

CNIC-00915

SMC-0111

CN9600994

# 中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE  
AND TECHNOLOGY REPORT

内污染<sup>147</sup>Pm 诱发血淋巴细胞致畸和 SCE 持续变化

INDUCTION OF SUSTAINED ABERRATION AND SCE  
IN PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES BY  
INTERNAL CONTAMINATION OF FRAGMENT <sup>147</sup>Pm

*(In Chinese)*



中国核情报中心  
原子能出版社

China Nuclear Information Centre  
Atomic Energy Press

VOL 27 No 1 9'



朱寿彭：苏州医学院放射毒理学教授，博士研究生导师。放射损伤研究室主任。1952年毕业于浙江医学院，1958年毕业于苏联医学科学院放射医学专业研究生，获医学博士学位。

Zhu Shoupeng: Professor of Radiotoxicology and advisor of doctoral candidate, Suzhou Medical College. Director of the Laboratory of Radiation Injury. Graduated from Zhejiang Medical College in 1952 and graduated from the Soviet Academy of Medical Science as a postgraduate of radiation medicine speciality in 1958 and had gotten degree of Medical Doctor.

CNIC-00915

SMC-0111

## 内污染 $^{147}\text{Pm}$ 诱发血淋巴细胞 致畸和 SCE 持续变化

朱寿彭 曹根发 孙保福

(苏州医学院)

### 摘 要

研究了重核裂片 $^{147}\text{Pm}$ 内污染的体内滞留过程。发现仅在早期降低较快,以后的排除则极为缓慢。估算了体内的滞留方程,方程包括了两个快慢组分的半滞留期,即 $T_1=4.77\text{ d}$ , $T_2=816.3\text{ d}$ 。 $^{147}\text{Pm}$ 内污染机体时,可诱发外周血淋巴细胞染色体畸变,所诱发的畸变类型大多属于染色单体型畸变,且畸变率( $Y$ )随 $^{147}\text{Pm}$ 摄入放射性活度( $X$ )的加大而相应增升,并可拟合成二次函数方程。在 $^{147}\text{Pm}$ 滞留的不同间隔阶段,可诱发血淋巴细胞的SCE率明显增升,尤其是到30 d观察阶段,出现了一个与血淋巴细胞染色体畸变相对应的SCE频率增生高峰值。

**INDUCTION OF SUSTAINED ABERRATION AND SCE  
IN PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES BY  
INTERNAL CONTAMINATION OF FRAGMENT  $^{147}\text{Pm}$**   
*(In Chinese)*

Zhu Shoupeng Cao Genfa Sun Baofu  
(SUZHOU MEDICAL COLLEGE)

**ABSTRACT**

The purpose of this study is to ascertain the induction of sustained aberration and SCE in peripheral blood lymphocytes by  $^{147}\text{Pm}$  retention in the body. The retention process of  $^{147}\text{Pm}$  in the body fitted an equation which consists of two components, fast and slow. The half-time of the fast component is  $T_1 = 4.77$  d and that of the slow component is  $T_2 = 816.3$  d. When  $^{147}\text{Pm}$  was accumulated in the body, it caused chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes. Among the different types of aberration induced by  $^{147}\text{Pm}$ , the predominant type was aberration of chromatid, accompanied by a few chromosome breakage and translocation. The experimental results indicated that SCE of peripheral blood lymphocytes increased significantly after different periods of  $^{147}\text{Pm}$  exposures. It should be noted that after exposure for 30 d, a peak elevation of SCE in peripheral blood lymphocytes was observed.

在放射医学领域中, 由于重核裂变产物中 $^{147}\text{Pm}$ 不仅份额较高, 而且释放的是软 $\beta$ 粒子, 又具有适宜的物理半衰期, 因而目前我国在荧光涂料工业中大多采用它来替代 $^{226}\text{Ra}$ 作为荧光涂料的激发能源, 使其得到广泛应用<sup>[1]</sup>, 用于表面描绘和彩色电视屏等尤为普遍。另外 $^{147}\text{Pm}$ 在核辅助动力装置系统中也得到普遍使用<sup>[2]</sup>。因此, 鉴于现场使用开放性 $^{147}\text{Pm}$ 有污染环境及被机体摄入的可能<sup>[3]</sup>, 有必要研究 $^{147}\text{Pm}$ 作为一个环境污染物在体内滞留而诱发血淋巴细胞的致畸作用和姐妹染色单体互换(SCE)的持续变化, 从而为揭示荧光涂料激发能源 $^{147}\text{Pm}$ 的损伤特点和寻找医学处理措施提供依据。

## 1 实验方法

### 1.1 $^{147}\text{Pm}$ 摄入体内的滞留过程

实验观察是在体重为 $125\pm 19\text{ g}$ 的20只雄性Wistar大白鼠体中进行的。取放射纯和化学纯的 $^{147}\text{Pm}$ -硝酸盐液由尾静脉注入机体, 其放射性活度为 $18.5\text{ kBq/g}$ , 于注入后2 h, 5, 10和91 d的不同间隔阶段观察 $^{147}\text{Pm}$ 在体内的滞留动态。将各组大白鼠分别放入有机玻璃代谢装置中收集尿和粪<sup>[4]</sup>, 随后按不同观察间隔, 各组分别由颈动脉放血处死, 收集血液样品, 取出肝、肾、肺和股骨等组织, 用扭力天平称取各器官组织样品50 mg, 按我们以前<sup>[5]</sup>报道的匀相透明液制备法处理上述样品, 并加入0.6%的PPO-甲苯闪烁液, 经暗适应后, 用Beckman液体闪烁装置进行放射性活度测定。观察标本并进行淬灭校正, 最后计算出每克组织含放射性量与理论上平均分配量的比值<sup>[6]</sup>, 并用最小二乘法配线, 求出 $^{147}\text{Pm}$ 在体内的滞留方程。

### 1.2 $^{147}\text{Pm}$ 诱发血淋巴细胞染色体畸变

实验是在91只雄性Wistar纯品系大白鼠体中进行的, 体重为 $137\pm 18\text{ g}$ 。随机分成10个实验组和1个相应对照组。实验各组分别摄入放射性活度为: $9.25\times 10^0$ ,  $9.25\times 10^2$ ,  $9.25\times 10^3$ ,  $9.25\times 10^4$ 和 $9.25\times 10^5\text{ Bq/g}$ 体重的 $^{147}\text{Pm}$ , 并在摄入同一放射性活度 $9.25\times 10^4\text{ Bq/g}$   $^{147}\text{Pm}$ 后的6 h, 1, 2, 5和30 d的5个不同阶段进行观察, 而对照组则摄入等容积的生理盐水。在静脉注入 $^{147}\text{Pm}$ 后48 h, 用肝素润湿的注射器直接从心脏取血1 ml, 加入含9 ml Eagle洗液的离心管内混匀离心, 弃上清液, 再用1640培养液加足原血量, 然后移入扁平培养瓶中, 再加9 ml RPMI 1640培养液,  $37^\circ\text{C}$ 培养48 h后, 在每培养瓶中加入秋水仙碱液浓度达 $1\times 10^{-6}\text{ mol/L}$ , 继续培养4 h, 收获细胞, 制备染色体标本, Giemsa染色后, 镜检血淋巴细胞染色体畸变发生率。

### 1.3 $^{147}\text{Pm}$ 诱发血淋巴细胞SCE频率观察

实验选用Wistar纯品系成年雄性大白鼠进行观察, 动物体重在 $137\pm 18\text{ g}$ 之间。所用的 $^{147}\text{Pm}$ 为放射纯和化学纯的 $^{147}\text{Pm}$ -硝酸盐液, 其放射性比活度为 $37\text{ GBq/ml}$ 。该液由尾静脉注入实验动物机体内, 其放射性活度为 $92.5\text{ kBq/g}$ 。对照组则注入等容积的生理盐水。在注入 $^{147}\text{Pm}$ 后的6 h, 1, 2, 5, 15和30 d的6个不同间隔阶段, 用肝素润湿的注射器直接从心脏取血1 ml, 加入含Eagle洗液的离心管内混匀离心, 弃上清液, 再用RPMI 1640培养液加足至原血量, 然后移入扁平培养瓶中, 再加9 ml RPMI 1640培养液,  $37^\circ\text{C}$ 培养24 h后, 在培养液中加入5-溴脱氧尿苷(5-BrUdR), 使最终浓度为 $5\text{ }\mu\text{g/ml}$ , 再避光培养48 h, 在细胞收获前4 h加浓度为 $1\times 10^{-6}\text{ mol/L}$ 的秋水仙碱液。然后收获细胞, 制备标本。将玻片标本置 $37^\circ\text{C}$ 温度下老化1~2 d, 然后用紫外线处理, 其过程是将玻片标本在20 W紫外

灯下(灯距为 5 cm), 往玻片标本上滴加 2XSSC 液, 再置于 50℃ 的导热板上受紫外线照射 30 min. 然后用蒸馏水冲洗吹干, Giemsa 染色, 镜检分析外周血淋巴细胞中的第二次分裂的中期相细胞的 SCE 频率值。

## 2 实验结果

### 2.1 $^{147}\text{Pm}$ 的体内滞留过程

实验观察得出的  $^{147}\text{Pm}$  在体内总的滞留过程, 以相对百分比表示于图 1 中。由图可见  $^{147}\text{Pm}$  进入体内后, 仅在开始时该百分数降低较快, 以后的降低极为缓慢, 估算得出体内  $^{147}\text{Pm}$  的滞留方程为

$$R(t) = 0.199 \exp\left(-\frac{0.693}{4.77}t\right) + 0.812 \exp\left(-\frac{0.693}{816.3}t\right)$$

$$= 0.199 \exp(-0.1452 t) + 0.812 \exp(-0.0008 t)$$

可见  $^{147}\text{Pm}$  在体内的滞留过程, 包括了两个不同快慢组分半滞留期, 即快组分  $T_1=4.77$  d, 而慢组分  $T_2=816.3$  d。

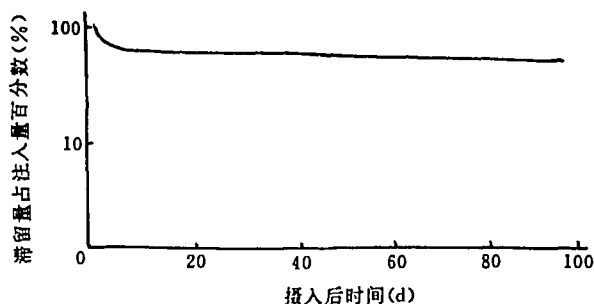


图 1  $^{147}\text{Pm}$  静脉摄入体内后的滞留过程

### 2.2 $^{147}\text{Pm}$ 诱发血淋巴细胞染色体畸变效应

#### 2.2.1 不同放射性活度 $^{147}\text{Pm}$ 诱发血淋巴细胞染色体畸变

观察受不同放射性活度  $^{147}\text{Pm}$  内污染的大白鼠所诱发的外周血淋巴细胞染色体畸变效应的结果如表 1 所示。研究表明, 对照组大白鼠外周血淋巴细胞的染色体自然畸变率为  $0.73 \pm 0.32\%$ 。而当机体受到放射性活度为  $9.25 \times 10^2$  Bq/g 内污染时, 即能诱发血淋巴细胞畸变率明显增升至  $3.38 \pm 0.72\%$ , 且随着摄入机体的  $^{147}\text{Pm}$  放射性活度的继续增大, 其诱发的染色体畸变率亦趋增加。如在机体受高放射性活度的  $^{147}\text{Pm}$  ( $9.25 \times 10^5$  Bq/g) 内污染后, 诱发血淋巴细胞的染色体畸变率可非常显著地增升到  $11.67 \pm 1.14\%$ , 至于  $^{147}\text{Pm}$  所诱发的染色体畸变类型, 则大多属于染色单体型畸变: 如  $^{147}\text{Pm}$  可诱发外周血淋巴细胞染色单体断裂 (参见图 2) 和裂隙 (如图 3 所示)。亦可诱发染色单体互换 (参见图 4)。随着机体内污染  $^{147}\text{Pm}$  放射性活度增升, 则可见到染色体型畸变相应明显增多, 如呈现出染色体断片 (参见图 5)、微小体 (参见图 6), 以及易位发生 (如图 7 所示)。

表 1 机体摄入不同放射性活度的<sup>147</sup>Pm 后 48 h 诱发血淋巴细胞染色体畸变

注入放射性活度, Bq/g	实验动物数	染色体畸变										总畸变率, % ( $\bar{X} \pm SE$ )		
		观察细胞数	畸变细胞, %	单体型畸变			染色体型畸变				单体型畸变, %		染色体型畸变, %	
				断裂	互换	裂断	断片	微小体	易位	裂断				
0	6	690	5(0.72)	2	0	3	0	0	0	0	0	0.72	0	0.72 $\pm$ 0.32
9.25 $\times$ 10	6	721	12(1.66)	7	0	4	0	1	0	0	1.52	0.14	1.66 $\pm$ 0.48	
9.25 $\times$ 10 <sup>2</sup>	6	652	21(3.22)	12	0	10	0	0	0	0	3.37	0	3.38 $\pm$ 0.72*	
9.25 $\times$ 10 <sup>3</sup>	6	635	34(5.35)	16	0	13	4	5	0	1	4.57	1.57	6.14 $\pm$ 0.98**	
9.25 $\times$ 10 <sup>4</sup>	11	1126	73(6.48)	39	2	20	12	3	0	1	5.42	1.42	6.84 $\pm$ 0.78**	
9.25 $\times$ 10 <sup>5</sup>	9	900	96(10.67)	48	0	38	16	2	1	0	9.56	2.11	11.67 $\pm$ 1.14**	

\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ .

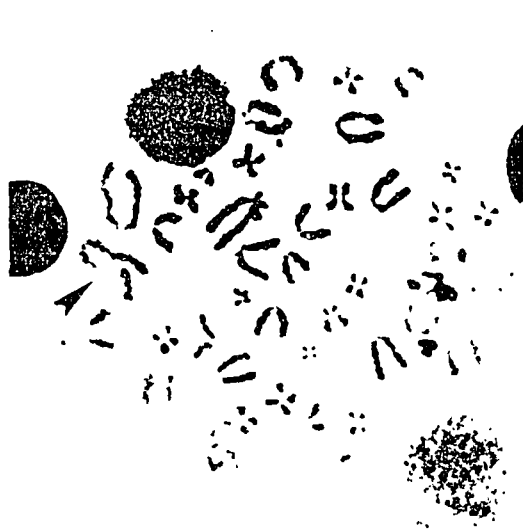


图 2 机体摄入放射性活度为 9.25 $\times$ 10 Bq/g 的<sup>147</sup>Pm 后诱发的血淋巴细胞染色单体断裂  
Giemsa 染色,  $\times$ 2000

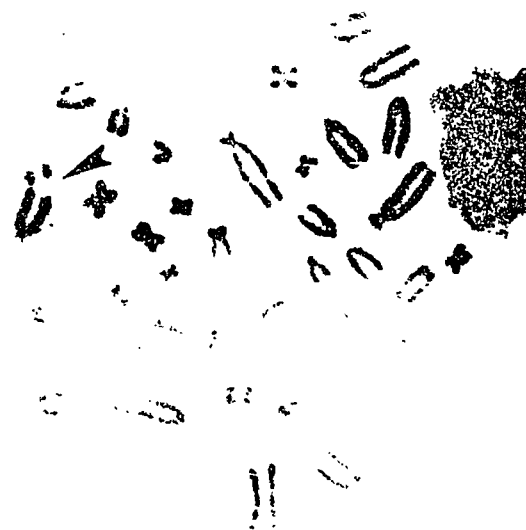


图 3 机体摄入放射性活度为 9.25 $\times$ 10<sup>2</sup> Bq/g 的<sup>147</sup>Pm 后诱发的血淋巴细胞染色单体裂断  
Giemsa 染色,  $\times$ 2000

研究表明, 机体外周血淋巴细胞的染色体畸变率与摄入荧光涂料激发能源<sup>147</sup>Pm 之间, 可拟合成二次函数方程:

$$Y = 1.0159 + 1.1684X + 0.3359X^2$$

式中:  $Y$  —— 染色体畸变率, %;

$X$  —— 机体摄入<sup>147</sup>Pm 的放射性活度, Bq/g。



图4 机体摄入放射性活度为  $9.25 \times 10^4$  Bq/g 的  $^{147}\text{Pm}$  后诱发的血淋巴细胞染色单体互换  
Giemsa 染色,  $\times 2000$

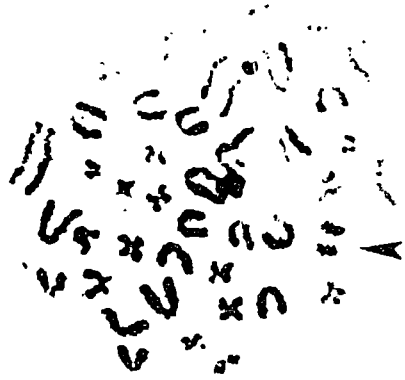


图5 机体摄入放射性活度为  $9.25 \times 10^4$  Bq/g 的  $^{147}\text{Pm}$  后诱发的血淋巴细胞染色体断片  
Giemsa 染色,  $\times 2000$



图6 机体摄入放射性活度为  $9.25 \times 10^3$  Bq/g 的  $^{147}\text{Pm}$  后诱发的血淋巴细胞染色体微小体  
Giemsa 染色,  $\times 2000$



图7 机体摄入放射性活度为  $9.25 \times 10^3$  Bq/g 的  $^{147}\text{Pm}$  后诱发的血淋巴细胞染色体易位  
Giemsa 染色,  $\times 2000$



### 2.2.2 同一放射性活度不同观察时间诱发血淋巴细胞染色体畸变

实验观察了当机体单次内污染 $^{147}\text{Pm}$   $9.25 \times 10^4 \text{ Bq/g}$  后, 在历时 30 d 的不同观察时间中, 对诱发外周血淋巴细胞染色体畸变率进行了持续的探讨, 结果如表 2 所示。由表 2 可见机体摄入 $^{147}\text{Pm}$  后 6 h, 畸变率即明显升高达  $4.08 \pm 0.71\%$ , 且随着观察时间的延长, 染色体畸变率有所增升, 至 30 d 的观察阶段, 血淋巴细胞染色体畸变率已显著增高达  $8.27 \pm 1.09\%$ 。

表 2 机体摄入同一放射性活度  $9.25 \times 10^4$  的 $^{147}\text{Pm}$  后不同观察阶段, 诱发血淋巴细胞染色体畸变率

观察时间	实验动物数	染色体畸变										总畸变率, % ( $\bar{X} \pm \text{SE}$ )	
		观察细胞数	畸变细胞 %	单体型畸变			染色体型畸变				单体型畸变, %		染色体型畸变, %
				断裂	互换	裂隙	断片	微小体	易位	裂隙			
对照	6	690	5(0.72)	2	0	3	0	0	0	0	0.72	0	$0.72 \pm 0.32$
6 h	12	809	33(4.08)	15	2	10	5	0	0	1	3.34	0.74	$4.08 \pm 0.71^*$
1 d	6	707	28(3.96)	19	0	5	4	0	0	1	3.39	0.71	$4.10 \pm 0.76^*$
2 d	11	1126	73(6.48)	39	2	20	12	3	0	1	5.42	1.42	$6.84 \pm 0.78^*$
5 d	6	692	35(5.06)	22	0	4	9	0	0	0	3.76	1.30	$5.06 \pm 0.85^*$
30 d	6	701	55(7.85)	39	0	10	5	3	0	1	6.99	1.28	$8.27 \pm 1.09^*$

\*  $P < 0.01$ .

### 2.3 $^{147}\text{Pm}$ 诱发血淋巴细胞 SCE 频率的持续变化

当机体单次内污染荧光涂料激发能源 $^{147}\text{Pm}$   $92.5 \text{ kBq/g}$  后, 在历时 30 d 中的不同观察时间内, 对诱发外周血淋巴细胞 SCE 频率进行了持续一个月的研究。结果如表 3 所示。由表 3 可见机体外照血淋巴细胞正常的 SCE 频率为  $7.68 \pm 0.33$ , 当摄入 $^{147}\text{Pm}$  后 6 h, 其诱发机体外周血淋巴细胞的 SCE 频率即明显升高达到  $10.57 \pm 1.40$ , 且这种 SCE 频率的增升值在所有持续的不同观察阶段一直保持着, 尤其是至 30 d 的观察阶段, 外周血淋巴细胞的 SCE 频率已显著增升至  $13.13 \pm 1.20$ 。图 8 中所示为机体摄入荧光涂料激发能源 $^{147}\text{Pm}$   $92.5 \text{ kBq/g}$  后 5 d 阶段所诱发的外周血淋巴细胞 SCE 频率。

表 3 机体摄入放射性活度为  $92.5 \text{ kBq/g}$  的 $^{147}\text{Pm}$  后不同间隔阶段外周血淋巴细胞 SCE 频率的持续变化

摄入 $^{147}\text{Pm}$ 不同间隔阶段	实验大白鼠数	SCE 频率值	
		观察细胞数	SCE/细胞 $\pm \text{SD}$
对照	6	300	$7.68 \pm 0.33$
6 h	6	300	$10.57 \pm 1.40^{**}$
1 d	6	300	$11.34 \pm 1.10^{**}$
2 d	6	300	$10.64 \pm 1.40^*$
5 d	6	300	$10.50 \pm 0.68^*$
15 d	6	300	$10.70 \pm 1.21^*$
30 d	6	300	$13.13 \pm 1.20^{**}$

\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ .

### 3 讨 论

研究发现, 外周血淋巴细胞染色体畸变率与机体摄入 $^{147}\text{Pm}$ 放射性活度之间, 呈现出良好的二次函数关系, 这是因为 $^{147}\text{Pm}$ 属软 $\beta$ 放射性核素,  $\beta$ 射线平均能量仅为 $0.064\text{ MeV}^{[7]}$ , 所以该核素在体内产生的辐射效应, 在低放射性活度时畸变主要由单个径迹所产生, 它与剂量的一次方即本实验中的畸变率 $1.1688X$ 成正比; 而在高放射性活度时, 诱发畸变多由两个相互独立的粒子所引起, 它与剂量的平方即本实验中的 $0.3359X^2$ 成正比。

实验观察到的荧光涂料激发能源 $^{147}\text{Pm}$ 诱发的大白鼠外周血淋巴细胞染色体畸变, 以单体型畸变为主, 占总畸变率的74%以上。关于染色体畸变类型与细胞周期的关系, 淋巴细胞形成单体型畸变的情况不同于骨髓细胞的情况 $^{[8,9]}$ , 从染色体畸变形成的互换过程来说, 在 $G_0$ 或 $G_1$ 期受到辐照的细胞, 如果在姐妹染色单体之间发生不完全互换, 便导致染色单体断裂; 而DNA单链的断裂如果在 $G_1$ 期未得到修复, 则可在M期表现为染色单体断裂。

研究表明, 由于 $^{147}\text{Pm}$ 摄入体内后在组织中呈持续性滞留, 很难排除, 因而受到放射性 $^{147}\text{Pm}$ 软 $\beta$ 粒子的持续辐照损伤后, 可以观察到 $^{147}\text{Pm}$ 在摄入机体后持续30天时间里, 诱发的外周血淋巴细胞畸变率一直维持在一个较高的水平并持续增升。尤其是到30d的观察间隔阶段, 出现了一个与外周血淋巴细胞染色体畸变率相对应的SCE频率增升高峰值。

探讨外周血淋巴细胞SCE频率值在荧光涂料激发能源 $^{147}\text{Pm}$ 作用下的改变, 可发现血淋巴细胞在S期受损伤后的修复程度。因此, 在观察 $^{147}\text{Pm}$ 对机体细胞DNA所引起的损伤时, SCE频率值是必要的观察指标。值得指出的是, 在进行活体中的SCE研究时, 由于肝脏对5-溴脱氧尿苷(5-BrUdR)具有迅速的脱卤作用, 而为了使BrUdR能纳入DNA, 必须设法维持BrUdR在体内的浓度。虽然, 我们曾对5-碘脱氧尿苷(5-IUdR)进行过实验, 即将5-IUdR溶入琼脂液中, 作皮下注射, 使5-IUdR不断呈均匀释放, 可得到SCE频率的观察 $^{[10,11]}$ 。但操作过程较多, 带来一定的不便, 为此, 我们在本研究中将5-BrUdR直接加入到培养液中, 通过细胞培养直接观察 $^{147}\text{Pm}$ 诱发外周血淋巴细胞SCE频率的变化值, 获得满意的结果。



图8 机体摄入放射性活度为 $92.5\text{ kBq/g}$ 的 $^{147}\text{Pm}$ 后5d阶段诱发的外周血淋巴细胞SCE频率  
Giemsa染色,  $\times 2000$

## 参 考 文 献

- [1] 朱寿彭. 放射毒理学. 北京: 原子能出版社, 1992. 452
- [2] Arnold W. Am. J. Roentgenol. Radium Therap Nucl. med. 1973, 118 (4), 768
- [3] 朱寿彭, 仝明跃, 王六一. 中华劳动卫生与职业病杂志, 1993, 11 (3), 135
- [4] 朱寿彭, 赵经涌, 苏昆源等. 核技术, 1980, 3 (4), 47
- [5] 朱寿彭, 王崇道, 王国林等. 中国药理学报, 1984, 5 (3), 24
- [6] 朱寿彭, 王崇道, 曹根发等. 环境科学, 1984, 5 (5), 22
- [7] ICRP. Limits for intakes of radionuclides by workers. parti, ICRP, Pergamon Press, 1979, 42
- [8] Anderson H C. Mutat Res, 1984, 141 (1), 45
- [9] 朱寿彭, 曹根发, 孙保福等. 核技术, 1990, 13 (6), 381
- [10] 朱寿彭, 王六一. 辐射研究与辐射工艺学报, 1988, 6 (3), 21
- [11] Ikushima T. Int. J. Radiat Biol, 1984, 45 (3), 251

(京)新登字 077 号

图书在版编目(CIP)数据

内污染<sup>147</sup>Pm 诱发血淋巴细胞致畸和 SCE 持续变化=  
INDUCTION OF SUSTAINED ABERRATION AND  
SCE IN PERIPHERAL BLOOD LYMPHOCYTES BY  
INTERNAL CONTAMINATION OF FRAGMENT  
<sup>147</sup>Pm/朱寿彭等著. —北京:原子能出版社,1994. 12

ISBN 7-5022-1304-X

I. 内… I. 朱… III. 内污染-诱发-血淋巴细胞-致畸  
IV. R322. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 13364 号



原子能出版社出版发行

责任编辑:孙凤春

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷



开本 787×1092 1/16·印张 1/2·字数 13 千字

1994 年 12 月北京第一版·1994 年 12 月北京第一次印刷

# CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-1304-X



9 787502 213046 >