

太空飞行对玉米种子的生物学效应

丘运兰¹ 何远康¹ 梅曼彤² 杨垂绪³

(1 华南农业大学农学系, 2 华南农业大学实验中心, 510642, 广州, 3 美国约翰逊航天中心)

摘要 本试验对 500 多粒太空飞行后回收的玉米种子的生长发育进行了观察分析。种子置于一个长期辐照装置(IDEF)内,在低地球轨道飞行了 69 个月。结果表明,太空环境对玉米种子发芽率无影响。当代植株中发现矮化、株色和叶鞘色变化、叶片出现黄或白色条纹等形态变异。以叶片黄、白条纹出现率为变异率的指标,与加速重离子束对同一玉米品种辐照获得的数据相对比,可估算出种子在太空飞行期间受到辐射的平均剂量相当于 635 cGy 的 γ 射线照射。不同容器的种子长出的植株的变异率,差异达 2~3 倍。具条纹叶片植株平均出现率 3.94%。变异株后代仍出现类似性状。透射电镜观察黄白条纹的叶绿体发现损伤程度与重离子束辐照处理的结果相似。

关键词 玉米; 太空辐射; 生物学效应

中图分类号 Q319.33

随着人类对宇宙空间的开发利用,空间生命学科得以迅速发展,作为空间飞行的主要限制因素之一的太空辐射环境对各种生物体系的效应的研究,近年来受到很大的重视并取得不少结果(Horneck,1992;刘正常,1987)。

在空间对植物效应的研究中,玉米是研究得较多的材料之一。60 年代的高空气球试验结果指出,宇宙射线可引至玉米生长异常(Slater 等,1963)。Peterson 等(1977)报导了 1975 年阿波罗飞行中,具特殊遗传标记(LW₁/IW₁)的玉米种子受宇宙射线中高能重离子轰击后,由于体细胞突变在 2~9 片叶子上均出现大的黄色条纹。本试验观察同一遗传基础的玉米种子,载于 LDEF(Long Duration Exposure Facility)上飞行 69 个月后生长发育的变化并与重离子束处理的结果相对比。

1 材料与方法

1.1 材料

两个玉米材料(第 I 组由美国印第安那州 Ratio 种子公司提供,第 II 组由加利福尼亚大学 M.Freeling 博士供给),均为同一对基因杂合体 LM₁/IW₁,植株表现绿叶,如电离辐射导致种胚细胞第 1 染色体上的 LW₁ 基因缺失或损伤,由此种细胞分裂发育成的叶片会出现黄、白条纹。

1.2 方法

种子按粒编号排放在塑料容器里,置于 LDEF 的 A₁和 A₂ 装置内,于 1984 年 4 月 7 日至 1990 年 1 月 12 日在 476.27 km 高度的轨道上飞行。将同批未经处理的种子存放地面作对照。飞行和对照种于 1990 年 8 月~1991 年 4 月分 3 批在华南农业大学农场种植,营养杯育苗,4 叶期移植。观察飞行对种子的发芽和生长的影响,植株的形态变异及变异株后代性状;

1993-12-03 收稿

对叶片上的黄、白条纹和绿叶按透射电镜生物标本制片技术制样, 观察其叶绿体并与重离子辐照处理的相对比; 对植株根尖用卡诺氏液固定, 2 mol/L 的盐酸解离, 卡宝红染色, 观察染色体。

2 结果与讨论

2.1 太空飞行对玉米种子发芽与生长的影响

1990 年 8 月播种时, 飞行种能正常萌发, 对其发芽率作 χ^2 检验, 无显著差异 (表 1)。看来太空环境对玉米种子的发芽率无明显影响。刘正常 (1987) 也报导载于我国返回式卫星上在太空飞行 5 天的玉米种子发芽率不变。部分飞行种萌发后有生长抑制, 植株长至 2 ~ 3 叶或 5 ~ 6 叶时停止生长, 根系却发育正常。丘运兰等 (1991) 解剖玉米种胚发现胚芽已分化出 5 ~ 6 片幼叶。这些停止生长的植株, 可能是胚芽顶端生长点受辐射损伤。

表 1 太空飞行的玉米种子的发芽率

种子来源		播种期	种子总数	发芽种子数	发芽率/%	χ^2_c	$\chi^2_{0.05}$ df=1
第 I 组	Ratio 种子公司	19900811	飞行 208	203	97.6	0.018	3.84
			对照 74	67	90.5		
第 II 组	M.Freeling	19900820	飞行 176	171	91.5	0.008	3.84
			对照 62	57	91.9		
		19910404	飞行 145	80	55.2	0.001	3.84
			对照 19	9	47.4		

飞行种萌发后多数能生长发育, 但平均株高和单株叶片数明显减少。对株高和单株叶片数 t 检验表明, 飞行种子的植株单株平均叶片数显著少于对照, 平均株高也非常显著地矮于对照 (表 2)。各容器种子的植株均有矮株出现 (图版 8, 9), 其株高 $\leq$ 对照区平均株高 50%。植株矮化是电离辐射诱发植物的一种主要变异, 看来太空射线也与电离辐射有类似的效应。

表 2 第 I 组玉米种子长出的植株形态变异

编号 ⁽¹⁾	株数 ⁽²⁾	平均叶片数	平均株高	矮化变异 ⁽³⁾		株色变异 ⁽⁴⁾		叶鞘色变异 ⁽⁵⁾	
				株数	百分率/%	株数	百分率/%	株数	百分率/%
7-3	47	15.5 a A ⁽⁶⁾	151.5 a A	4	8.5	2	4.2	0	0.0
7-4	13	15.1 ab AB	148.0 a A	1	7.7	1	7.7	0	0.0
7-7	46	15.0 ab AB	136.5 a A	6	13.0	3	6.5	0	0.0
7-8	45	14.6 b B	136.1 a A	12	26.7	1	2.2	2	4.4
对照	52	16.3 c C	179.1 b B	0	0.0	0	0.0	0	0.0

(1) 飞行时盛装种子的容器编号; (2) 抽雄花时成活的植株数; (3) 株高 $\leq$ 对照平均株高 50% 的植株; (4) 由绿株变为黄绿株; (5) 叶鞘颜色由紫红变成绿色; (6) 英文字母小写为 $P < 0.05$, 大写为 $P < 0.01$, 不同字母表示差异显著。

2.2 飞行对叶片黄、白条纹出现率的影响

统计各容器的种子长出的植株中具条纹叶植株的百分率及条纹叶片占总叶片数的比率(表 3)。从表3可见 8/11 的容器内的种子长出的部分植株叶片上有黄白条纹。具黄白条纹叶片的植株的出现率为 3.94%。

表 3 飞行种子长出的植株叶片黄白条纹出现率

	盛装种子的 容器编号	株数	黄、白 条 纹 变 异		
			具条纹叶片植株数	百分率/%	条纹叶片比率 ⁽¹⁾
第 I 组	7-3	47	1	2.13	0.001 4
	7-4	13	0	0.00	0.000 0
	7-7	46	1	2.17	0.001 4
	7-8	45	3	6.67	0.004 6
	合计	151	5	2.74	0.002 2
第 II 组	1-2	37	2	5.41	0.003 7
	2-2	8	0	0.00	0.000 0
	3-2	14	0	0.00	0.000 0
	4-4	22	3	13.64	0.011 0
	5-4	30	1	3.33	0.002 5
	6-3	46	3	6.52	0.004 8
	6-4	29	1	3.44	0.002 6
	合计	181	10	4.62	0.004 0
平均			3.94%±1.22%(置信度 95%)		

(1)具条纹叶片数/该容器种子的植株的总叶片数。

以条纹叶的比率作为变异率的指标,和重离子辐照同一玉米品种所得结果(丘运兰等,1991)对比,可粗略估算出导至玉米黄白条纹出现效应的太空辐射剂量。图 1 为 4 种辐射诱导叶片黄白条纹出现的剂量——效应关系曲线(丘运兰等,1991)。7-8 容器内的种子的植株条纹叶片的比率较高(0.004 6),根据此曲线可估算得其 γ 射线等效剂量为 13.1 Gy。第 I 组平均条纹叶片比率为 0.002 2,与 635 cGy 的 γ 射线辐照的效应相同。Panael 等(1992)以热释光剂量计探测得 LDEF 内平均剂量为 575 cGy, Bayonove 等(1992)根据测量水稻种子的电子自旋共振信号估算的平均 γ 射线等效剂量为 580 cGY,均稍低于本试验估算的结果。从图 1 看出在引起玉米植株的叶片出现黄白条纹的效应上,各种高能重离子均较 γ 射线有效,铁离子是最有效的一种。由此看来,飞行种子可能受到太空辐射中某些高传能线密度(LET)粒子的轰击,这似可解释剂量偏高的原因。7-8 和 4-4 的种子的植株叶片黄白条纹这样高,也可

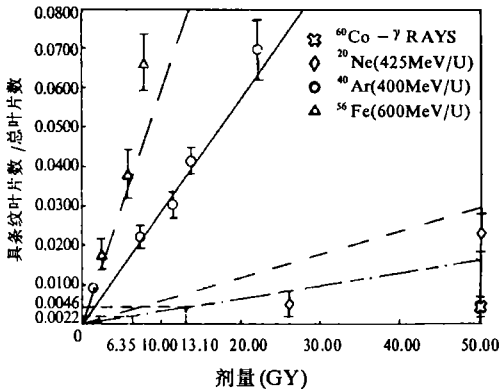


图 1 4 种辐射诱导玉米叶片黄白条纹出现的剂量——效应曲线(丘运兰等,1991)。示估算的太空辐射剂量。

能由于太空中高 LET 粒子击中这些容器中的种子的种胚部位几率较高。Peterson 等 (1977) 观察到出现大黄条纹的植株是从在阿波罗飞船上经历 9.1 天飞行, 胚中央部位受到两次高能重粒子 (传能线密度约为 $100 \sim 150 \text{ GeV/m}$, 原子系数约为 20) 轰击的种子发育成的。由于对 LDEF 飞行核径迹探测器的径迹分析还未完成, 本文现未能提供每粒种子受轰击的资料。

具黄白条纹叶片的植株后代有 $2\% \sim 5\%$ 的植株叶片出现黄白条纹 (图版 12), 这也和重离子辐照处理的结果相似 (丘运兰等, 1991)。

2.3 其他形态变异及根尖细胞的染色体畸变

在表 2 总结了飞行种子长出的植株出现的各种形态变异的百分率。从表 2 看出黄绿株 (图版 13) 出现于各容器的种子的植株中, 但对照及重离子辐照处理的植株却未见此变异 (丘运兰等, 1991)。黄绿株后代株色不变。控制玉米黄绿株的基因 yg_2 位于第 9 染色体上 (宋同明, 1985), 太空飞行诸因素中可能某因素能诱导绿株 ($Yg_2 Yg_2$, $Yg_2 yg_2$) 变成黄绿株 ($yg_2 yg_2$)。

表 2 还示出植株的矮化变异率较高, 各容器的种子的植株都有矮株出现。有些矮株茎粗叶大、叶色浓绿, 后代性状不变。还见一些极矮的变异、株高 $26 \sim 50 \text{ cm}$, 叶片数 $10 \sim 14$ 片, 茎叶细小 (图版 8,9), 多数无雌雄花, 个别抽出败育雄花。但对照和较高剂量的离子束辐照处理的植株无此类型出现 (丘运兰等, 1991)。这也可能是太空环境多因素综合影响的结果。

细胞学观察发现, 一些植株的根尖细胞有染色体桥、染色体断片 (图版 6,7) 和微核。这和顾瑞琦等 (1987) 对搭载卫星试验的小麦根尖观察到的现象相似。对照植株的根尖未见此现象。具条纹叶片的植株的根尖细胞也有染色体桥。这可用种子的胚根和胚芽都被宇宙射线的重粒子击中来解释。

2.4 叶片条纹部位超微结构的改变

透射电镜观察条纹部位发现, 与绿叶相比, 黄色条纹的叶绿体基粒较少, 基粒片层不清晰; 白色条纹的叶绿体发育不全; 而离子束辐照导致的白色条纹叶肉细胞内未见叶绿体 (图版 3,4,5)。可能辐射引至 LW_1 基因突变而抑制前质体向叶绿体分化的过程。飞行处理的植株白色条纹内有发育不全的叶绿体, 可能飞行种子受到的照射剂量较低, 其内的 LW_1 基因损伤程度小于重离子辐照处理的种子。

致谢 华南农业大学遗传育种专业卢卫星、吴海鸿、张耀萍等同学参与本研究的部份工作, 实验中心章潜才和伦旋协助电镜观察。

参 考 文 献

- 丘运兰, 梅曼彤, 何远康, 等. 1991. 加速重离子辐射对玉米的诱变效应. 华南农业大学学报, 12(1): 48~54
- 刘正常. 1987. 返回式卫星搭载试验. 见: 林兰英主编. 中国微重力科学与空间实验首届学术讨论会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 142~145
- 宋同明. 1985. 玉米突变基因连锁遗传. 北京: 清华大学图片社, 1~15
- 顾瑞琦, 吴敦肃, 郭一松, 等. 1987. 小麦干种子卫星搭载试验的初步研究. 见: 林兰英主编. 中国微重力科学与空间实验首届学术讨论会论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 172~175
- Bayonove J, Raffi J, Agnell J P. 1992. Investigation on Rice Seeds and Embryos after the LDEF, Electronic Spin Resonance Identification. In: World Space Congress Office eds. The world Space Congress (Book of Abstracts). Washington: AIAA Press, 570

- Horneck G. 1992. Radiobiological Experiments in Space: A Review. Nucl Tracks Meas, Radiat 20(1): 185 ~ 205
- Peterson D D, Benton E V, Tran M, et al. 1977. Biological Effects of High-LET Particles on Corn Seed Embryos in the Apollo-Soyuz Test Project-Biostack III Experiment. Lift Science and Space Research, (XV): 151 ~ 155
- Panael H. 1992. Survey of France Radiobiological Investigations on LDEF. In: World Space Congress Office eds. The World Space Congress (Book of Abstracts). Washington: AIAA Press, 569
- Slater J V, Tobias C A. 1963. Effects of Cosmic Radiation on Seeds Differentiation and Development. Radiation Research, 19: 218

BIOLOGICAL EFFECTS OF SPACE FLIGHT ON CORN SEEDS

Qiu Yunlan¹ He Yuankang¹ Mei Mantong² Chui-hsu Yang³

(1 Dept. of Agronomy; 2 Experimental Center, South China Agr. Univ.
510642, Guangzhou; 3 NASA Johnson Space Center)

Abstract The growth and development of more than 500 corn seeds flown on Long Duration Exposure Facility (LDEF), which spend 69 months in low-Earth orbit, were studied. The results of investigation indicated that the environmental condition in space had no obvious effects on seed germination. Most of the germinated seeds from LDEF flight grew into plants normally, but with average height shorter than that of control. Variations, including white-yellow stripes on leaves, dwarfing, change of leaf sheath color or plant color, were observed in plants developed from these seeds. When the frequency of white-yellow stripe formation was used as the endpoint and compared with data from ground based studies, the dose to which corn seeds might be exposed during this flight was estimated to be equivalent to 635 cGy of gamma rays. Seeds from different holders gave significant different variation frequency. White-yellow stripes on leaves were also found in some of the inbred progenies from plants displayed variation. Electron microscopy studies showed that the damage of chloroplast development in the white-yellow stripes on leaves was similar between seeds flown on LDEF and that irradiated by accelerated heavy ions on ground.

Key words Corn; Space radiation; Biological effects

