

## 碳离子束对甜高粱辐射诱变的当代效应

董喜存<sup>1,2</sup> 李文建<sup>1</sup> 何金玉<sup>1</sup> 刘清芳<sup>1</sup> 余丽霞<sup>1</sup> 周利斌<sup>1</sup> 曲颖<sup>1</sup> 颜红梅<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

<sup>2</sup>(中国科学院研究生院 北京 100049)

**摘要** 利用兰州重离子加速器提供的中能碳离子束对甜高粱品种 BJ0601 和 BJ0602 进行了不同剂量的辐照处理,以期选育出生物学产量高、汁液糖锤度高及抗逆性强的品种。当代田间试验结果表明:(1)甜高粱在田间的存活曲线均呈“类马鞍型”,随着剂量的增加,其存活率先降后升再下降;(2)随着辐照剂量的变化,其茎秆亩产量、糖锤度和对照相比,均发生了明显的变化;(3)经过碳离子束辐照,出现了株高、单秆重、糖锤度高、早熟、茎粗等突变类型,为进一步的品种选育和诱变机理研究奠定基础。

**关键词** 甜高粱,碳离子束,诱变育种

**中图分类号** Q691.5, S216.2, S722.3+5, S566.5

能源危机是当今社会发展面临的巨大挑战之一。开发生物质能源替代矿物质能源已成为世界各国和科学家研究的焦点<sup>[1]</sup>。巴西已成功地用甘蔗研发出乙醇燃料替代车用汽油,美国、意大利、法国等国的科学家共同选择杂粮作物甜高粱,利用其茎内含有 10%—27%的可溶性糖和不溶性碳水化合物的生理特性<sup>[2]</sup>,研究开发燃料乙醇。我国可再生能源法规定,把生物液体能源作为优先发展的领域,“十一五”规划更明确地把甜高粱秆制汽油醇作为首选<sup>[2]</sup>。甜高粱为世界上生物学产量最高的作物,在生物量能源系统中,是第一位的竞争者<sup>[3]</sup>,因而利用甜高粱为原料生产燃料乙醇成了生物质能中最有希望的发展方向。但目前的一些甜高粱品种含糖量达不到制备燃料乙醇的要求。

植物诱变育种目前普遍采用的物理诱变方法主要包括紫外线、X射线和 $\gamma$ 射线,而重离子辐照是寻求新的物理诱变源的一种尝试<sup>[4]</sup>。重离子束具有高传能线密度(Linear energy transfer, LET)、尖锐的电离峰(Bragg 峰),并可精确控制入射深度和部位,因此重离子束用于诱变育种有可能在损伤轻的情况下获得较高的突变率和较宽的突变谱<sup>[5]</sup>。

本研究利用重离子辐照诱变育种技术,对我国现有的甜高粱品种进行改良,以期提高产量、糖锤度和抗逆性,为“十一五”期间大规模发展生物质能源奠定基础。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

甜高粱 [*Sorghum bicolor* L. Moench] 品种 BJ0601 和 BJ0602 由中国科学院植物研究所植物园提供。

#### 1.2 辐照处理方法

甜高粱种子辐照实验在中国科学院近代物理研究所兰州重离子加速器上进行,各品种均设 0、10、15、20、30、40、50、80 Gy 8 个辐照剂量处理,剂量率为 4 Gy/min。

#### 1.3 田间试验

田间试验在甘肃省景泰县兰石农场进行,2006年5月2日种植,2006年10月16日收获。试验采用单因素随机区组设计的方法,每个剂量重复3次,即每个剂量随机种植3个小区。小区面积 12 m<sup>2</sup> (6 m × 2 m),实行地膜垄作,带幅 1 m,播种深度为 4 cm。行距 50 cm,株距 24 cm,4—5 叶期定苗,亩保苗 5000—6000 株。试验区周围设大于 1 m 的保护行。试验地肥力均匀,地形平整,每小区除改变辐照剂量外,其它各种措施保持严格一致。

田间存活率的测定是在 3 叶期按小区调查统计甜高粱的田间存活株数,存活率的计算按下面公式

2006 年度所长基金(0606070SZO)、中国科学院西部之光基金(XL050616)资助

第一作者:董喜存,男,1974年3月出生,1998年毕业于新疆石河子大学农业科学系(学士),现为中国科学院近代物理研究所粒子物理与核物理专业,博士研究生,主要从事辐射生物学的研究

收稿日期:初稿 2007-06-25,修回 2007-07-03

计算:

田间存活率% = (3 叶期每小区植株的存活株数 / 每小区播种种子数) × 100%

茎秆亩产量和糖锤度的取样方法为成熟时每个小区随机取 1 m<sup>2</sup> 大小的面积, 然后对所选面积上的植株进行单秆重及糖锤度的测定。对茎秆亩产量的计算, 根据下式计算茎秆亩产量:

茎秆亩产量 = 每平方米植株单秆重之和 × 666.7

汁液糖锤度的测定则用 WZ-103 手持糖锤度仪按说明书中的方法测定。所有的数据统计分析用 SPSS13.0 软件, 绘图软件为 Origin 7.5。

## 2 结果与分析

### 2.1 田间存活率的调查统计

不管是 BJ0601 还是 BJ0602, 在田间的存活曲线(见图 1)均为“类马鞍型”, 随着剂量的增加, 其存活率先降后升, 再下降。

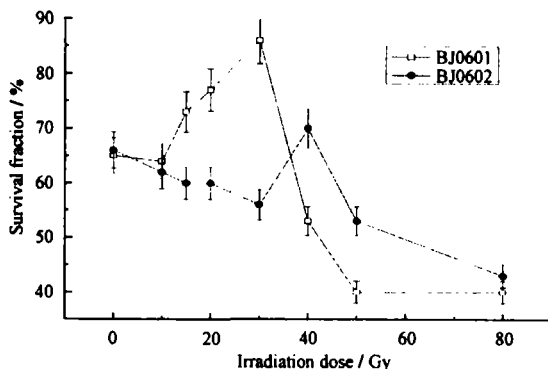


Fig.1 Effect of <sup>12</sup>C<sup>+6</sup> irradiation doses on survival fraction of sweet sorghum

### 2.2 辐照剂量对甜高粱茎秆亩产量和汁液糖锤度的影响

随着辐照剂量的变化, 不同的剂量下茎秆亩产量(见图 2)和糖锤度(见图 3)均发生明显的变化。对 BJ0601 而言, 0—15 Gy 和 30—40 Gy 范围内, 茎秆亩产量总体呈上升趋势, 只不过在 0—10 Gy 时上升缓慢, 10—15 Gy 时陡然上升, 15 Gy 时茎秆亩产量达 14.04 t, 40 Gy 时达 13.12 t; 15—30 Gy 和 40—80 Gy 的剂量范围内茎秆亩产量呈下降趋势, 30 Gy 时达最小值 7.38 t。BJ0601 的糖锤度在 0—50 Gy 范围内总体呈上升趋势, 50 Gy 时的糖锤度为 21.64%; 50—80 Gy 范围内呈下降趋势。BJ0601 的对照茎秆亩产量、糖锤度分别为 9.76 t、17.44%, 经碳离子束辐照后除 0 Gy 外, 各辐照剂量下的茎秆亩产量平均达 10.25 t, 糖锤度平均达 20.08%, 同比分别增加

了 5.02%、15.14%。对 BJ0602 而言, 在 0—40 Gy 的剂量范围内的变化趋势和 BJ0601 在 0—30 Gy 范围内的变化基本相似, 在 40—80 Gy 范围内 BJ0602 呈上升趋势, 而 BJ0601 却呈下降趋势。BJ0602 对照其茎秆亩产量、糖锤度分别为 5.33 t、24.28%, 而经碳离子辐照后除 0 Gy 外, 各剂量下的茎秆亩产量平均达 7.98 t, 糖锤度平均为 21.76%。

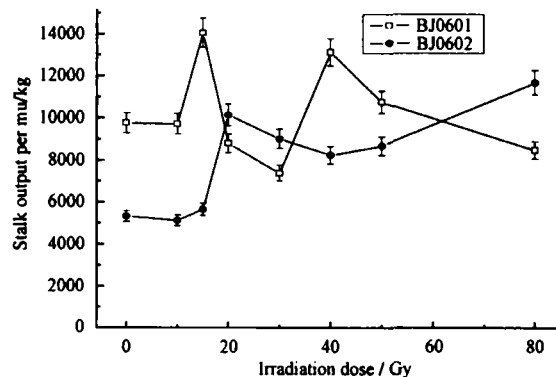


Fig.2 Effect of <sup>12</sup>C<sup>+6</sup> irradiation doses on stalk output per mu of sweet sorghum

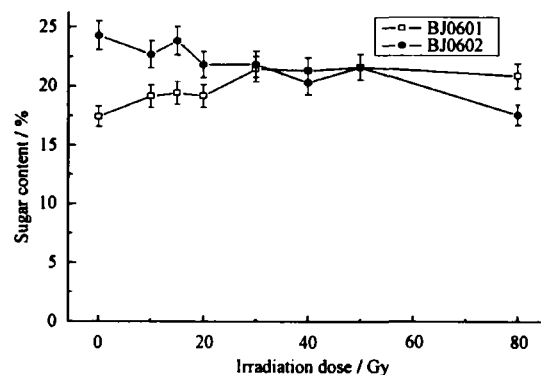


Fig.3 Effect of <sup>12</sup>C<sup>+6</sup> irradiation doses on sugar content of sweet sorghum

### 2.3 产生的变异株系

经过碳离子束辐照, 种植当代出现了株高、单秆重、糖锤度、早熟型, 茎粗等突变谱, 突变频率的范围为 2.00%—9.52%。如在 80 Gy 的辐照剂量下, 初步从 BJ0602 中筛选出一株早熟型品系(见图 4), 生育期比对照至少提前 20 d; 从 BJ0601 中于 40 Gy 和 50 Gy 的辐照剂量下, 筛选出 2 株糖锤度比较高的品系, 所测糖锤度分别为 24.4% 和 25.4%, 而对照的糖锤度仅为 17.44%。就株高和茎秆粗度而言, 突变株的性状优于对照。通过重离子束辐照诱变, 甜高粱的茎秆明显变粗(如图 5 所示)。用游标卡尺测量植株自下而上第 6 节的茎秆直径, 80 Gy 剂量辐照条件下平均为 3.01 cm, 对照株平均为 2.83 cm, 增幅为 6.36%, 有利于总产量、出汁率和含糖量的

提高。当然在调查的植株中也出现了一株如糖锤度为 12.2%, 和对照糖锤度 17.44% 相比, 降低了 5.24%。另外, 有一植株因辐照的原因, 到甜高粱

成熟时株高小于 1 m。根据成熟时测定的茎秆亩产量、糖锤度等性状指标及筛选出的变异材料, 推荐适宜的辐照剂量为 40—60 Gy。

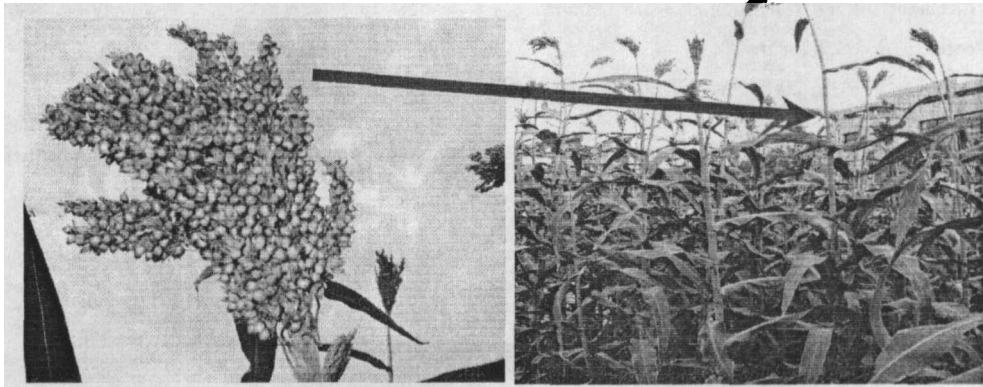


Fig.4 A mutational variety of BJ0602 with early maturity at 80 Gy doses

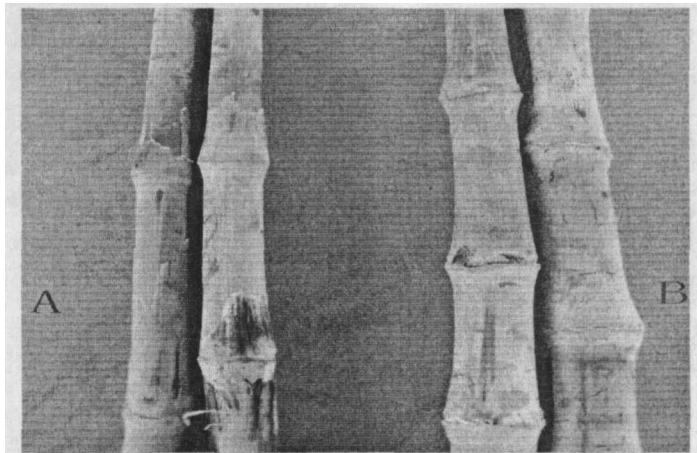


Fig.5 A mutational variety in stalk diameter which is selected from BJ0601  
A. Control, B. Mutant

### 3 讨论

离子束作为一种新的诱变剂, 由于具有 LET 和相对生物学效应(Relative biological effectiveness, RBE), 很有希望增加诱变频率、拓宽突变谱, 因而越来越多的研究者早已将离子束诱变技术应用到植物的诱变育种工作中。本研究结果表明, 甜高粱种子经碳离子束辐照后, 田间的存活率曲线总体上呈“类马鞍型”, 存活率先下降后上升再下降。在 0—15 Gy 范围内, BJ0601 变化不明显, 而 BJ0602 存活率下降却非常明显, 这可能是品种差异的原因。15—50 Gy 范围内, 二者变化均很明显。根据成熟时测定甜高粱主要相关性状的数据, 推荐适宜的辐照剂量为 40—60 Gy。低能离子束生物实验中出现的“马鞍型”曲线不是偶然现象, 而可能正是低能离子生物学作用不同于常规电离辐射的特点之一<sup>[6]</sup>。由于离子束与生物系统的相互作用, 不但涉及能量交换, 而且涉及质量沉积、动量及电荷交换过程, 具有比常规辐射更为复杂的作用机制, 因此要解释

清楚本研究中出现“类马鞍型”曲线作用机理, 还需要做大量的工作。碳离子束辐照后, 甜高粱茎秆亩产量和糖锤度所表现的剂量效应, 正说明了离子束与生物系统的相互作用是相当复杂的。这种复杂性还表现在种植当代筛选出的变异材料类型中, 既有正突变, 如茎粗突变、早熟突变等, 又出现了一些负突变材料, 如低糖和植株矮化的突变类型等。目前, 这些变异类型的 M2 代长势良好, 将从表型性状和基因组水平上测定其遗传稳定性。

### 参考文献

- 曹俊峰, 高博平, 谷卫彬. 西北农业学报, 2006, 15(3): 201-203  
CAO Junfeng, GAO Boping, GU Weibin. Acta Agric Boreali-Occident Sinica, 2006, 15(3): 201-203
- 张管生. 中外能源, 2006, 11(4): 104-107  
ZHANG Guansheng. China Foreign Energy, 2006, 11(4): 104-107
- 黎大爵. 中国农业科学, 2002, 35(8): 1021-1024

- LI Dajue. *Sci Agric Sinica*, 2002, 35(8): 1021-1024
- 4 李红玉, 李成华, 丁新春, 等. 辐射研究与辐射工艺学报, 2004, 22(1): 56-60
- LI Hongyu, LI Chenghua, DING Xinchun, *et al.* *J Radiat Res Radiat Process*, 2004, 22(1): 56-60
- 5 李永红. 河南农业大学学报, 2002, 36(2): 159-163
- LI Yonghong. *J Henan Agric Univ*, 2002, 36(2): 159-153
- 6 杜严华, 何颖, 丘冠英. 自然科学进展, 2001, 11(6): 577-581
- DU Yanhua, HE Ying, QIU Guanying. *Prog Nat Sci*, 2001, 11(6): 577-581

### Current effect of irradiation with $^{12}\text{C}^{+6}$ ions beam on mutation of Sweet Sorghum

DONG Xicun<sup>1,2</sup> LI Wenjian<sup>1</sup> HE Jinyu<sup>1</sup> LIU Qingfang<sup>1</sup> YU Lixia<sup>1</sup>  
ZHOULibin<sup>1</sup> QU Ying<sup>1</sup> XIE Hongmei<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(*Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

<sup>2</sup>(*Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**ABSTRACT** To improve biological output, sugar Brix and resistance to adversities, the dry seeds of Sweet Sorghum, "BJ0601" and "BJ0602", were irradiated by  $^{12}\text{C}^{+6}$  ion beam offered by Heavy Ion Accelerator in Lanzhou with different doses. The current results showed as follows: (1) The survival fraction of sweet sorghum presented "saddle like model" that the survival rate decrease, then increase and decrease further again with increase of irradiation doses; (2) Compared with the control, the stalk output per mu (667 m<sup>2</sup>) and sugar Brix showed obvious changes with the changes of irradiation doses; (3) Mutational spectra, including plant height, stem weight per plant, stalk diameter, sugar Brix, early maturity, were selected after irradiation. Based on these results, further studies of the variety breeding and mutation mechanism are needed.

**KEYWORDS** Sweet sorghum,  $^{12}\text{C}^{+6}$  ion beam, Mutation breeding

**CLC** Q691.5, S216.2, S722.3 + 5, S566.5