

# 低剂量超软 X 射线对染色体的损伤效应<sup>1)</sup>

胡天喜 倪乐园

(上海师范大学生物系)

用<sup>60</sup>Co $\gamma$ -射线或深部治疗的X光机的“硬”X射线照射微生物及动植物,引起细胞染色体的突变,并用于育种工作,这已成为常规的育种手段。有关硬X射线引起的植物细胞染色体的辐射损伤效应,报道甚多,而低剂量的X射线,尤其是超软X射线的辐射染色体损伤效应,报道却寥寥无几<sup>[1]</sup>。本工作利用上海新跃仪表厂生产的DGX-4型软X射线机,钨靶、波长为0.62—0.71 Å的X射线(根据这一波段范围应属超软X射线,见附表)照射洋葱(*Allium cepa*)和蚕豆(*Vicia faba*)根尖,结果发现35kV,30—34mA,曝光1、5、10、20秒,都明显地导致了染色体的辐射损伤效应,出现典型的细胞染色体辐射损伤图象。用等剂量的胸透X射线、钨靶、波长为0.21 Å,照射洋葱和蚕豆根尖,则不出现或者很少出现染色体的损伤。超软X射线在引起染色体损伤方面,明显地表现出特异性。

## 材料与 方法

1. 取能发根的洋葱在25°C下进行水培,待根长到1—2cm时,在细胞分裂的高峰期(大约为上午10:00—11:00,下午3:30—4:30),进行超软X射线照射。蚕豆则进行沙培,待侧根长到1cm左右时于下午3—4时进行照射。样品离X射线管管口约为17—18cm。

2. 照射后经1—3个细胞分裂高峰期,我们取照后24小时的根尖,也是在细胞分裂高峰期,用卡诺液进行固定。1—24小时后洗去多余的固定液,用1N HCl 60°C对根尖进行离解8—12分钟(蚕豆不作1N HCl处理,而用热醋酸软化法)。水解后充分水洗以除去吸附着的HCl,用铁醋酸洋红染色压片观察。

3. 一般认为5—50keV、1mrad/时至1rad/时的能量和剂量率范围内,用小型电离室来测量剂量最为适宜<sup>[6]</sup>。为此对软X射线机35kV、34mA,曝光时间分别为1、5、10、20秒的照射,其剂量用国产FJ-365X射线剂量仪(小型电离室),加多层铝滤片并准直后进行测量。外推法和辐射与距离平方呈反比公式进行剂量校正,换算出照射点的大致剂量。相应于1、5、10、20秒照射剂量分别为96.4、482.2、964.4、1928.9毫伦。胸透X射线47kV、20mA,曝光1、5、10、20秒剂量的确定也用同样的方法。深部治疗X射线150kV、15伦/秒,由中国科学院植物生理所代照射。

## 结 果

经压片观察,统计后,末期有丝分裂细胞数和具桥或染色体断片的后、末期细胞数,求出染色体畸变率(带桥和断片细胞占后、末期细胞数的百分数)。结果列于表1。

由表1可见,随着超软X射线剂量的增加,辐射损伤效应1秒较之空白、5秒较之1秒均有明显地增加。5秒以上剂量增加一倍,辐射损伤效应并非成倍增加,而是缓慢地上升,似乎5秒照射是一个剂量的转折点。

为了确认超软X射线的特异性,我们设计了用等剂量的胸透X射线照射洋葱根尖,结果见表2。

由表2可见,低剂量的胸透X射线未引起或很少引起细胞染色体的辐射损伤。蚕豆也是

Hu Tianxi et al.: Effects of Ultra-soft X-rays in Low Dosage on Chromosomal Aberration

1) 辽宁师院进修教师姚民昌也参加部分工作。

表 1 不同剂量的超软 X 射线对洋葱和蚕豆根尖细胞染色体的辐射损伤效应

剂量(毫伦)	植 物	后、末期细胞数	畸 变 细 胞 数			畸变率(%) 和标准误
			桥	断 片	总 数	
0	洋 葱	1,748	1	2	3	0.17±0.0633
	蚕 豆	1,688	—	12	12	0.71±0.1225
96.4	洋 葱	618	17	55	72	11.65±0.4862
	蚕 豆	—	—	—	—	—
482.2	洋 葱	183	4	57	61	33.33±0.5225
	蚕 豆	590	13	115	128	22.54±0.5404
946.4	洋 葱	517	69	112	181	35.01±0.6243
	蚕 豆	963	45	219	264	27.41±0.5657
1928.9	洋 葱	80	8	22	30	37.50±0.6227
	蚕 豆	241	12	80	92	38.17±0.6050

表 2 不同剂量的胸透 X 射线对洋葱根尖染色体的损伤

剂量(毫伦)	后、末期细胞数	畸变细胞数			畸变率 (%)
		桥	断片	总数	
0	1,748	1	2	3	0.17
96.4	130	—	—	—	0.00
482.2	43	—	—	—	0.00
946.4	120	—	2	2	0.35
1928.9	72	2	1	3	0.51

表 3 机体的辐射损伤的自修复效应

照射后的天数	后、末期细胞数	畸变细胞数			畸变率 (%)
		桥	断片	总数	
1	183	4	57	61	33.33
3	45	—	10	10	22.22
7	497	1	4	5	1.01
15	576	—	—	—	0.00

表 4 机体辐射损伤自修复效应的微核率指标

照射后的天数	总细胞数	微核数	微核率 (%)
1	26,442	301	1.44
4	12,071	395	3.27
15	1,486	53	0.54

如此。1 伦左右的胸透 X 射线照射在 728 个后、末期细胞中,仅有 9 个细胞出现断片,畸变率只达 1.2% (±0.1709)。用 15 伦琴硬 X 射线照射蚕豆根尖,仅导致 3.4% 左右的细胞发生畸变,这一畸变率仅与超软 X 射线的几十毫伦相当。

染色体的辐射损伤,可由完整机体的代谢过程所修复。照射后经过不同的时间,检查畸变的细胞百分数,确实表明辐射损伤与日俱减。以 482.2mr 剂量为例(表 3),照射后经过 3 天,染色体畸变的细胞就减少 1/3,经过 7 天降为 1.01%,经过 15 天已见不到畸变的细胞。

在染色体辐射损伤图象方面,见到最多的是染色体断片,有的仅一块,有的有多块,还有的断片变成了染色体环。其次是单桥,偶而见到双桥与多桥(图版 I, 1—4)。中期细胞也能见到断片(图版 I, 5),不过机率不如后、末期

细胞多。间期细胞中可见到大量的微核(亦称卫星核,图版 I, 6),这与 Evans<sup>[7]</sup> 在植物方面的报道和施立明等<sup>[2]</sup> 在动物方面的报道相同。微核在照射后第一天出现较少,第二天起有所增多。照射后 15 天,后、末期细胞染色体畸变图象已经消失的情况下,微核却依然存在(表 4)。

根据郝水等<sup>[3]</sup> 的报道, X 射线照射会干扰细胞有丝分裂的节律,推迟细胞有丝分裂的高峰期。我们也调查了低剂量超软 X 射线对洋葱根尖细胞有丝分裂节律的影响。结果表明 96

mr 的剂量与对照无异, 946.4 mr、1928.9 mr 的剂量使细胞分裂周期略为推迟, 并使高峰期拉宽。另外, 还见到分裂的细胞数从 482.2mr 的剂量起大为减少, 亦即超软 X 射线照射后的一定时间里细胞分裂是受到抑制的。

## 讨 论

一般认为, 低剂量的 X 射线能刺激植物生长, 而并不引起遗传效应。我们的实验也证明, 低剂量的超软 X 射线照射发芽, 能够促进小麦幼苗的生长, 第一片真叶抽出芽鞘要提早 1—2 天左右。25°C 左右的室温下生长 7—10 天, 1—2 伦照射组的麦苗地上部分的高度, 比对照组高 1 cm 左右。但是也发现低微剂量 (0.1—2.0 伦) 的超软 X 射线能抑制受照初期小麦幼苗的生长, 抑制时间约为 2—3 天。这一结果与受照初期洋葱根尖细胞分裂受抑制, 染色体发生畸变, 而在一周后由于机体自修复, 畸变率变小相一致。植物受辐射照射, 初期生长受抑, 可能是由于细胞分裂受到抑制和细胞受伤 (表现为细胞染色体发生畸变) 所引起的。一定时间后, 生长反而加速, 可能是由于低水平的放射线引起植物过度修复所致。

细胞染色体畸变的百分数与射线的性质和能量有关。众所周知, 在射线生物学作用的研究中, 有两个重要概念, 一是线性能量转移 (LET), 二是相对生物学效应 (REB)。通常 LET 愈大, 也就是射线在组织中的能量耗损愈大, 或电离密度愈大, REB 也就愈大。各类射线中 LET 的大小依次为  $\alpha$  射线  $>$   $\beta$  射线  $>$  X 射线  $>$   $\gamma$  射线。就 X 射线本身来说, 由于波长的不同, 也就是能量的不同, LET 也不一样。巴克等<sup>[4]</sup>曾列举治疗用的 X 射线在 100—500 千伏范围内 LET 为  $2.5 \text{ keV}/\mu$ , 400 千伏以上 X 射线机发射的能量极高的 X 射线, 其平均 LET 为  $0.5 \text{ keV}/\mu$ , 而 25 千伏的软 X 射线的 LET 却有  $6 \text{ keV}/\mu$ 。通常 LET 随能量的下降而增加。

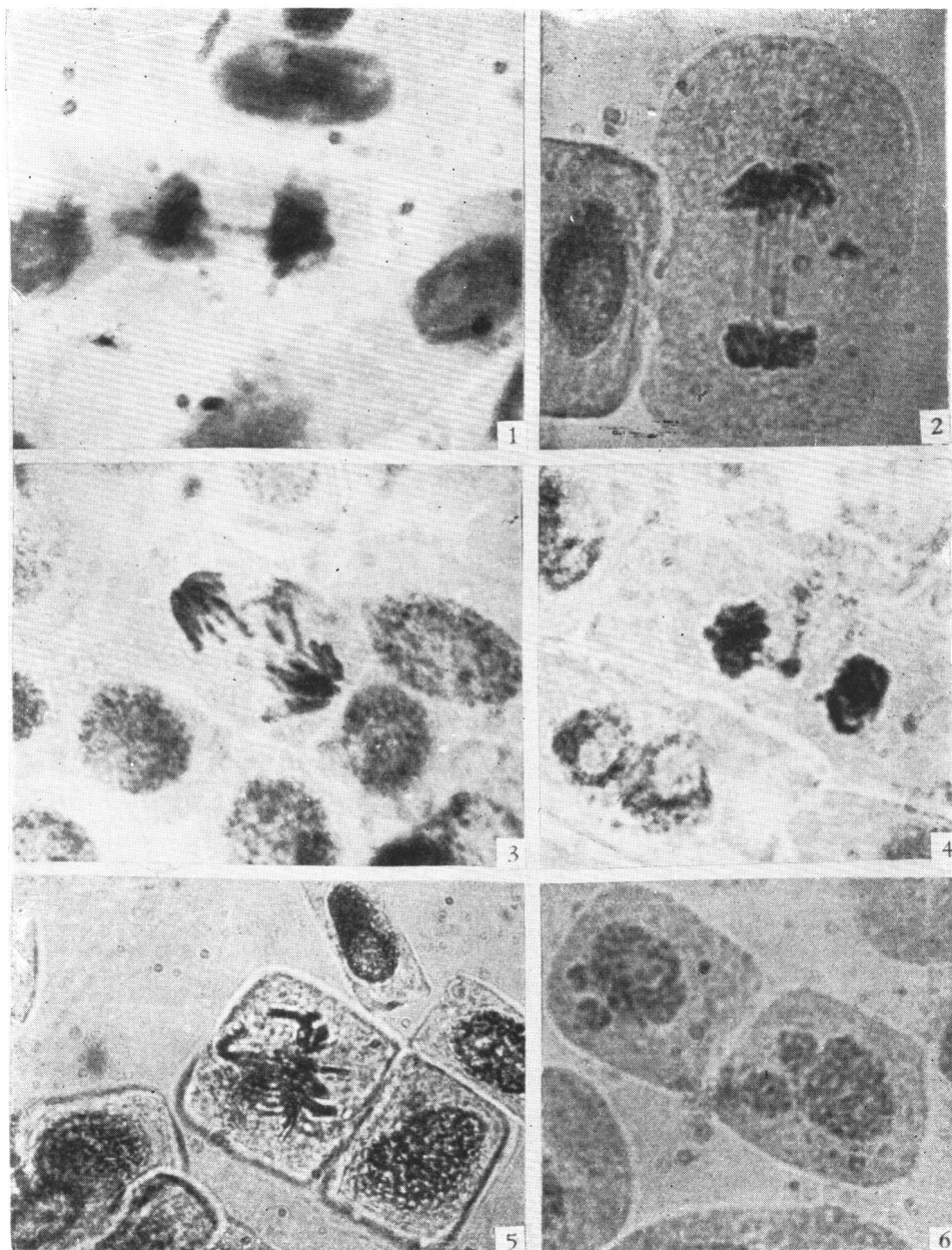
Swanson<sup>[8]</sup> 和 Kirby-smith 等<sup>[9]</sup> 也曾报道过不同硬度的 X 射线引起的电离密度不一样。他们指出: 波长为  $4.5 \text{ \AA}$  的软 X 射线效率最大, 波长为  $1.5 \text{ \AA}$  的辐射效率较小, 波长为  $0.5 \text{ \AA}$  的 X 射线效率还要小。Swanson 等在紫鸭跖草的实验中看到,  $V = 50 \text{ kV}$ 、 $V = 100 \text{ kV}$ 、 $V = 250 \text{ kV}$  的 X 射线相比较, 引起等臂染色体单桥缺失的效率相差很大, 分别为 84.6、62.5 及 44.0%。我们的实验中也看到超软 X 射线与软 X 射线、硬 X 射线相比, 由于波长不一样导致电离密度不一, 引起的染色体畸变效率相差悬殊。可见超软 X 射线高的诱发染色体畸变效率, 其原因可能就在于它的能量相对地比软 X 射线和硬 X 射线更低, 作用于机体后 LET 和电离密度高, 相对的 REB 也高所造成的。

附表 X 射线的量子的数值  
(不同 X 射线波长和能量的区分)<sup>[5]</sup>

	电 压	$\lambda(\text{\AA})$	E
边缘射线 (超软射线)	5—20 kV	2.5—0.6	5—20 keV
软 射 线	20—60 kV	0.6—0.2	20—62 keV
中硬射线	60—120 kV	0.2—0.1	62—124 keV
硬 射 线	120—250 kV	0.1—0.047	124—265 keV
超硬射线	250kV 以上	0.05 及更短	265 keV 以上

## 参 考 文 献

- [1] 周焕庚、郑斯英: 1978. 人类染色体与辐射诱变, 原子能出版社, 279—280。
- [2] 施立明等: 1975. 生物化学与生物物理进展, 3: 33—35。
- [3] 郝水等: 1963. 科学通报, 3: 55—56。
- [4] Z. M. 巴克, P. 阿历山德尔: 1965. 放射生物学基础, 科学出版社, 63页。
- [5] H. П. 杜比宁: 1961. 辐射遗传学问题, 复旦大学译, 上海科技出版社, 101页。
- [6] "Measurement of Short-range Radiations", Technical Reports Series No. 150, International Atomic Energy agency, Vienna, 1973. pp. 69.
- [7] Evans, H. J. et al.: 1959. *Int. J. Radiation Biol.*, 1: 216.
- [8] Swanson, C.: 1948. *Science*, 107:458.
- [9] Kirby-Smith, J. and Daniels D.: 1953. *Genetics*, 38:375.



1.单桥染色体。 2.多桥并带断片的染色体。 3.染色体碎片。 4.染色体环及碎片。 5.中期细胞染色体碎片。 6.间期细胞的微核。