

[美]杨垂绪 [中]梅曼彤 编著

太空放射生物学

SPACE RADIOBIOLOGY



中山大学出版社

13

9

太空放射生物学

杨垂绪 梅曼彤 编著

中山大学出版社

1995 年·广州

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

太空放射生物学/杨垂绪, 梅曼彤 编著. —广州: 中山大学出版社, 1995.7

ISBN 7-306-00925-7

I. 太… II. ①杨… ②梅… III. ①太空科学 ②太空辐射
③生物学 IV. Q·15

中山大学出版社出版发行

(广州市新港西路 135 号)

南海印刷公司印刷 广东省新华书店经销

*

850×1168 毫米 32 开本 7.625 印张 3 插页 20 万字

1995 年 7 月第 1 版 1995 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1-1500 册 定价: 15.00 元

作者简介

杨垂绪 (Tracy Chui - hsu Yang) 原籍山东省禹城县。1938 年出生于湖南省长沙市。大学时主修生物学, 副修化学。1959 年毕业于台湾省东海大学, 随后赴美国就读于德克萨斯州北德克萨斯州立大学 (North Texas State University), 1963 年获硕士学位, 1967 年获伊利诺斯大学 (University of Illinois) 生物物理学博士学位, 后获阿贡国家实验室 (Argonne National Laboratory) 奖学金, 在该室从事博士后研究, 以中子和 γ 射线对生物发育和寿命的损伤及修复作用为主要内容。1969~1990 年在加利福尼亚大学劳伦斯伯克莱研究所 (Lawrence Berkeley Laboratory, University of California) 从事无重力条件下辐射对生物发育的影响和重离子辐射对生物的作用, 特别是重离子引起动物和人体细胞癌化机制等方面的研究。1990 年起任美国国家航空和航天局约翰逊航天中心 (NASA Johnson Space Center) 特级科学家和放射保健主管, 负责放射生物物理学、太空飞行人员的辐射安全和未来宇航计划中各种放射生物学问题研究。1993 年应邀往意大利那不勒斯大学 (University of Naples) 物理系任访问教授, 讲解太空放射生物学。有关的主要论著见参考文献 (T. C. Yang 条)。

梅曼彤 (Mantong Mei) 原籍广东台山县。1942 年生于广东省广州市。1965 年毕业于华南农学院农业生物物理专业; 1983 年公派赴美国加利福尼亚大学劳伦斯伯克莱研究所进修, 参加重离子辐射对哺乳动物细胞诱发突变及致癌效应的研究;

1985年回国后主要从事高能重离子辐射对作物的诱变效应及分子遗传学方面的研究。现为华南农业大学遗传工程研究室教授。有关主要论著见参考文献（M. Mei 条）。

序

随着太空计划的发展，太空飞行从小型卫星的发射演进到巨型太空站的建造；由几小时的飞行增加到数月的居留。在愈来愈多的太空人参加飞行和长期居留太空时，太空辐射逐渐变为令人注目的问题。

太空辐射包括环绕地球的辐射带，太阳爆炸时放出的辐射、以及弥漫太空中的宇宙射线。因为大气层和地球磁场的保护作用，在地球表面的人们不会受到这些种类射线的损害。因此，虽然宇宙射线、太阳辐射和地球辐射带很早就已经被发现，但是研究这些射线对生物的效应却很少。一直到近几十年，这个问题才被正式重视。

人类征服太空，包括长期居留月球和飞向火星，将是人类在生活上和精神上发展不可避免的结果。太空和其它星球为人类提供了无限的天然资源、新的知识领域和研究生命现象全然不同的条件。在作这些长期飞行之前，人们必须彻底了解和解决太空辐射可能造成的问题。

作者有幸在近几十年中参与和太空放射生物学有关的研究。由于这方面研究的工作一向不多，所以有关太空放射生物学方面的书非常少。为了有系统地介绍这方面的知识给广大的科研工作者和对太空科学有兴趣的读者，作者从近些年来研究的结果选取材料，编写成这本书。书内包括太空辐射环境、辐射的物理作用、化学变化、重离子对细胞、动物和植物的杀伤、突变和致癌效应、辐射对生理上的影响、辐射防护、太空中辐射生物研究的实验结果、太空辐射对生物演化的可能影响。因为包括的面比较

广泛，各方面也就只能作简略的介绍。国内在放射生物学方面已有许多专著如《辐射生物学》及《分子放射生物学》等，有兴趣的读者可以从这些专著及本书的参考文献中进一步作深入地了解。

在编写和出版这本书的过程中，作者受到许多同行们的热心支持和帮助。特别是武汉大学丘冠英教授对本书的英汉专用名词对照表作了审订；中山大学出版社李玉杏女士负责本书的责任编辑，朱霭华女士负责封面设计，中山大学生物系梁莉明女士负责部分图谱的描绘，李嘉女士为本书的责任校对，华南农业大学庄楚雄、胡维民两位先生参与书稿的校订及索引的编排，作者在此对他们致以最深切的谢意。

杨垂绪〔美国〕

梅曼彤〔中国〕

1994年5月

前 言

在太空，存在着比地球上强得多的天然辐射。要保证人类对太空的开发获得成功，就必须对太空的辐射环境及这类辐射的生物学效应有深入地了解。

太空辐射的主要来源包括三个：地球磁场捕获高能粒子产生的俘获带辐射，太阳外突发性事件产生的银河宇宙射线（GCR）及太阳爆发产生的太阳粒子事件（SPE）。俘获带主要由质子（内区）及电子（外层带）组成；GCR 中则含相当量的高能重离子，以至在太阳活动极小时，在自由空间无防护的条件下，可造成达 0.8 Sv/a 的造血器官剂量当量。SPE 的主要成份为质子，其中重粒子占总剂量的 10%，SPE 重离子的能量一般低于 GCR 中的重离子，突发性的 SPE 能产生高达数 Sv 的剂量，对太空飞行人员身体有严重的威胁。本书第一章介绍了这几类辐射的产生及组成成份。

电离辐射对生物系统的作用，经历了能量的传递（物理过程）、化学键的断裂、自由基的形成（化学过程）乃至 DNA 的损伤、染色体结构的改变（生物学过程）。第二章对这些过程作了简要的分析。应当指出的是：太空辐射，特别是其中的 GCR 中含有高能重离子，这些具高传能线密度（LET）的重离子，它们与低 LET 辐射，如 X 射线、 γ 射线等有不同的物理性质，通过物质时有完全不同结构的电离径迹，在第二章中介绍了这一径迹结构的特点，有兴趣的读者还可从书末附录中查出计算这类辐射的 LET、射程、剂量等所用的有关公式。

目前，许多估计 GCR 的生物学效应的资料主要是来自用地

面加速器产生的粒子所进行的研究。已有的实验结果表明，与低 LET 辐射相比，具高 LET 的重离子能诱导 DNA 分子中出现更多的非重接性链断裂，更有效地杀伤细胞，诱发突变及引致肿瘤发生。第三章就是根据国内外有关报道和作者多年的研究工作，综合介绍重离子辐射对微生物、植物、体外培养的动物细胞、哺乳动物等不同生物系统的主要效应及其作用机制，同时也着重比较重离子与低 LET 辐射产生效应的异同，这些为太空辐射危险性的估计提供了生物学上的依据。

人们现在已经认识到：太空飞行人员所受的辐照剂量可以降低，但不可能全部排除。因此，宇航人员现在已被列入放射性工作人员的行列。第四章根据现有的流行病学观察资料，描述了各种剂量的低 LET 辐射引致的放射病症状，并讨论了美国有关部门为宇航人员制定的辐照限值标准、及其制定标准所遵循的限制到可合理达到的最低水平（ALARA）原则。

自人类开始探索太空以来，把各种类型的生物样品放在飞行器内飞行，待飞行完回收后观察这些生物的生理、生化、遗传等方面指标的变化，一直是太空飞行任务的重要内容，而这些生物学研究中很重要的一部分是观察太空辐射的影响。第五章对太空放射生物学试验结果的综述，可帮助读者了解真正的太空辐射生物效应的复杂性。

实际上，美国已进行的航天飞行中，宇航人员受到的辐照剂量很低，一般少于 1 cGy。未来的开拓月球或探索火星的飞行中，宇航人员受到来自 GCR 或 SPE 的辐射的可能性会大大增加。第六章根据作者掌握的一些资料，分析了已进行的载人飞行中宇航员受辐照的情况及新的太空探索中可能遇到的辐射问题，并讨论了用各种方法减轻太空中辐射危害的可能性。例如使用适当厚度的防护屏，研究新的化学辐射防护药物，复合使用各类型药物，包括合理补给营养品和维生素等，都对减轻辐射损伤有一

定的效果。

由于月球和火星上的辐射水平远高于地球，在这些星球上，辐射对生命进化能起什么作用的问题已引起了科学界的兴趣，本书最后一章对此提出了作者的一些观点。

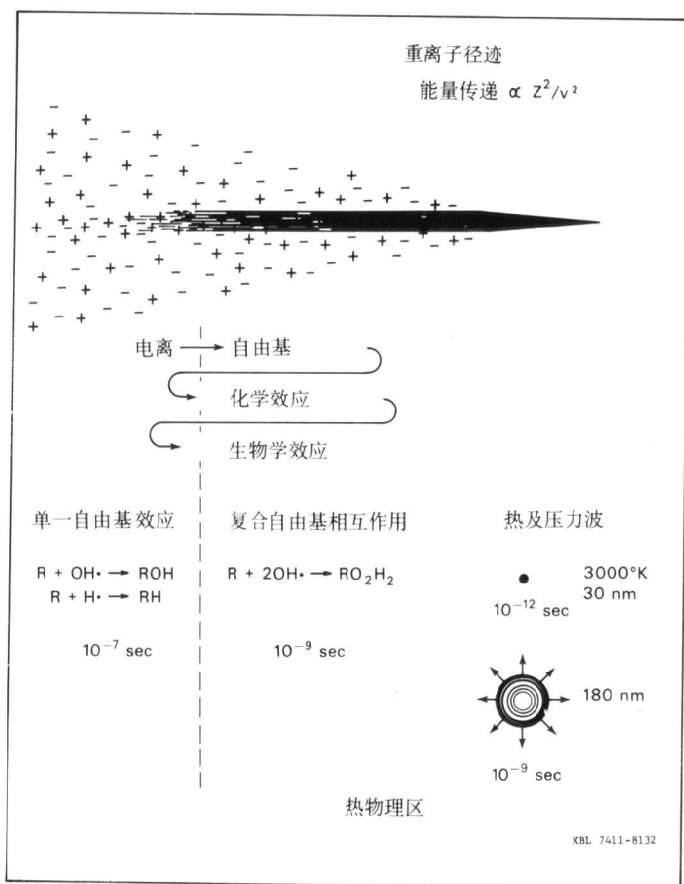
虽然在未来的太空探索，特别是星际航行中，太空辐射会成为危及宇航人员健康的一个主要因素。然而，通过进一步研究重离子辐射的生物学效应、构成防护层的新物质、辐射防护药物、重离子物理学及粒子探测器等，可以发现最佳的对策，以对太空辐射进行适当的防护。这些研究的结果还将为核物理学提供有价值的资料，增加人们对致癌、致突变及发育基本机制的了解，为临床医学提供可应用的新技术。希望本书的出版，能引起国内放射生物学工作者、及对太空放射生物学问题感兴趣的读者的注意，并为其发展和问题的解决做出贡献。

内 容 提 要

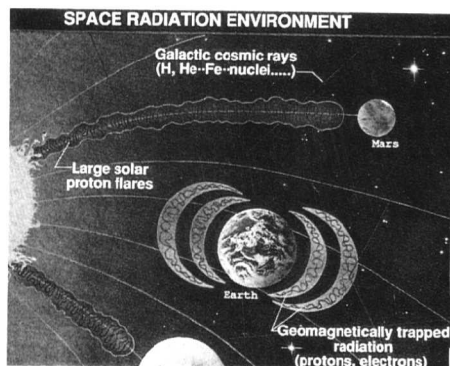
本书第一作者杨垂绪是美国航空航天局约翰逊航天中心特级科学家和放射保健主管。1993 年应邀到意大利那不勒斯大学物理系任访问教授，讲授太空放射生物学。本书集作者数十年教学的经验 and 科研的结果。

全书包括：太空的辐射环境、辐射损伤的机制、重离子辐射对不同生物系统的效应、太空辐射对人体健康的影响及辐照限值等内容；书末附有专用名词英汉对照表、物理常数、单位及转换系数、粒子辐射的吸收剂量与 LET 的关系、带电粒子的 LET 与射程的计算、中英文主题索引以及大量的参考文献。

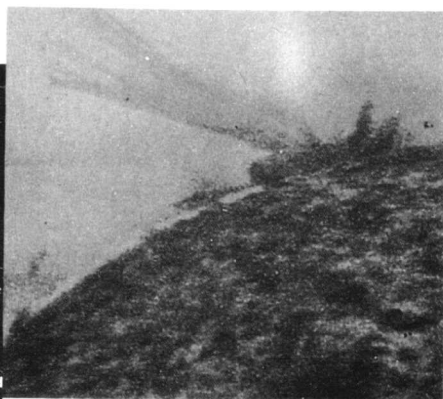
本书适合从事太空科学研究、放射医学、放射生物学的专业人员阅读和参考。



△1 辐射作用的过程

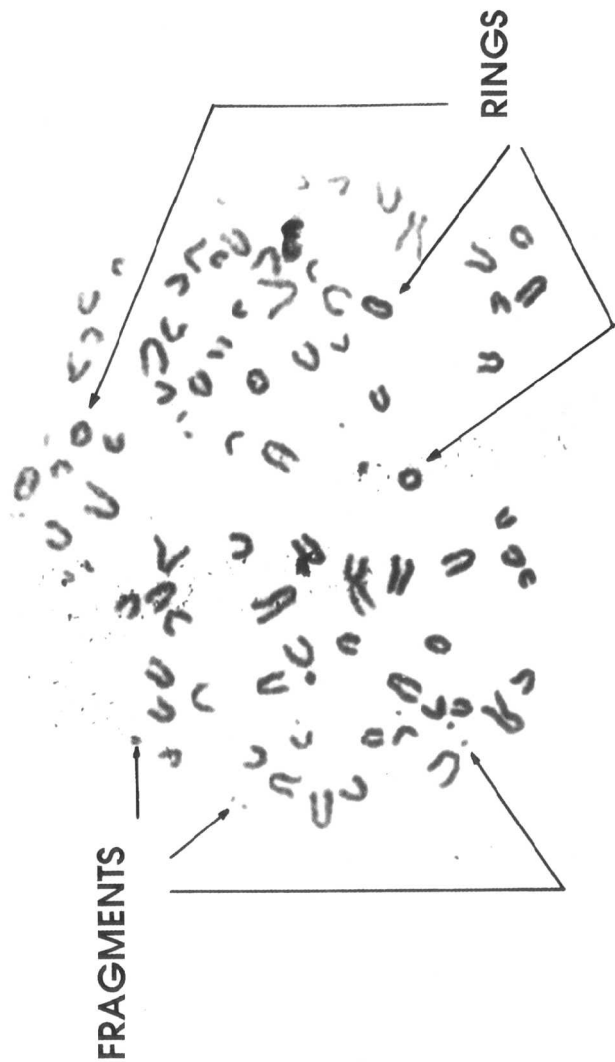


△2 太空辐射环境

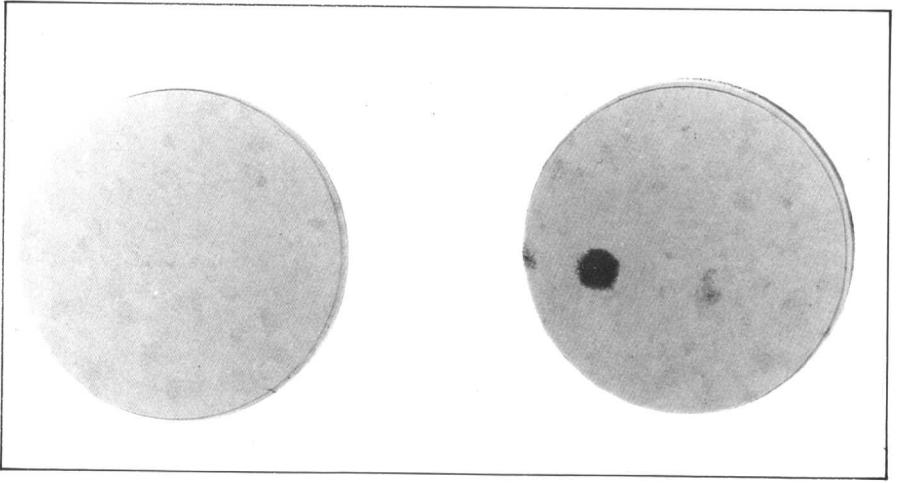


△3 在 Skylab 上观察到的太阳爆发

CONFLUENT C3H10T_{1/2} CELLS IRRADIATED WITH 340 RADS Fe⁵⁶ (600 MeV/u)



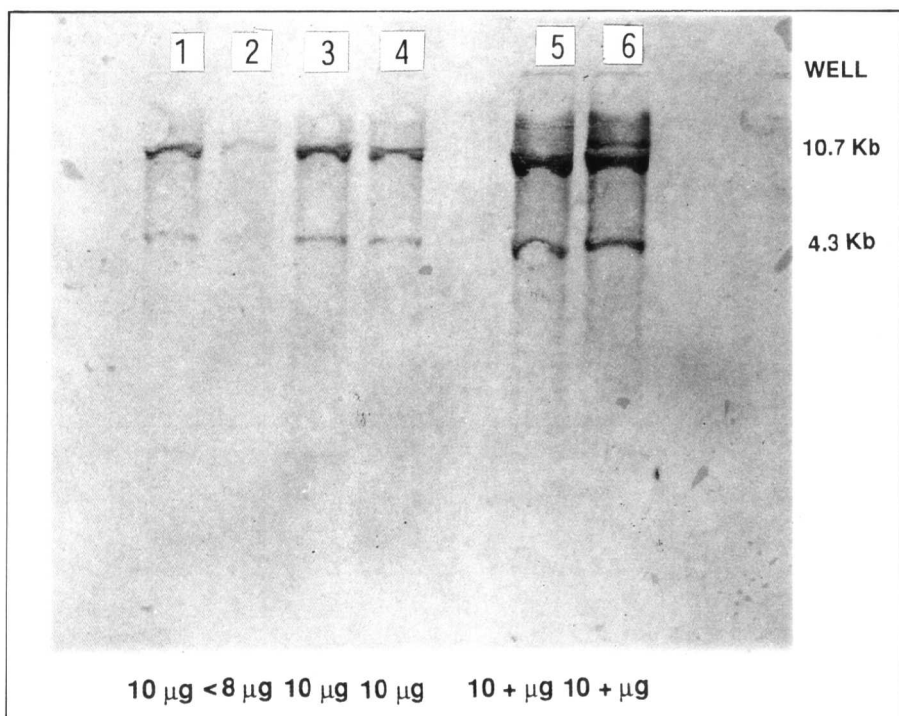
△小鼠染色体畸变, 300Gy 的 X 射线 (220kVp) 诱发的染色体畸变。小鼠胚胎细胞 (C3H10T_{1/2}) 于 G₁ 期受照射, 照射后第一次有丝分裂的中期作镜检, 可见染色体碎片和环的形成。



△小鼠胚胎细胞的恶性转化 单层平布、无转化的对照区细胞(左)与辐射致细胞密集、恶性转化点的出现(右)。所用细胞株为小鼠胚胎细胞 C3H10T $\frac{1}{2}$, 辐射为碳离子 (470MeV/u, 120cGy)。



△小鼠大肿瘤的形成 皮下注射 10^6 个转化小鼠胚胎细胞(C3H10T $\frac{1}{2}$)后两个月,可发现大肿瘤的形成。



以人体 P53 基因 (Php53B) 为探针, 与人体细胞基因组 DNA 杂交的放射自显影图, 可见在癌化细胞株中 P53 没有明显的损伤 (DNA 经 Scal 消化)

1 和 2. 人体乳房上皮细胞株 B5F5 受铁离子照射及癌化的细胞株, 能在琼脂中增殖生长。

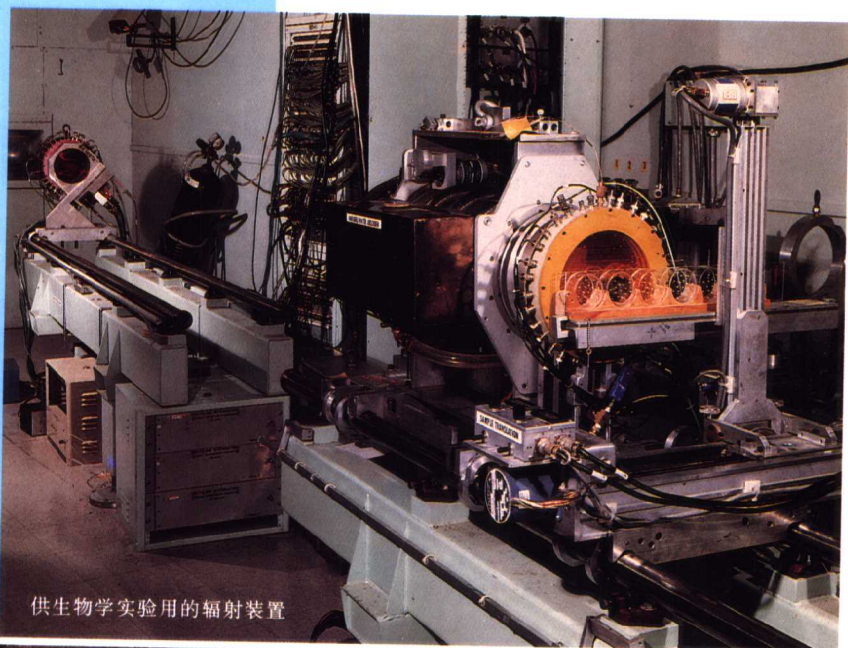
3. HEK271 细胞受⁴⁰Ar 和 ⁵⁶Fe 照射及癌化的细胞, 能在无免疫能力的小鼠身上形成肿瘤。

4. B5F5 受铁离子照射及癌化的细胞株。细胞能在琼脂中生长, 并能在无免疫能力的小鼠身上形成小型肿瘤。

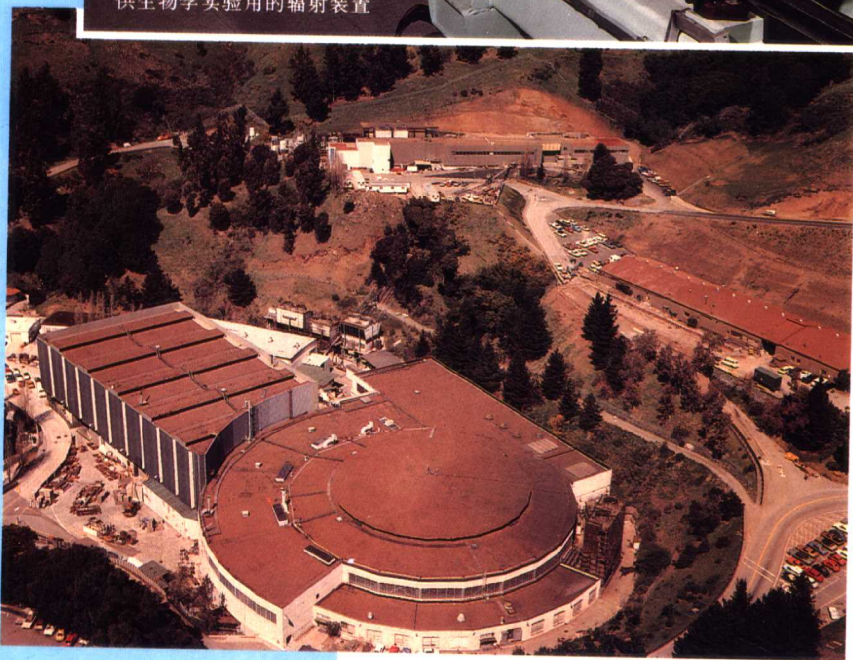
5. 人体乳房上皮细胞株, 没有受过任何重离子辐射, 细胞不能在琼脂中生长。

6. 人体皮肤上皮细胞株, 没有被重离子照射过, 不能在琼脂中生长。

图版 (IV)



供生物学实验用的辐射装置

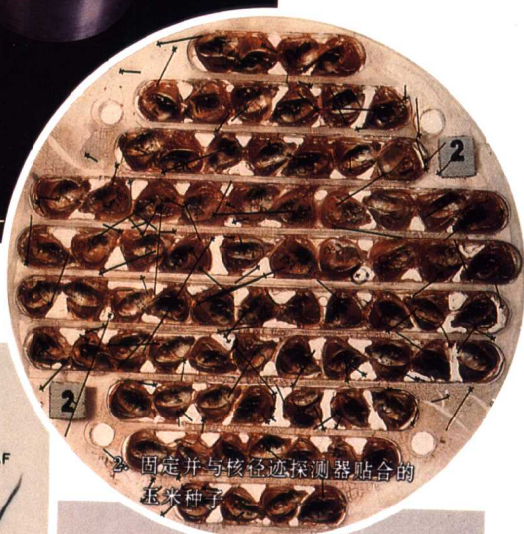


美国加利福尼亚大学劳伦斯伯克研究所(Lawrence Berkeley Laboratory) 的大型线性回旋组合加速器的外观

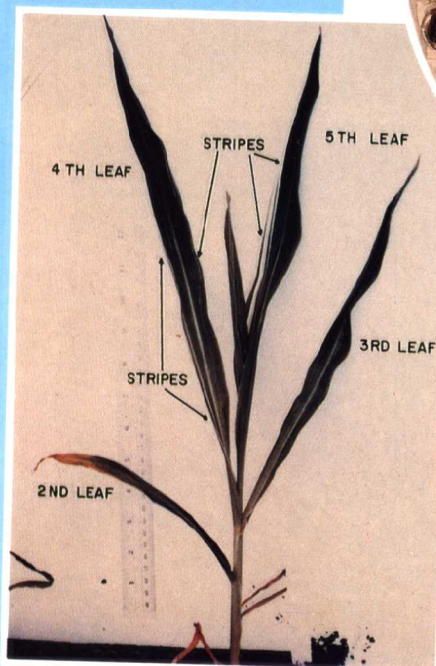
图版 (V)



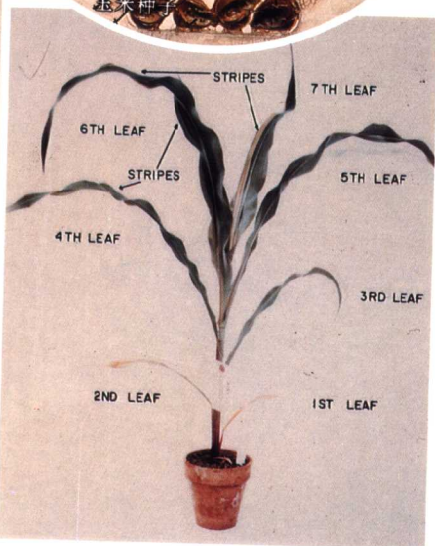
1. 研究太空辐射生物学效应的
Biostack 装置



2. 固定并与核径迹探测器贴合的
玉米种子



4. 地面加速氧离子辐射玉米种子后长成的植株。(详见第三章及第五章有关内容)



5. 有关的实验结果:ASTP 飞行后回收玉米种子长成的植株,可见第二片到第七片叶子上的黄色条纹。

图版 (VI)