

重离子对四种作物种子萌发力的影响

卫增泉 刘玉岩 王桂玲 陈学兵 高秀英

(中国科学院近代物理研究所)

杨汉民 高清祥 汪丽虹 王崇英 王亚馥

(兰州大学)

采用 46.6MeV/amu C^{6+} 离子对小麦、枸杞、山黧豆和白兰瓜四种作物种子进行照射。结果表明,不同剂量的重离子对四种种子的萌发能力和生长势都产生了抑制作用,剂量越大,抑制作用越强,两者呈显著的正相关。小麦、枸杞、山黧豆和白兰瓜种子的半致死剂量 D_{50} 分别为 10^2 、 3×10^5 、 4×10^6 、 10^7 p/cm²。除小麦出现了一条带抗性尾巴的存活曲线外,其它三种种子的失活截面 σ 分别为 18.5、16.4、 $5.2 \mu m^2$ 。

关键词: 重离子 发芽势 发芽率 半致死剂量 存活曲线 失活截面

一、引言

辐射生物学发展至今已有近百年的历史。但把重离子束作为诱变源用于各种生物学效应的研究还是近二、三十年的事^[1]。重离子与X、 γ 射线或中子辐射相比,在诱变生物学方面有着明显的独特优势:1)重离子是高LET粒子,并具有Bragg峰,因此它同生物体相互作用可得到较高的突变率,而且它所作用到的生物分子、细胞所造成的损失通常不易修复,即突变体稳定较快。2)重离子诱变参数多样,包括离子种类(即质量数)、离子电荷态、离子具有的能量以及离子束的通量密度(即剂量,剂量率)等。通过不同参数组合的选择,就能为拓宽突变谱创造有利条件。3)因为重离子能量沉积具有高度的空间分辨性,这就为定点定位损伤细胞或基因创造了可能的条件。一旦实现这种高精度加工,定向诱变就能实现。

正因为重离子在剂量一效应特性上具有如此优越性^[2],我们在中国科学院近代物理研究所新建成的重离子加速器上,采用外束技术将 46.6MeV/amu C^{6+} 离子束对小麦、山黧豆、白兰瓜和枸杞四种作物种子进行了照射。本文着重讨论重离子辐照对这四种不同作物种子萌发力的影响,了解辐射敏感性,确定半致死剂量 D_{50} 以及失活截面,为系统研究重离子辐照的生物学效应奠定基础。

二、材料和方法

1. 供试材料

用于重离子束辐照的作物种类有:小麦(粮食作物)、白兰瓜(经济作物)、栽培山黧豆(饲料与牧草)和宁夏枸杞(药用植物)4种。

2. 辐照前处理方法

辐照前挑选大小均匀、籽粒饱满、无破损、无霉菌污染的风干种子,用15%的明胶液将它们粘贴在直径40mm的聚四氟乙烯小盘中,种胚朝上,按同心圆排列,每盘50—250粒。每10个小盘固定于一个可旋转的大塑料盘上。

*本课题受国家自然科学基金会和甘肃省自然科学基金会的资助

3. 辐照过程及重离子参数

将每个装载好种子样品的大塑料转盘安装在 HIRFL 辐照终端 TL2^[3]上,置于常温常压的大气环境中,以步进马达带动,顺时针方向旋转,依次接受照射,剂量数据的获取与样品的更换均由微机自动操作。另以未照射的种子作对照。

诱变源是电荷态为 +6 价的碳离子束,初始能量为 47.8MeV/amu。由于采用外束技术,在它们到达种子样品前扣除真空隔离 Ni 窗及一层空气隙的能损后,最终能量为 46.6MeV/amu。采用的离子流密度分别为 1.43×10^3 、 4.19×10^4 、 2.6×10^5 、 1.8×10^6 、 1.08×10^7 和 1.66×10^7 p/cm²。

4. 辐照后的处理方法

辐照后将种子用 50℃温水浸泡数分钟,除去粘附在上面的明胶。

将各处理组的种子 50—100 粒分成两组,均匀排列在两个培养皿内,加入适量清水,室温下培养,每日换水一次,观察、记录发芽情况。当对照组发芽种子数超过半数时,统计各组发芽数。以百分比表示发芽势。发芽结束时,统计各组的总发芽数,以百分比表示发芽率。发芽结束后,分别测量小麦幼苗胚芽鞘高度;白兰瓜和枸杞的胚根长度;山豆幼苗高度。以平均值表示它们的生长势。

三、实验结果和讨论

表 1 是用不同剂量的 C⁶⁺ 离子照射四种不同作物种子后发芽势的值。表 1 表明,随着 C⁶⁺ 离子剂量的增加,发芽势在不同程度上都趋于减弱。

表1 不同剂量 C⁶⁺ 离子束照射四种作物种子的发芽势值(%)

Table 1 The value of germination power for exposure of four kinds of plant seeds to C⁶⁺ ions with varied dose

作物种类 Plant species	受照剂量(p/cm ²) Irradiated dose						
	0	1.43×10^3	4.19×10^4	2.6×10^5	1.8×10^6	1.08×10^7	1.66×10^7
小 麦 Triticum aestivum L	100	21	7	5	0	0	—
山 豆 Lathyrus sativus L	100	83	79	81	—	—	0
白 瓜 Cucumis melo var induratus	100	100	94	90	86	56	32
枸 杞 Lycium barbarum L	100	41	12	3	—	6	2

图 1 是小麦受照后第六天的胚芽鞘高度情况。从图可以清楚地看到,随着 C⁶⁺ 离子剂量的增大,小麦的胚芽鞘越来越矮,到离子流密度达到 10^7 p/cm² 量级时,种子几乎全部致死,这显示了重离子对种子萌发有着明显的抑制和损伤作用。图中存在个别萌发较旺的“特殊情况”,可能是由大面积束流不均匀性造成的。

图 2 为 C⁶⁺ 离子束以不同剂量照射小麦、山豆、白兰瓜、枸杞种子的发芽率随不同剂量的变化趋势,这种趋势与 U. Bork 和 A.R. Kranz^[4,5] 的实验结果非常相似。从图中 4 条曲线可以看出:1) 这四种作物种子存在着辐射敏感性的差异,其中小麦最为敏感,而白兰瓜耐

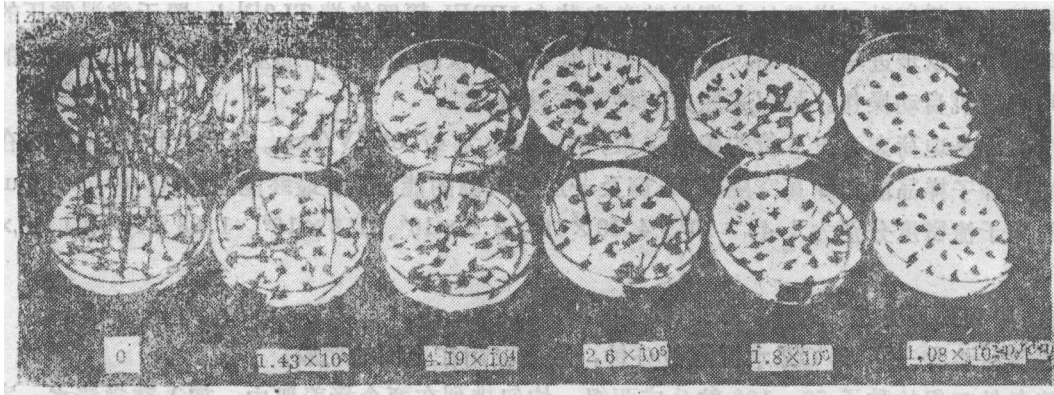


图1 小麦种子经 C^{6+} 离子不同剂量照射后, 萌发至第六天胚芽鞘高度

Fig. 1 The plumule sheath height in the 6th day after exposing the wheat seeds to C^{6+} ions with different dose

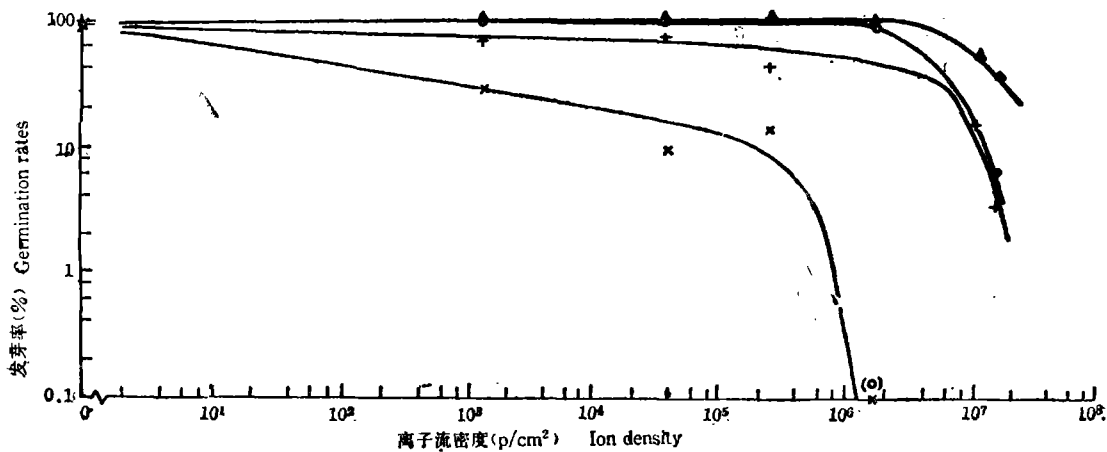


图2 四种不同作物种子的发芽率随 C^{6+} 离子流密度的变化关系

×小麦 ○山黧豆 ▲白兰瓜 +枸杞

Fig. 2 The dependence of germination rates for four kinds of plant seeds on C^{6+} ion density with 46.6MeV/amu

× *Triticum aestivum* L ○ *Lathyrus sativus* L ▲ *Cucumis melo* var *indorot* + *Lycium barbarum* L

受性最强。2) 小麦的半致死剂量 D_{50} 在 $10^2 p/cm^2$ 左右, 枸杞约为 $5 \times 10^5 p/cm^2$, 山黧豆在 $\sim 4 \times 10^6 p/cm^2$, 白兰瓜要稍大于 $10^7 p/cm^2$ 。

图3是图2中各曲线用半对数坐标表达的情形。实际上, 它就是以发芽率为观察生物学效应终点的存活曲线, 其中白兰瓜、山黧豆、枸杞的三条曲线可以较好地拟合为多靶——一次击中数学模型 $S/S_0 = 1 - (1 - e^{-\sigma F})^n$, 由回归分析可以求得它们的最终斜率, 即失活截面 σ 及外推数 n (表2)。

对于小麦, 出现了一条典型的带抗性尾巴的存活曲线, 这可能是由于种子选择、处理和排列过程中出现的不一致性造成的。从这条曲线大致可分成辐射敏感性不同的两组, 它们的

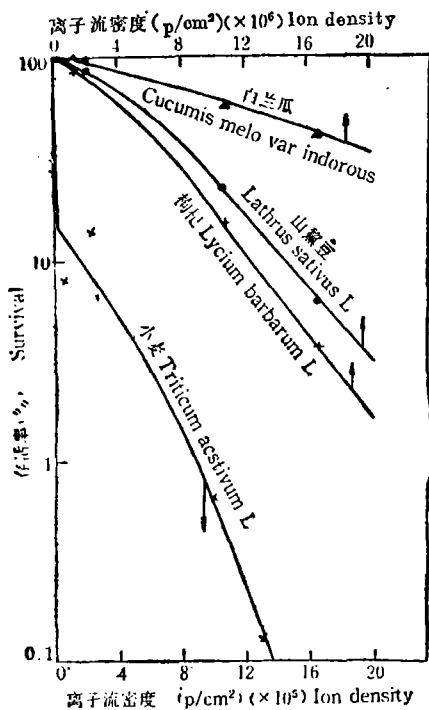


图3 四种作物种子萌发的存活率与 C^{6+} 离子流密度的关系

Fig. 3 The dependence of survival rates for four kinds of plant seeds on C^{6+} ion density

与失活截面的比值可以用来估计使一个细胞失活至少要有重离子“击中”数^[7]。

图4表示了种子萌发结束后,小麦胚芽鞘高度、山黧豆幼苗高度和枸杞、白兰瓜主根长度随照射的 C^{6+} 离子不同剂量的变化。从图4可以看到,这四种作物的初始生长过程在不同

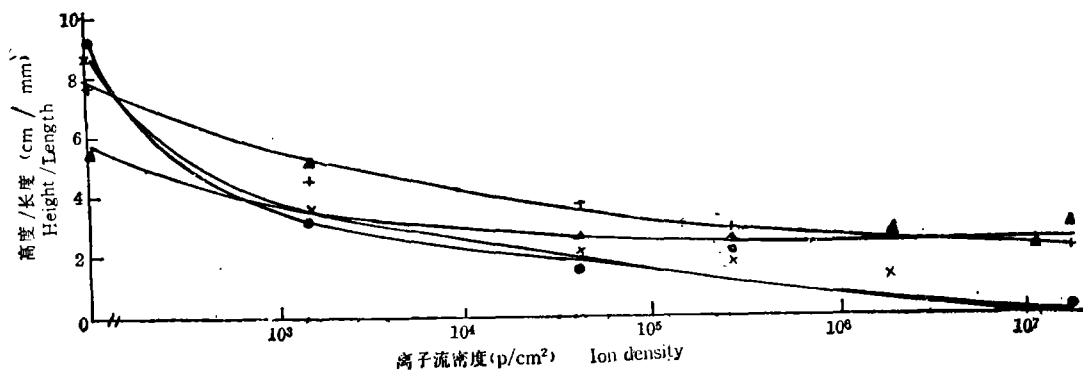


图4 四种不同作物的生长势与 C^{6+} 离子流密度的关系

×小麦胚芽鞘 ●山黧豆幼苗 ▲白兰瓜主根 +枸杞主根

Fig. 4 The dependence of growing power for four kinds of plants on C^{6+} ion density

×Plumule sheath height of *Triticum aestivum* L. ●Seedling height of *Lathrus sativus* L.
▲Radicle length of *Cucumis melo* var. *indorouse* +Radicle length of *Lycium barbarum* L.

表2 C^{6+} 离子束照射后萌发存活的回归分析数据*

Table 2 Regression data of germination survival after C^{6+} ion irradiation

作物种类 Plant species	$\sigma(\mu\text{m}^2)$	n	r
白兰瓜 <i>Cucumis melo</i> var. <i>indorouse</i> L	5.2	102	0.999**
山黧豆 <i>Lathrus sativus</i> L	16.4	118	0.995**
枸杞 <i>Lycium barbarum</i> L	18.5	118	0.958**

* $(LET)H_2O \cong 600\text{MeV}/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-2})$ ** $\alpha \leq 0.01$

比例约为 85:15。前面说到的小麦 D_{50} 是指 85% 那组的半致死剂量, 占比例较小那组的 D_{50} 大约为 $3 \times 10^5 \text{p}/\text{cm}^2$ 。

表2中的最终斜率值 σ 表示能量为 46.6MeV/amu 的 C^{6+} 离子与某种种子的细胞核发生相互作用而使细胞失活的几率, 通常叫失活截面。可以看到, 表2中的 σ 值与图3中可以查得的 F_{37} (通常叫失活剂量) 的倒数符合得较好。 F_{37} 为 37% 的靶未遭任何击中时的离子流密度, 有时也叫平均致死剂量^[6]。一般认为, 细胞核真实的几何截面与

程度上都受到重离子产生的抑制作用,其中小麦、山豆抑制较强,白兰瓜影响最弱,这种辐射敏感性与图2中用发芽率表示的敏感性一致。

四、结 束 语

1. 采用大型重离子加速器加速得到的具能重离子研究生物学效应,在国内尚属开始。在新建成的 HIRFL 上,由于引出束流的能量还不很高,所以只能单层排列辐照,又由于束流截面不能扩展得太大,因此,每次辐照的样品量较为有限。这给实验结果采用统计方法处理数据带来较大误差。

2. 由于 HIRFL-TL2 终端上束流均匀化扫描设备还未建成,这次实验是采用远距离散焦的办法扩大束流面积,因而束流的均匀度不很理想,这也给实验结果带来一定的误差。

3. 重离子在束剂量监测比较困难,尤其要想准确计算重离子在样品内的能量损失(即吸收剂量)更为复杂,而企图调整重离子 Bragg 峰的位置又不太容易。因此本文只用在束平行板雪崩探测器测得的离子流密度来表征剂量大小。

参 考 文 献

- [1] Tracy C. Yang and Cornelius A. Tobias, Potential use of heavy ion radiation in crop improvement; Reprinted from Gamma Field Symposia, No. 18, 1979.
- [2] 卫增泉,核物理动态,4(1987),3:22.
- [3] 卫增泉等,核技术,14(1991),6:341.
- [4] U. Bork and A. R. Kranz, Early and late biological effects of heavy ions produced by accelerators on Arabidopsis seeds, Arabidopsis information service, No. 21, 1984.
- [5] U. Bork and A. R. Kranz, Continued investigations on primary damages in Arabidopsis induced by heavy ions of Unilac-accelerator, Arabidopsis information service, No. 22, 1985.
- [6] 朱王葆等主编,辐射生物学,第一版,科学出版社,北京,1987年,第332页.
- [7] G. Kraft, Nuclear Science Applications, 3(1987), 1.

Influence of heavy ions on germination ability of four kinds of plant seeds

Wei Zengquan Liu Yuyan Wang Guiling Chen Xuebing Gao Xiuying

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica)

Yang Hanmin Gao Qingxiang Wang Lihong

Wang Chongying Wang Yafu

(Lanzhou University)

Abstract

Four kinds of plant seeds were exposed to 46.6 MeV/amu C^{6+} ions. The results showed that the inhibition of germination ability and growing power for these seeds was increased with the dose of heavy ions. There existed a positive correlation between them. D_{50} for Triticum aestivum L, Lycium barbarum L, Lathrus sativus L and Cucumis melo var in-dorous is 10^2 , 3×10^5 , 4×10^6 and 10^7 p/cm² respectively. Though a survival curve with resistant tail appears for Triticum aestivum L, the inactivation cross-section σ is in turn in the order of 18.5, 16.4 and $5.2 \mu\text{m}^2$ for other seeds.

Keywords: Heavy ion Germination potency Germination rate
Half-lethal dose Survival curve Inactivation cross-section

(1990年8月7日收到)