 γ 射线和中子相比, 重离子在诱变生物学方面有着独特的优势, 比如: 具有较高的突变率、辐照有一定的区域性、注入重离子和生物体相互作用除能量转移和电荷交换外还有质量沉积^[2]。重离子辐射引起的染色体畸变现象(如染色体桥、不均等分裂、微核和染色体滞后等)都有可能通过分裂产生的新细胞内遗传物质发生改变, 虽然并非所有染色体畸变都能产生有益表型, 但用这种方法所筛选出的优良品种是可稳定遗传的^[3, 4]。因此, 重离子辐照已经成为作物改良的一种重要手段, 成为遗传育种领域中一个十分活跃的研发前沿^[5-9]。

大葱(*Allium fistulosum* L.)为百合科、葱属两年生草本植物, 是我国重要的传统蔬菜。大葱含有丰富的蛋白质、糖和氨基酸等营养成分, 具有抗氧

化、消炎抑菌和调节细胞代谢等生物活性, 因此具有极高的食用价值和药用价值^[10, 11]。长期以来, 我国的葱蒜自育品种很少, 生产和出口的大葱所采用的品种均来自日本、韩国和美国等国家, 生产和出口成本较高, 因此加强葱蒜类蔬菜的育种研究并取得成果确为当务之急^[12]。

本文对 $^{12}\text{C}^{6+}$ 重离子束辐照大葱 M1 代结果期的多项生长指标、花粉活力、花粉母细胞核型等以及 M2 代发芽率、总水溶性蛋白含量、根染色体畸变等进行了观察统计, 并采用随机扩增多态性 DNA 技术(RAPD)进行分析, 与侯岁稳等^[13]的研究结果进行了比较, 为进一步了解重离子辐照引发生物诱变的原因及作用机理, 提供分子生物学证据, 也为大葱新品种选育提供参考。

2 材料与方法

2.1 材料

在兰州重离子加速器国家实验室重离子研究装置 HIRFL 的 TL2 终端上, 对大葱种子进行了辐

* 收稿日期: 2009-06-30; 修改日期: 2010-03-19

* 基金项目: 国家基础科学人才培养基金资助项目(J0630644)

作者简介: 李姝汶(1987-), 女(汉族), 陕西岐山人, 硕士研究生, 从事植物细胞学研究; E-mail: sodoi9@hotmail.com

通讯联系人: 侯岁稳, E-mail: housw@lzu.edu.cn

照。引出的 $^{12}\text{C}^{6+}$ 离子束的初始能量为60 MeV/u, 经过镍窗、电离室和空气后照射到样品上, 种籽辐射均在大气正常条件下进行。贯穿种籽的辐射剂量分别选为30, 90和180 Gy, 经过辐照的当代大葱植株M1, M1的自交子代M2, 以没有辐照的种子作为对照。

2.2 方法

(1) M1代结果期生长指标测量

选择不同辐照剂量的M0代所产种子和对照种子50颗进行田间萌发, 两个月后从苗圃移栽入大田, 行距约40 cm, 株距10 cm。9个月后, 对处于结果期的M1代及对照大葱的株高、葱白长度、花序直径和种子干重进行测量, 各组统计20株。

(2) M1代花粉活力测定

采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法检测大葱花粉活力, 方法同文献[2]。花粉活力=(被染色的花粉粒个数/总花粉粒个数) \times 100%, 花粉细胞被染色呈深红色为强活力, 呈粉红色为弱活力。

(3) M1代花粉母细胞核型观察

每组随机选取未成熟大葱花粉囊若干, 用Carnoy液(乙醇:冰醋酸=3:1)固定24 h, 苯酚品红染液染色压片, 在Motic显微镜下观察微核和染色体畸变情况, 每组制作装片20个, 每个装片随机取10个视野, 统计花粉母细胞具有微核的细胞数和出现染色体滞后和染色体桥等染色体畸变现象的细胞数, 统计染色体畸变率和微核率, 并用显微照相系统进行拍照保存。

(4) M2代室内萌发率

将M1代的种子和对照种子各50颗分别放入盛有滤纸的培养皿中并加少量清水, 置于光照培养箱18℃条件下萌发, 记录M2代室内萌发率。

(5) M2代根尖细胞核型观察与统计

M1代种子室内萌发, 随机选取对照组和辐照组每组20株幼苗, 每株幼苗选择1个根尖, 切取根尖2—3 mm进行染色计数。方法同文献[16]。

(6) M2代维生素C含量的测定

M2代幼苗于光照培养箱培育2个月后移入大田, 5个月后, 对大葱进行取样, 对照组和辐照组每组随机选取15—20株, 每株分别切取葱白长度约10 cm并编号, 进行维生素C含量和总水溶性蛋白含量分析。

维生素C含量测定采用2, 6-二氯酚(DCPIP)滴定法测定^[14], 计算公式: 维生素C含量(mg/100 g)=($V_a - V_b$) $\times C \times T \times 100 / (D \times W)$, 其中 V_a 为滴定样品所耗用染料的平均毫升数, V_b 为滴定空白对照所耗用染料的平均毫升数, C 为样品提取液的总毫升数, T 为1 ml染料能氧化维生素C毫克数, D 为滴定时所取的样品提取液毫升数, W 为待测样品的重量(g)。

(7) M2代总水溶性蛋白含量

按常规方法提取水溶性蛋白, 考马斯亮蓝G-250溶液染色, 测定595 nm吸光度, 通过标准曲线查得蛋白质含量^[14]。

(8) M2代的RAPD分析

随机选取对照组和辐照组大葱15株, 每株切取新鲜嫩叶0.3 g左右装入EP管并编号, CTAB法^[12]进行基因组总DNA的提取, 选取12种随机引物进行RAPD分析(随机引物购自上海生物工程技术服务有限公司S系列), 方法同文献[13]。

(9) SPSS软件分析

统计处理应用SPSS 13.0统计软件处理。计量资料、多组均数间满足正态性, 方差齐时采用单因素方差分析, 均数间的两两比较采用最小显著差数法(LSD), 单样本t检验, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3 结果与分析

3.1 M1代结果期生长指标

对株高、白长等的统计结果表明: 经过辐照的3组大葱长势都好于对照, 其中30 Gy辐照量处理的大葱长势明显好于其他组, 植株平均总长大于对照11.3%, 花序直径大于对照24.6%, 种子产量高于对照15.3%。180 Gy辐照量处理组各组性状有

表1 M1代大葱结果期生长情况统计*

分组	株高/cm	白长/cm	花序直径/cm	种子产量/g
对照	49.5 \pm 2.5	16.3 \pm 0.6	5.3 \pm 0.4	7.3 \pm 1.5
30 Gy	53.8 \pm 5.8*	19.4 \pm 0.8*	6.5 \pm 0.5**	8.8 \pm 1.8
90 Gy	53.1 \pm 4.7*	17.6 \pm 0.9	6.3 \pm 1.2**	6.8 \pm 2.7
180 Gy	50.5 \pm 1.0	17.5 \pm 1.5	4.8 \pm 0.8	4.5 \pm 1.5*

* * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

所下降, 其中花序直径和种子产量分别较之对照组

降低了 8%和 38.5%，降低幅度较大(表 1)。

3.2 M1 代花粉活力测定及花粉母细胞核型观察

重离子辐照对大葱花粉活力的影响呈抛物线趋势。与对照组相比 30 Gy 组花粉活力显著提高, 90 Gy 组花粉活力也有所增大, 幅度较 30 Gy 小, 而 180 Gy 组花粉活力明显下降。结果说明, 低剂量的辐照可以提高大葱花粉活力, 高剂量辐照造成的染色体变异抑制了大葱花粉活力(表 2)。

经过辐照的 3 组大葱, 其花粉母细胞染色体产

生不同程度的变化, 出现了单微核、双微核、染色体桥及染色体之后等染色体畸变现象。微核率随着辐照剂量的增加而增大; 在 90 Gy 辐照量处理的大葱花粉母细胞中观察到多种染色体畸变情况, 90 和 180 Gy 两组总的染色体畸变率显著升高。同时发现不同辐照量处理大葱的花粉细胞核有不同的变异特征: 30 Gy 出现了较多染色深的圆形光滑小核; 90 Gy 出现较多游离染色体现象; 180 Gy 出现细胞质混浊现象(图 1)。

表 2 M1 代大葱花粉母细胞核畸变率及花粉活力的比较*

分组	单微核 (%)	双微核 (%)	染色体桥 (%)	染色体滞后 (%)	染色体畸变 (%)	花粉活力(%)		
						强活力	弱活力	总活力
对照	0	0	0	0	0	14.5	36.0	50.5
30 Gy	0.4	0	0	0	0.4	22.2	44.9	67.1**
90 Gy	1.6	0.4	0.4	0.3	2.7*	17.9	39.3	57.1
180 Gy	3.3	1.7	0	0	5.0**	8.7	11.8	20.5**

* * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

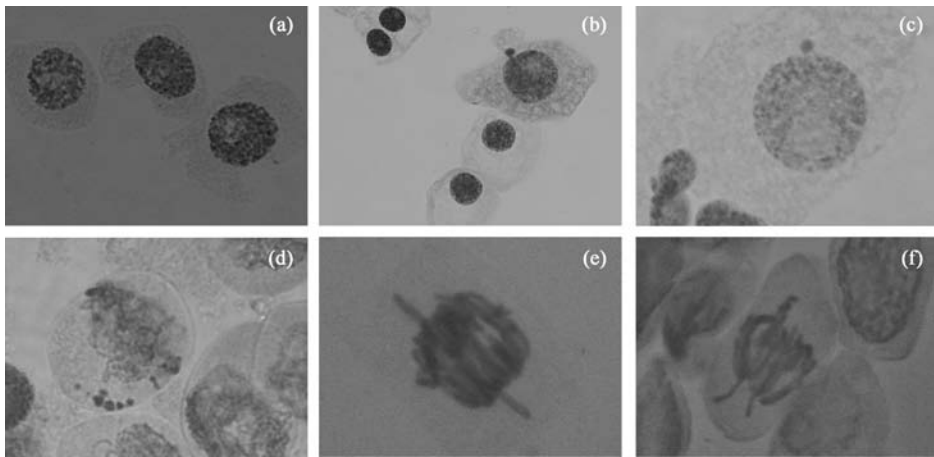


图 1 M1 代花粉母细胞微核现象

(a) 对照组正常细胞, (b) 30 Gy 单微核, (c) 90 Gy 单微核, (d) 180 Gy 多微核, (e)和(f) 180 Gy 染色体滞后。

3.3 M2 代大葱种子室内萌发率

与 M1 代种子发芽率随辐照量的增加而降低的情况有所不同^[15], 在 M2 代中除 180 Gy 以外其余 3 组也遵循上述规律, 而 180 Gy 组萌发率最高达到了 78%, 与 M1 代相比, 恢复了 38.5%, 90 Gy 组萌发率最低(图 2)。

3.4 M2 代大葱根尖细胞染色体畸变率

M2 代大葱微核率呈线性上升, 这一趋势与 M1 代相同^[13], 但比率均显著下降。3 组大葱 M2

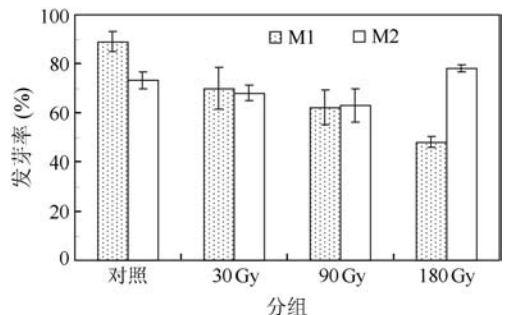


图 2 M1 和 M2 代大葱发芽率比较(室内萌发)

染色体畸变率较之 M1 代分别下降了 88.6%，88.3% 和 91%，说明大葱在 M2 代修复了大量染色体损伤，但辐照造成的影响并未完全消失(图 3)。

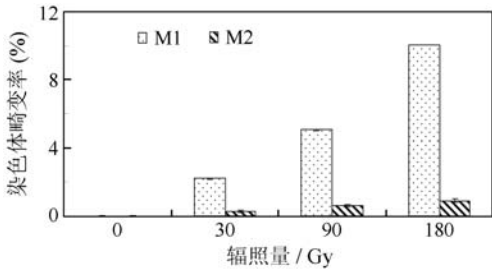


图 3 M1 和 M2 代根尖染色体畸变率比较

3.5 M2 代维生素 C 和总水溶性蛋白质含量比较

对经过辐照的 3 组 M2 代大葱和对照进行营养物质的测定。结果表明，随着辐照剂量的增加，营养物质的积累量呈波浪趋势，其中 30 Gy 组的营养物质含量较之对照组均出现较大增幅，维生素 C 和总水溶性蛋白质平均含量分别增加了 42.5% 和 51.7%；90 Gy 组维生素 C 含量较之对照下降 23%。这表明经过不同剂量辐照后，大葱发生可遗传变异导致营养物质积累量发生变化，而 30 Gy 在本次研究中显示为最佳剂量(表 3)，其中 30 Gy 组编号为 30 Gy-2 测得最高维生素 C 含量为 19.5 mg/100 g，编号为 30 Gy-14 测得最高总水溶性蛋白质含量 0.4 mg/g，这种有利变化具有进行进一步遗传分析的价值。

表 3 M2 代大葱平均维生素 C 和总水溶性蛋白质含量比较

辐照剂量 /Gy	维生素 C 含量 / (mg/100 g)	总水溶性蛋白含量 / (mg/g)
0	8.0	0.3
30	11.4	0.4
90	6.2	0.3
180	8.0	0.4

3.6 M2 代 RAPD 分析

¹²C⁶⁺ 重离子辐射后，两代大葱 DNA 序列发生了不同的变化。挑选了 12 个引物进行扩增，共得到 131 条带，扩增带谱分子量均在 100—2000 bp 之间，其中对照组、30、90 和 180 Gy 组分别扩增总条带数为 31、34、35 和 31 条，90 Gy 组所扩增出的条带的数目、亮度与位置均与其他 3 组出现显著差异(图 4，表 5)。90 Gy 产生 14 条特异性条带，

180 Gy 为 12 条，30 Gy 为 7 条，3 组变异率分别为 10.77%，21.21% 和 19.36% (表 4，表 5)。从 DNA 扩增图谱可以看出，RAPD 扩增的结果中既有新增和缺失条带，还有迁移率的差异，且某些相同条带的 DNA 含量也有所差异(图 5)。

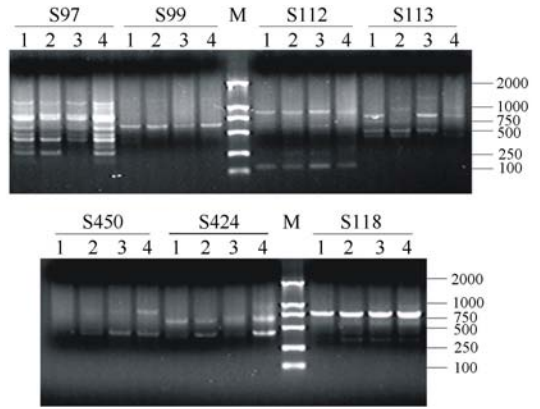


图 4 引物 S97, S99, S112, S113, S450, S424 和 S118 扩增结果

M 为 Marker(bp)，1 为对照，2 为 30 Gy，3 为 90 Gy，4 为 180 Gy。

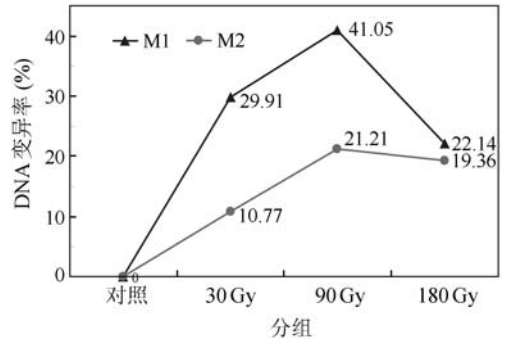


图 5 M1 与 M2 代 DNA 变异率比较

表 4 12 个引物扩增出的 DNA 片段数分析(M2 代)

分组	总条带数	缺失条带数	增加条带数	相似率(%)	变异率(%)
对照	31	—	—	—	—
30 Gy	34	2	5	89.23	10.77
90 Gy	35	5	9	78.79	21.21
180 Gy	31	6	6	80.64	19.36

表 5 12 个引物扩增出的 DNA 片段数(M2 代)

引物	序列	产生条带数			
		0 Gy	30 Gy	90 Gy	180 Gy
S97	ACGACCGACA	8	7	6	9
S98	GGCTCATGTG	0	0	0	0

S99	GTCAGGGCAA	3	3	1	2
S109	TGTAGCTGGG	1	1	1	1
S112	ACGCGCATGT	3	4	4	2
S113	GACGCCACAC	5	4	4	2
S118	GAATCGGCCA	3	4	4	4
S199	GAGTCAGCAG	4	4	4	3
S424	GACCGACCCA	2	2	3	3
S428	ACCTCAGCTC	0	2	2	0
S430	ACAACCTGGGG	0	0	4	3
S450	TCAGAGCGCC	2	3	2	2

4 讨论

不同剂量的¹²C⁶⁺高能重离子辐照大葱种子后, M1 及 M2 代植株的生长和形态都发生了较大差异。本实验中 30 Gy 辐照剂量下的有益突变率是最高的, M1 代植株整体表现出多项生理及形态学指标优于包括对照在内的其他株系, 如株高、葱白长度和花粉活力等, M2 代植株维生素 C 和总水溶性蛋白质的含量在这一组也是最高的, 这与国内其他有关重离子在改良作物性状方面的结论相一致^[15-17], 与低能重离子的辐射效应有一定区别^[18]。

在一定范围内, 随着辐射剂量的增加, 大葱根尖及花粉母细胞的微核及染色体突变率也都随之上升, 二者具有正相关性。这与其他有关研究的结论一致^[19, 20]。M2 代所有品系的微核及染色体畸变率较之 M1 代都有所下降, 但仍然保持了 M1 代随辐射剂量增加的增长趋势, 这说明植株在生长繁殖过程中可能修复了部分由于物理诱变造成的染色体突变。但由于受损伤的比例不同, 修复的情况也有所区别^[21], 同时也证明了辐射所造成的部分影响可以遗传到子代。180 Gy 出现细胞质混浊现象, 推测为染色体变异合成的错误成分。

种子萌发率在 M1 代随辐照剂量增加而降低, 但 M2 代 180 Gy 组明显增加, 这可能是由于 M1 代中 180 Gy 的强活力花粉比例最高, 种子质量得到大幅改善, 而且随着代数的增加种子活力会得到恢复^[15], 从而使 M2 代发芽率相对其他组显著提高。

将辐照 M1 和 M2 大葱的 RAPD 分析结果进行比较, 染色体变异率与辐照剂量不成正比关系, 两代的变异率趋势一致, 90 Gy 组变异率均为最高。两代都出现了缺失条带, 迁移率的差异以及某些相

同条带的 DNA 含量有所差异的现象。但 M2 代较 M1 代变异率整体降低, 30 和 90 Gy 组染色体变异率下降最为明显, 分别为 64% 和 48.3%。相比之下, 180 Gy 组的染色体变异率下降较少, 仅为 12.55% (图 5)。高能重离子辐射诱导的变异主要是 DNA 分子较大的改变, 而不会是点突变^[20]。随着辐照剂量增大, 细胞染色体损伤逐步加大也更难修复, 因此 30 和 90 Gy 辐照剂量下导致的染色体损伤在传代时被大量修复, 而 180 Gy 辐照剂量导致染色体损伤严重难以修复, 体现出低回复率。

这些结果说明, 经过重离子辐照后, 大葱 DNA 序列发生了明显的变化, 这些变化能够部分遗传, 但是否能进一步稳定遗传还有待更深入的研究。

参考文献 (References):

- [1] Hirono Y, Smith H H, Lyman J T, *et al.* Rad Res, 1970, **44**: 204.
- [2] Hou Suiwen, Wu Dali, Zhang Yingcong, *et al.* J Radiat Res Radiat Process, 2008, (4): 78(in Chinese).
(侯岁稳, 吴大利, 张颖聪, 等. 辐射研究与辐射工艺学报, 2008, (4): 78.)
- [3] Wang Ruixiang. Journal of Shanxi Teacher's University (Natural Science Edition), 1998, (12): 50 (in Chinese).
(王瑞祥. 山西师范大学学报(自然科学版), 1998, (12): 50.)
- [4] Li Xianggao, Qi Zhangnian, Chen Mei, *et al.* Space Medicine & Medical Engineering, 1996, (12): 417(in Chinese).
(李向高, 祁章年, 陈涓, 等. 航天医学与医学工程, 1996, (12): 417.)
- [5] Wu Zhenxiang, Li Sumei, Yin Guoxiang, *et al.* Journal of Anhui Agricultural University, 1994, **21**(3): 321 (in Chinese).
(邬振祥, 李素梅, 尹国香, 等. 安徽农业大学学报, 1994, **21**(3): 321.)
- [6] Zhang Zhihong, Du Liqun, Li Hongjie, *et al.* Acta Biophysica Sinica, 1998, **14**(4): 762(in Chinese).
(张志宏, 杜立群, 李洪杰, 等. 生物物理学报, 1998, **14**(4): 762.)
- [7] Cheng Beijiu, Tian Qiuyuan, Lin Yi, *et al.* Journal of Anhui Agricultural University, 1991, **18**(2): 148(in Chinese).
(程备久, 田秋元, 林毅, 等. 安徽农学院学报, 1991, **18**(2): 148.)
- [8] Li Xiaoguo, Zhang Hongwei. Xinjiang Agricultural Sciences, 2002, **39**(4): 238 (in Chinese).
(李小国, 张宏伟. 新疆农业科学, 2002, **39**(4): 238.)

- [9] Liang Qianjin, Hu Yulian, Zhang Genfa. *Acta Biophysica Sinica*, 2002, **18**(2): 251(in Chinese).
(梁前进, 胡玉莲, 张根发. 生物物理学报, 2002, **18**(2): 251.)
- [10] Xu Jingjing, Li Jing, Feng Xihuan, *et al.* *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, **24**(11): 307(in Chinese).
(徐敬敬, 李静, 冯希环, 等. 中国农学通报, 2008, **24**(11): 307.)
- [11] Su Hua. Comparison and Appraisal on Major Characters of Welshi Onion Varieties Introduced from Japan(doctor thesis). Jinan: College of Horticultural Science and Engineering, Shandong Agricultural University, 2006, 6—21(in Chinese).
(苏华. 日本大葱品种主要性状的比较鉴定(博士论文). 济南: 山东农业大学园艺科学与工程学院, 2006, 6—21.)
- [12] Fan Zhicheng, Gao Zhaobo, Li Jianyou. *China Vegetables*, 2004, (6): 38 (in Chinese).
(樊治成, 高兆波, 李建友. 中国蔬菜, 2004, (6): 38.)
- [13] Hou Suiwen, Qian Pingping, Guan Liping, *et al.* *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2008, **22**(1): 9(in Chinese).
(侯岁稳, 钱平平, 管利萍, 等. 核农学报, 2008, **22**(1): 9.)
- [14] Zou Qi. *The Plant-physiology Experiment Instructs*. Beijing: Chinese Agriculture Publishing House, 2006, 129—171(in Chinese).
(邹琦. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社, 2006, 129—171.)
- [15] Chen Xuejun, Li Wenjian, Chen Jing, *et al.* *Nuclear Physics Review*, 2008, **25**(2): 176 (in Chinese).
(陈学君, 李文建, 陈婧, 等. 原子核物理评论, 2008, **25**(2): 176.)
- [16] Qian Pingping, Hou Suiwen, Wu Dali, *et al.* *J Radiat Res Radiat Process*, 2007, **25**(4): 212 (in Chinese).
(钱平平, 侯岁稳, 吴大利, 等. 辐射研究与辐射工艺学报, 2007, **25**(4): 212.)
- [17] Wei Zengquan, Xie Hongmei, Liang Jianping, *et al.* *Nuclear Physics Review*, 2003, **20**(1): 38(in Chinese).
(卫增泉, 颀红梅, 梁剑平, 等. 原子核物理评论, 2003, **20**(3): 39.)
- [18] Zhang Jinlian, Hu Yue, Wei Zengquan, *et al.* *Gansu Agriculture Science and Technology*, 1995, (2): 2 (in Chinese).
(张金莲, 胡越, 卫增泉, 等. 甘肃农业科技, 1995, (2): 2.)
- [19] Li Guicheng, Wang Linhui, Luo Hongbing. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2007, **33**(10): 558 (in Chinese).
(李贵成, 王林辉, 罗红兵. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2007, **33**(10): 558.)
- [20] Zhuang Chuxiong, Hu Weimin, Mei Mantong. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica*, 1997, **11**(2): 77 (in Chinese).
(庄楚雄, 胡维民, 梅曼彤. 核农学报, 1997, **11**(2): 77.)
- [21] Liu Zhifang, Shao Junming, Tang Zhangxiong, *et al.* *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2006, **20**(1): 1 (in Chinese).
(刘志芳, 邵俊明, 唐掌雄, 等. 核农学报, 2006, **20**(1): 1.)

Cytological Damage and Molecular Biology Effect of $^{12}\text{C}^{6+}$ Heavy Ions on *Allium fistulosum* L. *

LI Shu-wen¹, WANG Xiao-jun¹, DUAN Yi-yuan¹, QIAN Ping-ping¹, HOU Sui-wen^{1, 2, #}

(1 *College of Life Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;*

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

Abstract: The *Allium fistulosum* L. seeds were irradiated by $^{12}\text{C}^{6+}$ heavy ions to the dosages of 30, 90, 180 Gy, the mutagenic effect in the aspect of the cell level and the agronomy was studied and the RAPD analysis was carried out. Comparison with the conclusion of M1 generation indicates that the Cytological damage, micronucleus and chromosomal aberration caused by radiation formed in the cells of *Allium fistulosum* L., and this kind of effect still existed in the M2 generation. There is a negative correlation between some of the growth indexes such as plant height, diameter of onion white and irradiation dosage to a certain extent, the growth indexes in the 30 Gy dosage exposure group are better than those in control group. The *Allium fistulosum* L. nutrients, including the total water-soluble protein and the Vitamin C content are the highest for the 30 Gy group and the lowest in 90 Gy group. Consistent with the M1 generation, the

* Received date: 30 Jun. 2009; Revised date: 19 Mar. 2010

* Foundation item: National Fund for Fostering Talents of Basic Sciences of China (J0630644)

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

chromosomal aberrations, micronucleus and the DNA polymorphism rate by RAPD analysis are still positive correlations with the radiation dose in M2 generation respectively. However, the overall rates decline. The result indicated that the DNA variation induced by the high energy heavy ion exposure is repaired and eliminated to a certain extent in the M2 generation.

Key words: *Allium fistulosum* L. ; $^{12}\text{C}^{6+}$ heavy ion; chromosome aberration; Vitamin C; total water-soluble protein; RAPD analysis