

文章编号: 1007-4627(2008)02-0176-06

# 不同剂量重离子辐照玉米自交系的生物学效应比较\*

陈学君<sup>1,2</sup>, 李文建<sup>3</sup>, 陈 婧<sup>2</sup>, 余丽霞<sup>3</sup>, 李 杰<sup>2</sup>, 颀红梅<sup>3</sup>, 李 唯<sup>2</sup>

(1 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070;

2 甘肃金象农业发展股份有限公司, 甘肃 张掖 734000;

3 中国科学院近代物理研究所, 甘肃 兰州 73000)

**摘 要:** 用<sup>12</sup>C<sup>6+</sup>和<sup>36</sup>Ar<sup>18+</sup>离子束分别辐照玉米自交系干种子和浸泡种子, 研究了M<sub>1</sub>—M<sub>3</sub>代重离子束辐照的生物学效应。结果表明: 种子发芽势和发芽率随辐照剂量的增加而下降, 不同生理状态的种子对重离子辐照的敏感性也不同。一般<sup>12</sup>C<sup>6+</sup>离子辐照干种子的适宜剂量为20—25 Gy; M<sub>1</sub>代叶型发生明显的变化, M<sub>2</sub>代植株在株高、穗位、单株穗数、雄穗花药颜色、粒质、穗行数、粒重和抗性等方面均发生了变化, 并产生了许多有益的变异, 包括株高和穗位降低、同位多穗、穗行数和粒重增加、粒质由粉质变为硬粒以及抗锈病和红叶病的植株等, 有益突变的频率达7.0%—17.9%; 在M<sub>3</sub>代出现能够稳定遗传的, 并且光合效率增加的有益突变株。由此可见, 重离子束辐照是玉米种质改良的一种高效手段。

**关键词:** 重离子辐照; 剂量; 生物学效应; 变异; 玉米

**中图分类号:** Q691

**文献标识码:** A

## 1 引言

玉米是集粮、经、饲于一体的三元作物, 对国民经济和人们生活具有重要的意义。从世界范围看, 扩大玉米种植面积的可能性已经不大, 提高单产成为发展玉米生产的唯一途径。在增加作物产量的主要因素中, 作物遗传改良的作用最为重要。据国内外专家分析, 在提高作物单位面积产量的农业增产技术中, 品种改良的作用占20%—30%, 高的可达50%以上<sup>[1]</sup>。但随着单交种的普及, 育种材料面临遗传基础越来越狭窄的现状, 因此种质缺乏成为玉米育种的瓶颈。

物理诱变在玉米种质创新方面发挥着重要作用。但过去使用的诱变源中, 物理射线以 $\gamma$ 射线和中子为主, 存在育种周期较长, 而且突变目标不能定向等问题, 因此限制了辐照诱变育种方法的应用。根据重离子束参数多样性, 有望提高突变率, 拓宽突变谱, 缩短育种周期; 同时还可利用它与生物体作用部位的局域性、可控性和可选择性研究定

点(位)诱变, 进而探索定向育种, 提升育种技术, 开创一条辐照诱变育种的新途径<sup>[2]</sup>。自20世纪80年代开始, 我国首先采用重离子束进行了作物诱变育种的尝试, 已在水稻、小麦、西红柿和棉花等作物中取得了成功<sup>[3-5]</sup>。近年来, 关于重离子束辐照玉米的生物学效应已有报道<sup>[6,7]</sup>, 但研究还不够深入。本研究用<sup>12</sup>C<sup>6+</sup>和<sup>36</sup>Ar<sup>18+</sup>离子束对玉米自交系种子进行辐照, 以探讨不同能量、不同剂量的重离子束对玉米自交系的诱变效应, 为重离子在玉米种质创新和品种培育中的应用提供理论依据。

## 2 材料和方法

### 2.1 材料

试验选用金象4C-1, CSR24001, 鲁9801, 郑58, 308和478等6个玉米自交系, 这6个自交系均是目前生产上推广的优良玉米杂交种的亲本。试验所用的自交系种子由甘肃金象农业发展股份有限公司提供。

\* 收稿日期: 2008-01-04; 修改日期: 2008-03-11

\* 基金项目: 中国科学院兰州分院和张掖市政府院地合作资助项目

作者简介: 陈学君(1963-), 男(汉族), 甘肃张掖人, 研究员, 从事玉米遗传育种和种子生产研究

# 通信联系人: 李 唯, E-mail: liw@gsau.edu.cn

## 2.2 方法

**辐照处理** 辐照处理在中国科学院近代物理研究所的 HIRFL-T2 辐照终端进行, 自交系干种子放置在实验终端正前方 50 cm 水平台面上。所有种子的辐照均在正常大气条件下进行, 采用能量为

80.55 MeV/u 的  $^{12}\text{C}^{6+}$ , 82.55 MeV/u 的  $^{36}\text{Ar}^{18+}$  和 100.00 MeV/u 的  $^{12}\text{C}^{6+}$  离子, 贯穿种籽的辐照剂量见表 1, 另外, 同时辐照了郑 58 的浸泡种子。试验以未辐照种子作对照。

**田间试验鉴定** 试验于 2006—2007 年进行。2006 年辐照后的种子种植鉴定在甘肃省张掖市金

表 1 重离子辐照处理剂量

辐照材料	重离子	射线能量				辐照剂量/Gy				辐照年份	备注
		/(MeV/u)									
金象 4C-1	$^{12}\text{C}^{6+}$	80.55	—	10	15	20	25	30	2005	—	
CSR24001	$^{12}\text{C}^{6+}$	80.55	5	10	15	20	25	30	2005	—	
鲁 980	$^{12}\text{C}^{6+}$	80.55	—	10	15	20	25	30	2005	—	
郑 58	$^{12}\text{C}^{6+}$	80.55	—	10	15	20	25	30	2005	—	
郑 58	$^{36}\text{Ar}^{18+}$	82.55	—	10	20	30	—	—	2005	浸泡	
308	$^{12}\text{C}^{6+}$	100.00	—	10	20	30	40	50	2006		
478	$^{12}\text{C}^{6+}$	100.00	—	10	20	30	40	50	2006		

象科技示范园进行。试验地浅耕施基肥, 每亩施农家肥 2 000 kg, 尿素 20 kg, 磷二铵 20 kg, 耙平镇压后播种。每年播种期在 4 月 15—18 日, 宽窄行种植(宽行 0.8 m, 窄行 0.4 m), 株距 0.22 m, 行长 5.4 m, 每行种 25—30 粒, 人工开穴点播, 先播种后覆膜。各材料设一次重复, 单行区种植, 单粒点播, 并播种未处理的同批种子作对照。在 5 月 26 日和 6 月 10 日干耨两次, 6 月 19 日和 6 月 30 日湿耨两次。于 6 月 4 日、6 月 30 日结合灌水时, 每亩追施尿素、磷二铵各 40 kg。全生育期共灌水 6 次。以 60% 出苗时计算出苗率, 当玉米长到第 5 叶时计算成苗率, 于生长期间观察各处理材料的物候期、植株性状和抗病性, 抽雄后统计穗位以上叶数, 收获后进行考种。

2006 年从金象科技示范园收获的  $M_1$  代材料中选出了 CSR24001-1、鲁 9801、金象 4C-1、郑 58 不同剂量的材料 69 份, 于当年冬季在海南进行  $M_2$  代种植鉴定, 等行距种植, 行宽 0.6 m, 株距 0.22 m, 每行行长 5.4 m, 每行种 25—30 株, 大田管理中上水平。各材料一次重复, 单行区种植, 单粒点播。不同品种分别以未处理的同批种子作对照, 观察株型、叶片、株高、穗位、穗行数、千粒重、粒型、籽粒透明度和抗病性等。

2007 年 3 月从海南种植的 CSR24001-1、鲁

9801、金象 4C-1 和郑 58 辐照处理的  $M_2$  代材料中选出了有明显有益突变的材料 100 份, 在张掖市进行  $M_3$  代田间种植鉴定, 不同家系的材料分别以未处理的自交系作对照, 重点观察株型、叶片、株高、穗位、穗行数、千粒重、粒型、籽粒透明度和抗病性等方面发生的突变是否可遗传。

**光合速率测定** 在玉米抽雄吐丝期, 用美国 CI-310 便携式光合作用测定系统对辐照材料穗上第一叶的净光合速率进行测定, 每处理测定 10 株以上生长势较为接近的植株。

## 3 结果与分析

### 3.1 辐照处理对 $M_1$ 代出苗率和成苗率的影响

通过重离子束辐照后的玉米种子出苗率和成苗率与对照相比都有不同程度的降低(见表 2), 其中出苗率比对照低 24.0%—66.3%、成苗率低 25.0%—71.3%。50 Gy 加 1.16 cm lucite 降能片辐照后的出苗率和成苗率最低, 只有 25% 和 20%。材料自身状况对辐照的敏感性也不同, 如  $^{12}\text{C}^{6+}$  用 82.55 MeV/u 辐照后的郑 58 浸泡种子出苗率比干种子低 5.0%—25.0%, 说明浸泡后的种子对重离子的辐照敏感性加大。在相同剂量辐照后的不同品种其出苗率下降幅度差别较大, 如在辐照剂量为 10

Gy 时, 5 个自交系的出苗率在 65.0%—91.0%, 高低相差 26.0%。随着辐照剂量的增大出苗率有逐渐降低的趋势, 并且不同自交系对重离子辐照的敏感性不同, 如郑 58 干种子用 80.55 MeV/u  $^{12}\text{C}^{6+}$  辐照后达到半致死的剂量为 30 Gy(浸泡种子为 10 Gy)、鲁 9801 为 25—30 Gy、金象 4C-1 为 10 Gy、

CSR24001-1 为 20 Gy, 其中金象 4C-1 和 CSR24001-1 这两个品种对重离子辐照较为敏感, 一般对干种子辐照的半致死剂量为 20—30 Gy。辐照后的材料在田间成苗率变化也是随辐照剂量的增加而呈降低的趋势。但随着代数的增加, 种子活力基本恢复, 出苗率和成苗率与对照基本无差异。

表 2 重离子辐照玉米的  $M_1$  代出苗率和成苗率\*

处理材料		辐照处理及剂量/Gy								
		5	10	15	20	25	30	40	50	1.16 cm <sup>(a)</sup>
郑 58 浸泡种子	出苗率(%)	—	45.0	—	60.0	—	25.0	—	—	—
	成苗率(%)	—	45.0	—	60.0	—	25.0	—	—	—
郑 58 干种子	出苗率(%)	—	80.0	65.0	80.0	60.0	50.0	—	—	—
	成苗率(%)	—	80.0	65.0	80.0	60.0	50.0	—	—	—
4C-1 干种子	出苗率(%)	—	70.0	65.0	60.0	30.0	40.0	—	—	—
	成苗率(%)	—	70.0	65.0	60.0	30.0	40.0	—	—	—
鲁 9801 干种子	出苗率(%)	—	65.0	75.0	60.0	55.0	45.0	—	—	—
	成苗率(%)	—	65.0	75.0	60.0	55.0	45.0	—	—	—
CSR24001 干种子	出苗率(%)	65.0	60.0	60.0	45.0	35.0	20.0	—	—	—
	成苗率(%)	65.0	60.0	60.0	45.0	35.0	20.0	—	—	—
478 干种子	出苗率(%)	—	83.0	—	96.0	—	88.0	73.0	48.0	25.0
	成苗率(%)	—	79.0	—	96.0	—	88.0	68.0	43.0	20.0
308 干种子	出苗率(%)	—	91.0	—	82.0	—	68.0	78.0	65.0	—
	成苗率(%)	—	77.0	—	77.0	—	64.0	74.0	65.0	—

\* 自交系“478”未处理种子的出苗率和成苗率均为 91.3%, “308”未处理种子的出苗率和成苗率均为 89.0%; 其中(a)为 lucite 降能片。

### 3.2 辐照对叶片的影响

在  $M_1$  代材料中, 叶片大都呈现畸形, 出现皱缩、卷曲、叶片变窄、叶片变宽、叶片扭曲和疣斑等各种情况, 还出现早衰干枯或持绿期延长。不同材料发生叶片畸形的情况不一, 并随着辐照剂量的增加而变得严重, 如辐照剂量为 10 Gy 照射的郑 58 植株叶片有皱缩, 20 Gy 照射的植株黄化苗、叶片变窄、叶片皱缩并发生卷曲, 经 20 Gy 照射后的浸泡种子生长的植株叶片出现黄化条斑; 10 Gy 照射的 SCR24001 叶片皱缩并扭曲。

随着繁殖代数的增加, 植株叶片功能逐步恢复, 并趋于稳定, 而且出现有益变异的材料比例增加。在  $M_2$  代由辐照郑 58 而来的 17 份材料中, 只有个别出现了叶片皱缩, 田间入选有益突变材料 5 份, 占 29.4%。不同材料出现有益变异的情况也不相同, 如从金象 4C  $M_2$  中选出的金象 4C-1(20 Gy)-

5 植株, 抗病性比对照有明显的提高; 在鲁 9801 的 9 份  $M_2$  材料中, 选出的鲁 9801(15 Gy)-13-1 植株叶片变宽、株型变平展; 在 CSR24001 的 18 份  $M_2$  材料中, 基本上都发生叶片皱缩、叶片变窄, 其中 CSR24001(5 Gy)-6 出现植株扭曲、叶片皱缩和穗位不整齐, CSR24001(20 Gy)-2 叶片变窄、长势变弱、茎秆变细。

### 3.3 辐照对株高和穗位高度的影响

重离子辐照对  $M_1$  代株高和穗位有一定的影响, 总趋势是随着辐照剂量的增加, 株高和穗位高都有降低(见表 3), 但用郑 58 浸泡种子的株高和穗位高却随着辐照剂量的增加略有增加, 在自交系 308 上也有这种现象, 这说明重离子辐照引起变异的情况比较复杂, 因材料的遗传组成不同而反应不一。在  $M_2$  和  $M_3$  代中, 辐照材料的株高和穗位高都比对照有一定幅度的降低(数据未列出), 并且随着代数的

增加而趋于稳定。 $M_3$ 代分离明显而稳定。此外,在总叶片数和穗上部叶片上,数辐照后的材料与对照相比没有明显的差异。

表 3 重离子辐照玉米的  $M_1$  代的株高和穗位

处理材料		辐照处理及剂量/Gy								
		5	10	15	20	25	30	40	50	1.16 cm <sup>(a)</sup>
郑 58 浸泡种子	株高/cm	—	149.2	—	154.7	—	151.0	—	—	—
	穗位高/cm	—	40.7	—	44.7	—	50.0	—	—	—
郑 58 干种子	株高/cm	—	184.0	158.0	161.2	155.0	149.8	—	—	—
	穗位高/cm	—	52.3	52.8	46.8	46.0	42.3	—	—	—
4C-1 干种子	株高/cm	—	200.5	196.9	206.4	201.1	—	—	—	—
	穗位高/cm	—	76.5	74.9	82.0	77.0	—	—	—	—
鲁 9801 干种子	株高/cm	—	187.8	171.4	178.5	176.5	178.8	—	—	—
	穗位高/cm	—	69.0	55.0	59.0	56.8	59.0	—	—	—
CSR24001 干种子	株高/cm	186.4	225.5	223.8	223.0	215.8	207.0	—	—	—
	穗位高/cm	62.5	82.5	103.3	85.0	96.0	78.0	—	—	—
478 干种子	株高/cm	—	191.8	—	177.0	—	178.3	166.9	139.9	170.0
	穗位高/cm	—	77.7	—	69.6	—	66.1	60.5	50.8	58.8
308 干种子	株高/cm	—	181.0	—	189.2	—	178.1	255.4	178.9	—
	穗位高/cm	—	101.4	—	103.3	—	138.0	100.1	98.7	—

\* 株高和穗位高为 10 株的平均数; 其中(a)为 lucite 降能片。

### 3.4 重离子辐照对熟性的影响

在重离子辐照的  $M_1$  代中, 熟性变异表现不明显, 但在  $M_2$  和  $M_3$  代中熟性变异就显现出来, 突变材料中既有成熟早的, 也有成熟晚的。在处理剂量为 20 Gy 的  $M_2$  代中, 郑 58-20 Gy 株系出现 2 份抽雄期比对照提早 4 d、成熟期早且活秆成熟的材料(金象 4C-1-15 Gy 和金象 4C-1-30 Gy); CSR24001-20 Gy 中也出现熟期早、活秆成熟的材料 2 份, 说明重离子  $^{12}C^{6+}$  辐照玉米自交系, 能够改变玉米的生育期。

### 3.5 辐照对穗部性状的影响

玉米自交系辐照后穗部性状变化十分明显, 包括雄性不育、同位多穗和雄穗花药颜色改变等, 此外, 穗行数、粒重和粒质都发生明显的变化。在郑 58 辐照材料中, 有 7 个株系雄穗花药颜色变为变黄(郑 58 花药颜色为紫色)、穗行数增加到 16 行(郑 58 的穗行数为 12—14 行), 有 15 个株系的千粒重达到 400—500 g(对照的千粒重是 360 g), 有 3 个株系的粒质变为硬粒型。在鲁 9801 辐照材料中, 有 5 个株系的千粒重达 400 g 以上(对照千粒重为 320

g)。在 CSR24001 辐照材料中, 个别植株出现同位多穗现象, 从中选出了千粒重达 400 g 的株系 17 份。在  $M_3$  代, 金象 4C-1(20 Gy)雄穗花药的颜色变成了黄色, 对照的花药颜色为紫色。在自交系 478 辐照后代材料中, 也出现同位多穗现象。

### 3.6 辐照对光合速率的影响

用美国 CI-310 便携式光合作用测定系统在早上 9:00—10:00(光合有效辐射为 1 768—6 252  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )对  $M_1$ — $M_3$  代材料的光合特性进行了测定。结果表明:  $M_1$  和  $M_2$  代材料的净光合速率与对照相比没有明显的变化, 而在选得的  $M_3$  代有益变异材料中, 平均净光合速率比对照均有明显的增加(见表 4)。其中, 20 Gy 照射后选出的  $M_3$  代株系郑 58-1-1 株系的平均净光合速率为 24.65  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 比对照增加 6.10  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 30 Gy 照射后选出的  $M_3$  代株系鲁 9801-2-1 平均净光合速率为 14.03  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 比对照高出 1.71  $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 25 Gy 照射后选出的  $M_3$  代株系 CSR24001-2-1 的平均净光合速率为 28.62  $\mu\text{mol}$

(CO<sub>2</sub>) · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>, 比对照增加 11.66 μmol (CO<sub>2</sub>) · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>。

表 4 <sup>12</sup>C<sup>6+</sup> 辐照玉米材料净光合速率的变化效应\*

M <sub>3</sub> 代株系 和对照	辐照能量 /MeV	辐照剂量 /Gy	平均净光合速率 /(μmol (CO <sub>2</sub> ) · m <sup>-2</sup> · s <sup>-1</sup> )
郑 58-1-1	80.55	20	24.65±0.636
郑 58(CK)	0	0	18.55±0.387
鲁 9801-2-1	80.55	30	14.03±0.409
鲁 9801(CK)	0	0	12.32±0.232
CSR24001-2-1	80.55	25	28.62±0.975
CSR24001-1(CK)	0	0	16.96±0.631

\* 平均净光合速率为 10 个单株旗叶测定的平均值。

### 3.7 辐照对抗性的影响

由于 M<sub>1</sub> 代种植的 478 材料的病害发生情况与对照没有明显的变化, 故重点对 M<sub>2</sub> 和 M<sub>3</sub> 代辐照材料的病害发生情况及抗倒伏性进行了调查。在郑 58 辐照材料中, 抗病性和抗倒性表现好的材料有 5 份; 鲁 9801 辐照材料中, 选出了抗锈病的材料 1 份; 在 CSR24001 辐照后的 56 份材料中, 抗病性上没有多大的变异; 在金象 4C 的 23 份材料中, 金象 4C-1(25 Gy)-1-1 表现抗红叶病。由此说明, 重离子辐照可以诱变产生抗病突变体。

## 4 讨论

### 4.1 重离子束辐照对玉米生物学性状的影响

重离子辐照的玉米种子, 从发芽、出苗、抽雄开花等阶段都出现了变异现象, 在 M<sub>1</sub> 代的表现主要是叶片出现皱缩、卷曲、叶片变窄或变宽、扭曲和长出疣斑, 有的出现黄化苗、植株早衰干枯或持绿期延长, 有的还会出现同位多穗现象。在 M<sub>2</sub> 代表现出株高和穗位降低, 雄穗花药颜色发生改变, 早熟, 穗行数增加, 粒重提高, 粒质变为硬粒型, 并有抗锈和抗红叶病突变株出现。这些变异部分与前人用 <sup>12</sup>C<sup>6+</sup> 离子辐照处理玉米的研究结果基本一致<sup>[6, 7]</sup>, 但雄穗花药颜色发生改变、粒质变为硬粒型、抗锈和抗红叶病等突变尚未见报道。这些变异将是玉米育种的新型基础材料。

### 4.2 重离子束辐照引起玉米性状突变的特点

重离子束具有参数多样、LET 大和 RBE 高等

特性, 可提高突变率, 拓宽突变谱, 缩短育种周期。在本研究所确定的半致死剂量辐照下, 突变频率在 50% 以上, 并且出现有益突变的频率高达 7%—18%。如在 M<sub>3</sub> 代, 辐照的 28 份郑 58 材料中, 表现株高变矮、穗位变低、叶功能好、活秆成熟、整体抗病性较对照好的材料有 5 份, 有益突变率为 17.9%; 鲁 9801 不抗锈病, 但从辐照的 19 份材料中选出了抗锈材料 3 份, 有益突变率为 16%。其它的有益突变包括早熟、果穗变粗、穗行数增加、株型变成紧凑型、穗叶性状改变为剑叶型等。这些突变性状, 有些在 M<sub>1</sub> 代就表现出来, 有些从 M<sub>2</sub> 代才显性出来, 并且在 M<sub>3</sub> 代仍能够表现。由此认为, 重离子辐射引起的变异可稳定遗传, 所产生的有利变异在玉米遗传育种中将发挥积极的作用。关于重离子辐射引起辐照材料的细胞染色体结构变异以及 DNA 分子结构变异方面的研究, 在其它作物和玉米上有报道<sup>[8, 9]</sup>。

### 4.3 <sup>12</sup>C<sup>6+</sup> 离子束辐照玉米适宜剂量的探讨

在本研究中, 不同剂量的 <sup>12</sup>C<sup>6+</sup> 离子束辐照处理引起玉米变异情况存在明显的差异。另外, 玉米不同材料对重离子的敏感性也不同, 而且与被处理材料的生理状态有密切的关系, 如浸泡种子对重离子辐照的敏感性就比干种子强。比较不同剂量辐照处理的玉米干种子当代表现以及 M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub> 的变异范围, 我们认为 <sup>12</sup>C<sup>6+</sup> 离子辐照干种子的剂量以 20—25 Gy 为宜, 这与罗红兵等<sup>[5]</sup> 的试验结果基本相同。

### 4.4 辐照对光合生理特性的影响

对于玉米, Ducan 等<sup>[10]</sup> 研究了 22 个杂交种, 证明光合速率是一个稳定的遗传性状; 李少昆等<sup>[11]</sup> 研究了 315 个自交系, 证明不同自交系的光合速率有较大差别。在本实验中, 测定光合速率时选用的植株生长势与对照植株相近似, 对于某些处理引起的植株生长势明显增强或降低的单株未采用。由于重离子辐照引起单株之间光合速率的实际差异会增大, 如果经重离子辐照后植株光合速率增强的特性能够稳定遗传, 那么通过对辐照后代材料的定向选择, 有可能培育出光合能力强的优异种质材料, 对于玉米高产育种将是极为重要的。

致谢 承蒙甘肃农业大学张金文教授的指导, 特此致谢!

## 参考文献 (References):

- [1] Zhang Shihuang. Journal of Maize Sciences, 2006, **14**(4): 1 (in Chinese).  
(张世煌. 玉米科学, 2006, **14**(4): 1.)
- [2] Xu Guanren. Plant Mutation Breeding. Beijing: China Agriculture Press, 1996, 75—119(in Chinese).  
(徐冠仁. 植物诱变育种. 北京: 中国农业出版社, 1996: 75—119.)
- [3] Xie Hongmei, Wang Haohan, Wang Jufang, *et al.* Nuclear Physics Review, 2003, **18**(3): 174 (in Chinese).  
(颜红梅, 王浩瀚, 王菊芳等. 原子核物理评论, 2001, **18**(3): 174.)
- [4] 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.)
- [5] Luo Hongbing, Zhao Kui, Guo Jiyu, *et al.* Journal of Hunan Agricultural University, 2004, **30**(4): 385 (in Chinese).  
(罗红兵, 赵葵, 郭继宇等. 湖南农业大学学报, 2004, **30**(4): 385.)
- [6] Mei M, Qiu Y, Sun Y, *et al.* Adv Space Res, 1998, **22**(12): 1 691.
- [7] Mei M, Deng H, Lu Y, *et al.* Adv Space Res, 1994, **14**(10): 363.
- [8] Facius R, Reitz G, Bucker H, *et al.* Rad Appl Instrum, 1990, **D17**(2): 121.
- [9] Bork U, Gartenbach K, Koch C, *et al.* Adv Space Res, 1986, **6**(11): 149.
- [10] Duncan W G, Hesketh J D. Crop Sci, 1968, **8**: 670.
- [11] Li Shaokun, Zhao Ming, Xu Qifeng, *et al.* Agriculture Science of China, 1996, **32**(2): 53(in Chinese).  
(李少昆, 赵明, 许启凤等. 中国农业科学, 1996, **32**(2): 53.)

## Study of Biological Effects of Heavy Ion Irradiation on Maize Inbred Lines\*

CHEN Xue-jun<sup>1, 2</sup>, LI Wen-jian<sup>3</sup>, CHEN Jin<sup>2</sup>, YU Li-xia<sup>3</sup>, LI Jie<sup>3</sup>, XIE Hong-mei<sup>3</sup>, Li Wei<sup>2, #</sup>

(1 College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2 Gansu Jinxiang Agriculture Developing Co. LTD, Zhangye 734000, Gansu, China;

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

**Abstract:** In order to study biological effects of heavy ion irradiation on maize inbred lines, the agronomic traits and photosynthetic rates were investigated from  $M_1$  to  $M_3$  of maize seeds irradiated with  $^{12}C^{6+}$  and  $^{36}Ar^{18+}$  ions. The results showed that the germination rate and planting percent of maize seeds irradiated were decrease as dosage increasing of heavy ion irradiation. Different physiological status of seeds had disparate sensibility to heavy ion irradiation and the suitable dosage of  $^{12}C^{6+}$  ion irradiation was 20—25 Gy for dry maize seeds. The leaf type of the plant happened visible changes in  $M_1$  generation. The plant height, spike position, spike number per plant, anther color of staminate, grain texture, spike row, grain weight and resistance had changes in  $M_2$  generation. Among them occurred some beneficial mutations that include degrading of plant height and spike position height, multi-spike at same position in the plant, increasing of pike row and grain change of grain texture from powder seed to hard seed, resistance to rust disease and red leaf disease and so on. The frequency of beneficial mutation was 7.0%—17.9%. Those beneficial mutations could be stably inherited and mutant plants with high photosynthetic efficiency emerged in  $M_3$  generation. The study above showed that heavy ion irradiation is a high performance means for improvement germplasm of maize.

**Key words:** heavy ion irradiation; dosage; biological effect; mutation; maize

\* Received date: 4 Jan. 2008; Revised date: 11 Mar. 2008

\* Foundation item: Academy-Locality Cooperation Project of Lanzhou Branch of Chinese Academy of Sciences and Zhangye City

# Corresponding author: Li Wei, E-mail: liw@gsau.edu.cn