

农业研究中 $\text{Co}^{60}\gamma$ 射线照射方法的初步研究

徐永高 唐掌雄 黄世益
(中国农业科学院原子能利用研究所)

本文对 2000 克镭当量空心圆柱体 $\text{Co}^{60}\gamma$ 射线辐照器的剂量场进行了测量和计算。采用等效点源、等效线源和 16 个线源的三种近似方法进行了计算。理论计算结果和实验值基本吻合。用 PM-1-M 伦琴计(主体电离室 2 立方厘米)测定剂量场。实验误差 $\pm 5\%$ 。

利用上述辐射源及 PM-1-M 伦琴计在宽束几何条件下测定了小麦干种子的吸收系数, 得出了小麦线性吸收系数 $\mu = 0.026 \text{ 厘米}^{-1}$ 。

根据剂量场测定结果分析, 初步提出了照射样品的几何条件: (1) 若照射剂量不均匀度为 $\pm 10\%$, 照射样品厚度为 2—4 厘米, 则样品放在 40—80 厘米间进行照射比较适宜; (2) 照射小动物及作物植株时, 则放在距源 80 厘米以外的地方进行照射较适宜。

引 言

近年来电离辐射在农业中的利用发展很快, 对实验设备和照射方法提出了更广泛的要求。照射方法的研究, 如照射剂量、吸收剂量、剂量分布、样品大小以及相应的辐照器的设计等方面的报导却不多, 尤其缺少系统的资料。泽克耳(R. E. Zirkle)^[1]较全面地分析了照射小动物的方法, 其剂量分布的不均匀度约为 $\pm 20\%$ 。科万(F. P. Cowan)^[2]对 10000 克镭当量的 Co^{60} 和 $\text{Cs}^{137}\gamma$ 辐射源的剂量进行了测量和计算, 得出 γ 辐射源的剂量率分布随季节、气压、温度、湿度以及距离等不同而异的结果。例如 Cs^{137} 源在晴朗的冬天(空气密度等于 1.411 克/升), 空气的线性吸收系数 $\mu = 10.86 \times 10^{-5} \text{ 厘米}^{-1}$; 而在炎热的夏天(空气密度等于 1.130 克/升), 空气的线性吸收系数 $\mu = 8.68 \times 10^{-5} \text{ 厘米}^{-1}$, 同时必须对 γ 射线在地面附近的剂量进行校正。校正系数与离地高度、距源的距离有关。彼别尔加利(A. B. Бибергаль)^[3]对放射生物学研究用的照射装置提出了新的设计方案, 即放于水中的可变半径的空心圆柱形辐照器, 其照射场内剂量的不均匀度在 $\pm 10\%$ 以内。此种辐照器宜于用来进行小动物辐照试验。

在农业上利用辐射的研究中, 被研究的对象是多种多样的, 有活动性很大的小动物、有高大的植株、有不同质量的种子、有细小的微生物。照射时要求很宽的剂量范围和较高的剂量均匀度, 因此要求辐射源的结构能适应多种多样的需要。例如, 对微生物中的某些菌类进行辐照所需的剂量高达几十万伦, 甚至几百万伦; 对作物、蔬菜等进行辐射引变育种、刺激生长的研究, 所需的剂量为几十伦到几万伦; 而照射小动物时, 要求辐射剂量为几伦到几百伦。

我们对 2,000 克镭当量 $\text{Co}^{60}\gamma$ 射线辐照器的剂量分布作了测量和计算, 并对作物种子的吸收情况进行了初步研究, 从而初步确定了被照射样品较适宜的几何位置。

一、 $\text{Co}^{60}\gamma$ 场的测量和计算

我们的 $\text{Co}^{60}\gamma$ 射线辐照器由高为 81.5 毫米、直径为 11 毫米的 32 支钴棒组成, 分成 16 组(每组 2 个钴棒)。每组为一单位源, 其平均强度为 132.74 克镭当量, 总强度为 2124 克镭当量。16 组钴棒均匀地装在內径为 160 毫米、外径为 194 毫米、高为 220 毫米的铝质空心圆筒内, 如图 1 所示。平时辐照器贮藏在直径为 1 米、深 3.5 米的水井中, 照射时将它升到离地面 55 厘米的高度处进行照射。

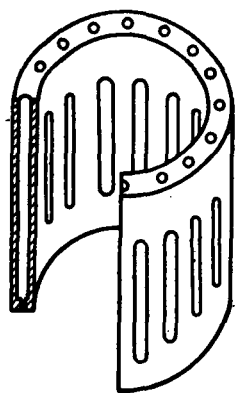


图1 空心圆柱形辐照器

1. 剂量场的测量

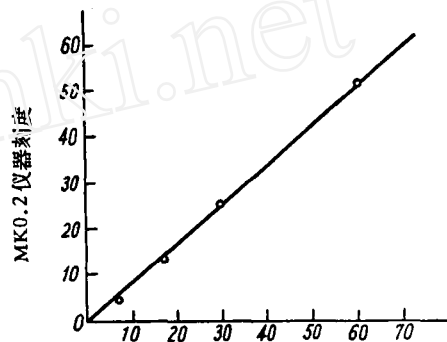
剂量测量的方法很多,物理测量方面有作绝对测量的量热法、电离室法,有用玻璃和塑料作变色指示的剂量计以及以电特性改变作指标的半导体固体剂量计等;化学测量方法中常用的有弗里克(Fricke)硫酸亚铁剂量计和铈剂量计等。

我们用苏联医用伦琴计(PM-1-M)测量了 $\text{Co}^{60}\gamma$ 射线的剂量。测量探头是一个主体电离室(2立方厘米),外加一个厚约2毫米的精制铝质平衡套。仪器刻度曾用英国亚标准伦琴计(Farmer-MK0.2)进行了校正。其相对校正值为 $\frac{\text{MK0.2}}{\text{PM-1-M}} = 0.84$ (在0—60分度上校正,60分度

以上由外推得到)。仪器精确度为 $\pm 5\%$ 。

圆周等剂量场的测量 圆周等剂量场的测量目的在于充分利用照射场空间,以便能一次照射较多的样品。测量结果表明,以源为中心的等圆周剂量是可取的,误差为5毫米。

垂直于源母线的水平剂量场(在源中心平面上)的测量 测量分两部分进行:一部分是测量空心圆筒内沿源中心平面的水平剂量率分布。结果示于图3。由图3看出,测量点愈靠近源壁剂量率愈大,剂量率变化梯度很陡。另一部分是测量源外中心平面的水平剂量率分布。图3说明剂量率的变化符合与距离平方成反比的关系。



PM-1-M 仪器刻度

图2 PM-1-M 与 MK0.2 仪器的校正关系

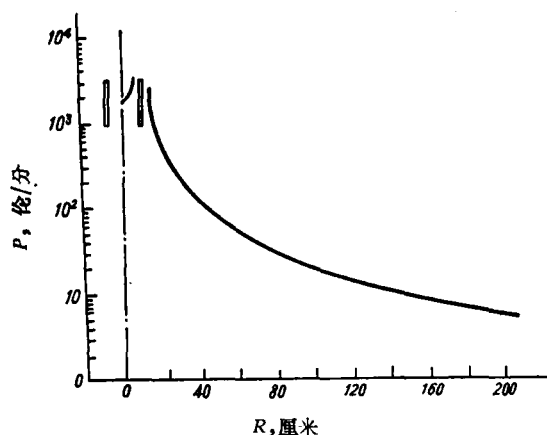


图3 垂直于源母线的水平剂量场

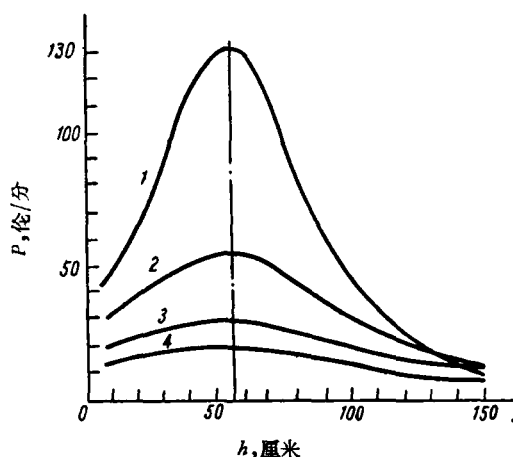


图4 不同距离下的垂直剂量率的分布

1—40厘米; 2—60厘米;
3—80厘米; 4—100厘米。

平行于源母线的垂直剂量场的测定 测定距照射源中心轴40, 60, 80及100厘米处的垂直剂量率分布,结果如图4所示。在源中心点(离地面55厘米处)上、下的剂量是不对称的。在到中心轴的距离相同的条件下,靠近地面的剂量比上面的剂量要大,而且离地愈近,其不对称

性愈显著。这是地面散射的结果。随着离源距离的增加,地面散射的影响亦有所增长。

2. 剂量场的计算

找出上述 γ 源剂量分布的精确的数学表达式是很复杂和很困难的。我们在计算时,作了如下的近似:

(1) 不考虑源的自吸收,铝安瓿的吸收(源强是测量值)以及圆筒壁的吸收(壁很薄),因此可把源看作线源;

(2) 忽略了源和周围物体的散射;

(3) 空气的吸收小,可忽略不计。

计算结果与实验结果的比较,证明了这种近似是允许的。下面介绍我们采用的三种计算公式,并将计算结果与实验值进行比较。

等效点源 把 16 个圆柱形源,看作一个放射性物质集中在空心圆柱体中心点上的点源。在距离点源 R (米)处的点的剂量率为

$$P = K \cdot \frac{M}{R^2} \quad (1)$$

式中 K —— γ 常数(镭的 γ 常数, $K=0.84$ 伦/小时·克镭当量·米); M ——源的放射性强度,克镭当量。

等效线源 把 16 个圆柱形源,看作一个放射性物质全部集中在空心柱体中心轴线上的线源。设观察点 P 在线源中心的垂线上,距源中心的距离为 R (图 5),则 P 点的剂量率为

$$dP = \frac{K\eta}{d^2} dx, \quad (2)$$

式中 η 为线源比强度 (等于 130.3 克镭当量/厘米);

$2l=16.3$ 厘米; $x = R \tan \theta$; $dx = \frac{R}{\cos^2 \theta} d\theta = R \sec^2 \theta d\theta$;

$d = R \sec \theta$ 。

把上述参数代入(2)式并积分得

$$P = \frac{2K\eta}{R} \tan^{-1} \frac{l}{R}. \quad (3)$$

16 个等效线源 把 16 个圆柱形源看成如图 6 所示的 16 个线源。由图 6 可见,

$$R_n = \sqrt{OP^2 + r^2 - 2rOP \cos \psi_n},$$

$$\psi_n = \frac{(n-1)\pi}{8},$$

故

$$P = \frac{K\eta}{8} \sum_{n=1}^{16} \tan^{-1} \frac{l}{R_n}, \quad (4)$$

式中 r 为空心圆筒平均半径,等于 8.85 厘米;

K, η 及 l 同前。

计算结果与测量值列于表 1。由表 1 数据

可看出,(1),(3)式只适用于源外,特别是适用于 35 厘米(即距离大于源高的 2 倍)以外的

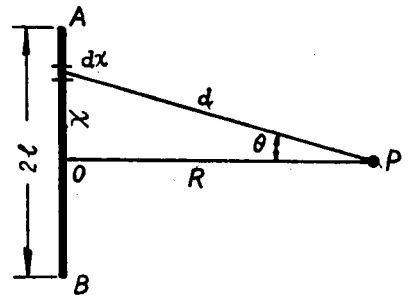


图 5 线源 AB 在 P 点的剂量

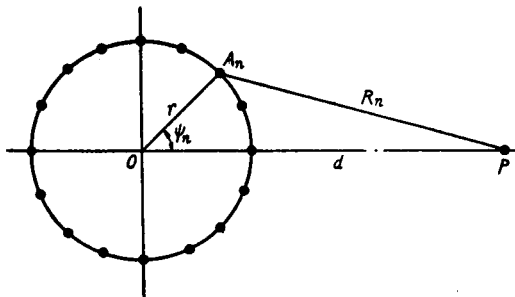


图 6 16 个线源平面图

地方。这时等效点源计算值与实验值的偏差小于 10%，而用等效线源计算的偏差在 5% 以下。在 35 厘米以内，(1)，(3) 式计算值小于实验值，这是不合理的。一般说来，在上述近似情况下，理论值应比实验值高，而且它们之间偏差较大。因此，计算空心圆柱形源的剂量时，在小于 35 厘米的地方，采用点源或等效线源近似是不适宜的。

表 1 由公式(1)，(3)，(4)算得的结果与实验值的比较(以源中心轴为坐标轴)

项目	R, 厘米 P, 伦/分	源 内			源 外											
		0	2	4	18	20	25	30	35	40	50	60	80	100	150	200
实验值		1866	1916	2066	618.8	505.0	319.0	213.6	149.3	113.9	71.5	49.4	27.6	17.6	7.8	4.9
点源					580.0	470.0	301.0	209.0	153.6	117.5	75.2	52.2	29.4	18.8	8.3	4.7
线源					545.0	446.0	291.0	204.0	150.3	115.4	74.7	51.8	29.2	18.1	8.3	4.7
16个线源		1932	2040	2240	705.0	555.0	343.5	226.4	163.4	125.0	77.6	54.1	30.0	19.1	9.4	4.8

由(4)式得出的源内外的计算值与实验值偏差在 8% 以内，因此采用 16 个等效线源计算更接近实际情况。

二、小麦种子的吸收系数与几何位置的初步确定

照射时保证照射样品处的剂量分布均匀，是关系到照射物理因子的可重复性的问题。这方面的研究工作报导不多。我们针对 $\text{Co}^{60}\gamma$ 场分布情况以及样品大小、几何位置等问题进行了初步研究。

1. 照射种子的厚度与剂量的关系

在农业辐射研究中，以照射作物种子居多，照射量也较大，因此在一定剂量率误差范围内，研究对种子层厚度的要求是有意义的。为此，初步测定了 $\text{Co}^{60}\gamma$ 射线在种子中的衰减曲线。

衰减曲线的测定是用上述 Co^{60} 源进行的，用 PM-1-M 伦琴计的电离室(2 立方厘米)作探测器。因为实验是在宽束几何条件下作的，散射和积累因子较大。在小麦、玉米、谷子三种作物干种子的吸收实验中，它们之间衰减规律的差别在实验误差之内。 γ 射线在物质中的衰减规律可用下式来表示：

$$I = I_0 e^{-\mu t}, \quad (5)$$

式中 I_0 ——物质厚度为零时的 γ 射线计数，计数/分； t ——物质厚度，厘米； μ ——物质线性吸收系数，厘米 $^{-1}$ 。

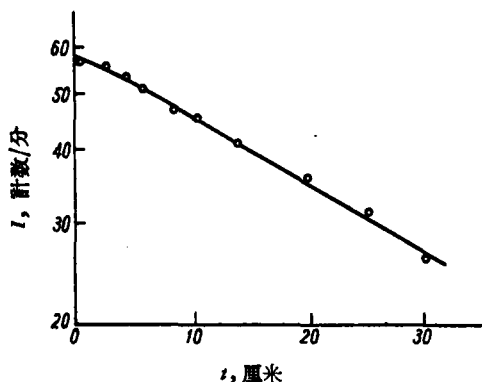


图 7 $\text{Co}^{60}\gamma$ 射线通过小麦种子时的衰减曲线

实验结果如图 7 所示，得出了小麦干种子的线性吸收系数 $\mu = 0.026$ 厘米 $^{-1}$ 。由此可初步估计出在种子不同厚度下由于 $\text{Co}^{60}\gamma$ 射线的衰减而引起的剂量场的不均匀程度。从测得的 μ 值再来计算不同厚度下由种子吸收所引起的剂量率衰减百分率(见表 2)，从而可确定照射的种子厚度。

由表 2 看出，当种子厚度为 4 厘米时衰减率达 10%，即若以种子厚度的中心点为剂量基准，则在 4 厘米厚的种子盒中心点前后的剂量偏差达 $\pm 5\%$ 。若照射时使种子盒转动，则剂量的不均匀度可以降低。

表 2 种子厚度与剂量率衰减百分比的关系

种子厚度 t , 厘米	1	2	3	4	5	6	8	10
衰 减 率, %	2.5	4.9	7.5	10.0	12.2	14.5	18.5	22.9

2. 水平剂量场

从图 3 水平剂量率分布, 可看出由水平距离变化而引起剂量率的变化(见表 3)。

表 3 水平距离变化(ΔR)与剂量率变化(ΔP)的关系

ΔR , 厘米		距 离 R , 厘 米						
		20	30	40	60	80	100	200
± 1	空气剂量	9.3	6.4	5.1	3.6	2.6	1.9	—
	计入 μ	13.8	10.9	9.7	8.2	7.0	3.5	—
± 2	空气剂量	17.3	12.0	9.2	6.5	4.5	3.9	—
	计入 μ	25.6	20.9	18.4	15.8	14.1	13.5	—
± 5		—	—	—	—	15.0	9.3	4.8
± 10		—	—	—	—	25.5	20.0	6.0
± 15		—	—	—	—	40.0	32.0	10.0

由表 3 可以看出在照射种子时, 若剂量偏差在 $\pm 15\%$ 以内、种子厚度小于 4 厘米, 则照射样品必须放在距源 40 厘米以外。我们认为照射种子比较适宜的几何条件是: 如果要求剂量率偏差在 $\pm 10\%$ 左右, 则种子厚度为 2—4 厘米, 在离源 40—80 厘米之间进行辐照。若能在照射时转动样品, 则上述范围可以扩大。在照射较大体积的样品时, 如照射小动物, 其笼子的半径应为 10—30 厘米, 为了要获得剂量均匀的照射空间, 样品放在离源 80 厘米以外较好。

3. 垂直剂量场

将图 4 进行坐标变换, 把纵坐标剂量率变换为百分率, 得到图 9。由此看出垂直剂量场分布比水平分布更为均匀。分析图 8, 把不同距离的剂量率偏差与垂直距离的关系作成表 4。由此看出当垂直剂量率均

表 4 不同距离下, 剂量率变化 ΔP 与垂直距离变化 Δh 的关系

ΔP , %		距 离 R , 厘 米			
		40	60	80	100
± 10		24	34	48	60
± 20		34	50	70	80

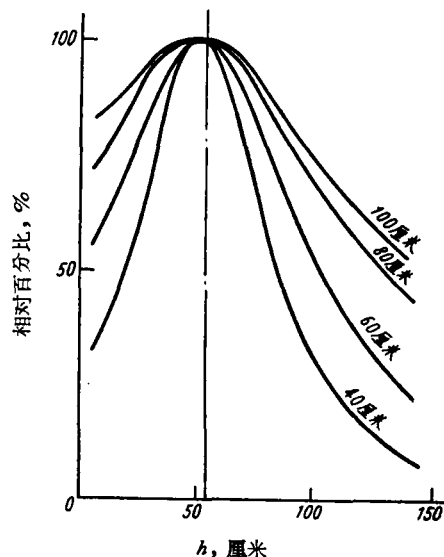


图 8 垂直剂量场分布(相对百分比)

匀度为 $\pm 10\%$ 时, 要对高度小于 50 厘米的植株进行照射, 必须把植株放在离源 80 厘米以外

的地方。而照射更高的植株时,必须放到 100 厘米以外的地方。

根据以上结果,我们认为,从要求较宽的剂量范围和一定的照射剂量均匀度出发,采用空心圆柱形辐照源是比较适宜的。

参 考 文 献

- [1] R. E. Zirkle (editor), Biological Effect of External X and Gamma Radiation, Part 1, Chapter 2, p. 11, 1954.
- [2] E. P. Cowan et al., *Rad. Botany*, 2, 241 (1962).
- [3] A. B. Бибергаль, и др., *Биофизика*, 1, 118 (1958).
- [4] H. H. Rossi, 9th International Congress of Radiology, Vol. 2, p. 1384, 1961.
- [5] Report of The International Commission on Radiological Units and Measurements (ICRU), Nat. Bur. Stand. Handbook, p. 62, 1957.
- [6] 黄世益, 组织对 1 伦 γ 射线的吸收 (内部资料).
- [7] Г. В. 哥尔什科, 放射性物体的 γ 辐射, 地质出版社, 1959.
- [8] A. B. 皮别尔加利, 原子能, 第 1 期, 36 (1960); 2, No. 4, 152 (1957).
- [9] 史元明, 原子能科学技术, 8, 574 (1962).

(编辑部收稿日期 1964 年 5 月 3 日)

www.cnki.net