

丙氨酸ESR剂量计的剂量特性*

罗达玲 李冕丰 张纯祥 李箴瑞

(物理学系)

摘 要

使用JES FEIXG ESR谱仪测量用 γ -射线和电子束辐照过的丙氨酸的剂量响应曲线,研究其零剂量特性、探测下限、线性范围、饱和区域以及辐照和保存时环境条件的影响,并从微剂量学的角度研究其剂量响应,给出 D_{37} 特征剂量。

关键词 丙氨酸ESR剂量计, 剂量响应曲线, 特征剂量 D_{37}

1 引 言

丙氨酸(alanine)/电子自旋共振剂量计(简称丙氨酸ESR剂量计)是一种新型的自由基剂量计,它利用电子自旋共振谱仪(简称ESR谱仪)测定电离辐射在丙氨酸中生成的自由基浓度来测量其吸收的辐射剂量。

1959年美国Randolph等人^[1]发现几种氨基酸多晶经 ^{60}Co γ 射线和X射线辐照后能生成寿命长的自由基。1962年美国Bradshaw等人^[2]将丙氨酸结晶粉末作为固体剂量计,用ESR谱仪测定电离辐射在丙氨酸中产生的自由基数目。1980年以后西德辐射与环境研究中心(GSF)Requilla和Deffner^[3-5]将丙氨酸多晶粉末和石蜡混合制成剂量计,用ESR分析法进行了辐射剂量测量研究。

丙氨酸剂量计不仅能测量 γ 射线和电子束的辐射剂量,也能用于质子、中子、 α 粒子及重离子的剂量测量^[6]。

本工作利用JES FEIXG电子自旋共振谱仪测量用 γ 射线和电子束辐照过的丙氨酸剂量计的剂量响应曲线,研究其零剂量、探测下限、线性范围、饱和区域以及辐照和保存时环境条件的影响,并从微剂量学角度研究其剂量响应,给出 D_{37} 特征剂量。

本文1987年11月30日收到

●广东省自然科学基金资助项目

2 实 验

本剂量计由高纯度L-丙氨酸多晶粉末加入20%的石蜡压制而成,样品为直径3mm、长度4mm的小圆柱体。样品均匀性好、质量分散性小且具有足够的机械强度。封装在塑料管内保存,避免紫外光照射。

γ 射线辐照在广东省辐照中心的十万居里 ^{60}Co 源上进行。样品放在4.5mm厚的有机玻璃小池内,以实现电子平衡。电子束辐照源为2Mev电子静电加速器。辐照均在室内常温常湿下进行。 γ 辐射场用Frick剂量计标定。

采用JES FEIXG电子自旋共振谱仪测量辐照后的样品的ESR谱。谱仪的调速频率为 $9.445 \times 10^9 \text{ Hz}$,磁场设置在3360Gs(即336mT),磁场扫描范围为100Gs,RF场调制用100KHz,微波功率、放大倍数和时间常数按辐射吸收剂量范围调节。

测量时,样品装入石英管,再插入微波空腔内,要特别注意样品在空腔内的轴向和径向位置的重复性。在室温和空调环境下测量。

图1为辐照后的丙氨酸样品的自旋共振吸收一阶微分谱。a为受 $7.87 \times 10^3 \text{ Gy}$ 的 ^{60}Co γ 射线辐照的样品,测量时微波功率为0.1mw,放大倍数为790。b为受 $1 \times 10^4 \text{ Gy}$ 的2Mev电子束辐照的样品,测量时微波功率亦为0.1mw,放大倍数为400。

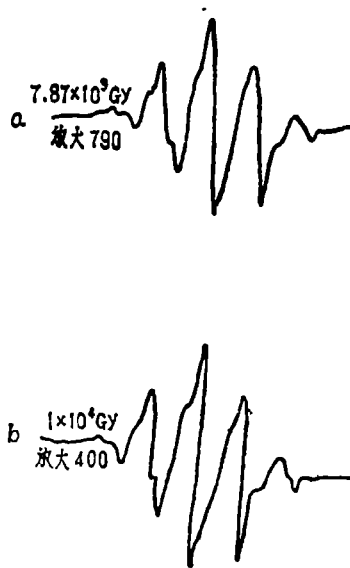


图1 用 ^{60}Co γ 射线(a)和2Mev电子束(b)辐照的丙氨酸样品的ESR谱

Fig. 1 ESR spectra of alanine after radiation with gamma-ray (a) and 2Mev electron beam (b)

未出现饱和现象时,样品受辐照后生成的自由基数目,即未成对电子数,正比于吸收曲线下的面积,即对一阶微分谱求二次积分。若忽略次级效应,ESR谱的超精细结构不随辐射剂量变化。对不同种类的辐射和不同剂量,辐照后的ESR谱线线宽和形状基本一致,因此,相对测量时可用一阶微分谱振幅,即峰到峰的值来表示自由基数目的相对测量值。

3 结果和讨论

3.1 剂量响应曲线

图2为丙氨酸样品用 ^{60}Co γ 辐射源辐照,吸收剂量从1Gy到 10^6 Gy ,单位质量的ESR信号读数增量($\Delta \text{ESR/g}$)与吸收剂量的关系曲线,这条剂量响应曲线分为如下3部分:

3.1.1 探测下限和零剂量 丙氨酸/ESR系统的探测下限决定于样品本身零剂量读数以及由于ESR谱仪稳定性和测量时样品几何位置重复性所引起的零剂量读数的涨落。

目前我们所制备的丙氨酸样品的零剂量读数相当于1到几个Gy的ESR信号读数,因而剂量计存在一定的探测下限。零剂量读数取决于样品的材料及制备工艺。制样过程中应尽量避免。

3.1.2 线性范围 从图2响应曲线可看出,吸收剂量在1Gy- 10^4 Gy范围内,ESR信号幅度随吸收剂量线性增加。在这个线性范围内可用一个被辐照的吸收剂量的标准样品来刻度ESR系统,求出转换系数K, K为单位质量的ESR幅度增量与吸收剂量的转换因子。图2所示数据求出的K值是 $13.8\text{Gy}/(\Delta\text{ESR}/g)$ 。只要测出丙氨酸剂量计的ESR信号幅度变化值 $\Delta\text{ESR}/g$,便可由下式计算出吸收剂量D:

$$D = K(\Delta\text{ESR}/g) = K(\text{ESR} - \text{ESR}_0)/m$$

这里 ESR_0 为零剂量的读数, m为样品的质量。当样品的质量分散性较大时必须对样品进行准确称重。这里还未涉及样品辐照时和贮存期间环境温度、湿度及ESR谱仪稳定性的影响的修正。其实除非在极端特殊的环境和辐照条件下,这些影响引起的误差均在百分之几以下。

3.1.3 饱和区域 从图2可看出,当辐射吸收剂量超过 10^4 Gy时响应曲线呈现非线性,逐渐达到饱和,通过最大值 $(\Delta\text{ESR}/g)_{\text{max}} = 6 \times 10^3$ (在 $\sim 2 \times 10^5$ Gy)后,ESR信号开始减小, 1×10^6 Gy的吸收剂量ESR/g读数为 2.39×10^3 。这是由于高剂量辐射使已生成的自由基复合,因而自由基数目减少。实验中受照剂量高于 1×10^6 Gy的样品变成棕色,并随剂量增加棕色加深。

图3是丙氨酸ESR剂量对2Mev电子束的一段剂量响应曲线,只测定了高剂量段($10^3 \sim 10^5$ Gy)的响应,可看出也有线性部分和饱和区域。

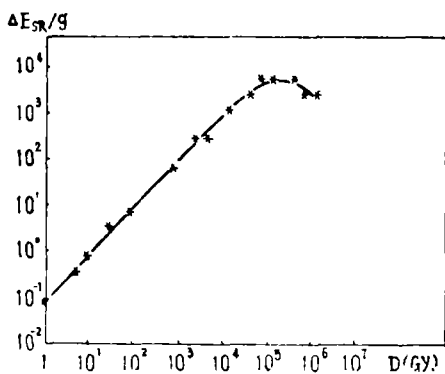


图2 丙氨酸/ESR系统对 ^{60}Co γ射线的剂量响应曲线

Fig. 2 Dose-response curve of alanine/ESR system. Irradiation with gamma ray

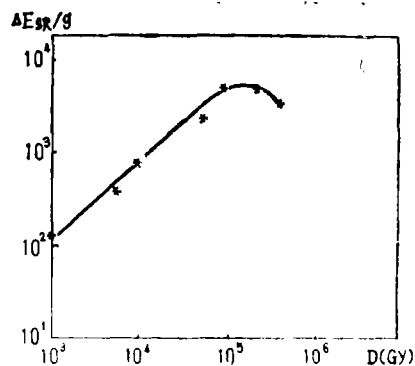


图3 丙氨酸/ESR系统对2Mev电子束的一段剂量响应曲线

Fig. 3 Dose response curve of alanine/ESR system. Irradiation with 2Mev electron beam

3.2 D_{37} 特征剂量

丙氨酸ESR剂量计对 γ 射线的剂量响应曲线线性部分倾斜角近乎 45° ，斜率为1。并且辐射响应与剂量率无关。本实验中曾用过30.4、453、1535和30582Rad/min几种不同剂量率辐照样品，均不影响辐射的剂量响应。因此，按微剂量学的靶学说和击中理论，丙氨酸ESR剂量计是一种理想的一次击中探测器。图2所示对 γ 射线的剂量响应曲线可用泊松分布函数表示，反映灵敏单元被击中的几率分布按方程：

$$(\Delta ESR/g) = (\Delta ESR/g)_{\max}(1 - e^{-D/D_{37}})$$

拟合实验数据，得 $D_{37} = 8.5 \times 10^4 \text{Gy}$ ， D_{37} 特征剂量表征介质受辐射作用的灵敏度。

3.3 贮存环境湿度对剂量响应的影响

样品贮存环境湿度对剂量响应有较大影响，本实验将几个受不同剂量辐照的样品裸放在100%湿度的环境下，随贮存时间的增长，ESR信号减小。表1列出了ESR(t)/ESR(0)相对值。8*样品用塑料管封装保存，其ESR谱幅度几乎不变，几个样品贮存时均有避光。因此，一方面要注意到环境湿度对辐射响应的影响，但另一方面只要对样品加以封装保存便可忽略环境湿度的影响。

表1 样品贮存环境湿度的影响

tab. 1 Effect of relative humidity during storage

样品	剂量(Gy)	贮存条件	ESR(t)/ESR(0)	
			45.5小时	109小时
P_4	7.80×10^1	未包装	0.86	0.73
P_5	1.38×10^4	100%湿度	0.86	0.71
T_9	9.50×10^4		0.84	0.71
8*	1.00×10^5	塑料管封装	1.02	1.01

3.4 光照影响

本实验将几个受不同剂量的 γ 辐照过的丙氨酸样品放置在日光下，经过不同时间测量样品的ESR信号幅度，图4为所测得的变化曲线，4个样品的ESR信号幅度随时间的变化规律相似，开始有明显的减小，这是辐射产生的自由基的光衰退现象，自由基复合或衰变，同时，紫外线也会产生自由基，所以在长期光照下会趋于某个稳定值。正因为光照会引起自由基的产生，因此，光照影响的另一方面会使未辐照的丙氨酸样品的零剂量增加，本实验将44*和45*两个未辐

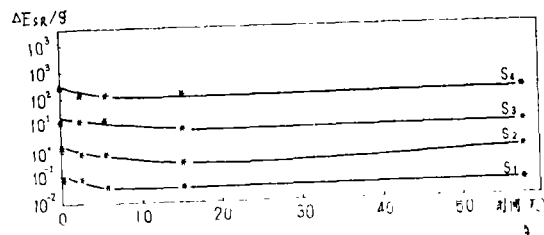


图4 受不同剂量 γ 辐照的丙氨酸样品放置日光下，自由基浓度随时间的变化。(S₁, S₂, S₃和S₄辐照剂量分别为 $1 \times 10^1 \text{Gy}$, $1 \times 10^3 \text{Gy}$, $1 \times 10^4 \text{Gy}$ 和 $1.64 \times 10^5 \text{Gy}$)

Fig. 4 Relative light fading of free radical concentration in alanine samples with time. Four alanine samples irradiated with gamma-ray to different dose levels

照的丙氨酸样品放置在日光下, 10天后 ESR 信号幅度增加约2.5倍。零剂量的增加直接影响到丙氨酸剂量计的探测下限, 因此, 在样品的制作、辐照及保存过程中均应尽量避免光照。

丙氨酸ESR剂量计具有体积小、稳定、ESR测量精度高、线性范围宽(对 γ 射线 $1 \sim 10^4 \text{Gy}$), 是一种良好的传递剂量计。此外, 它还具有生物等效性好, 能重复测量而不会损失信息, 这对于放射医学和放射生物学的应用是其它剂量计所不能比拟的。

本丙氨酸剂量计的剂量响应是一近乎 45° 的直线, 且与剂量率无关, 是微剂量学研究中一种理想的一次击中探测器, 其特征剂量 $D_{37} = 8.5 \times 10^4 \text{Gy}$ 。

丙氨酸剂量计对湿度较灵敏, 光照也有一定影响。因此, 使用和保存时要注意封装和避光。

ESR谱的测量得到廖曦的帮助, 电子辐照得到朱永亮、赵资智的支持。

参 考 文 献

- [1] M. L. Randolph and D. L. Farish., (*Abstract*)*radiation Research*, 11 (1959), 462
- [2] W. W. Bradshaw et al. *Radiation Research*, 17(1962), 11.
- [3] U. Deffner and D. F. Regulla, *Nucl. Instru. Meth*, 75(1980), 134.
- [4] D. F. Regulla and U. Deffner, *Int. J. Appl. Radiat. Isot.*, 33,(1984), 1101.
- [5] D. F. Regulla and U. Deffner, *radit. phys. Chem.*, 22(1983), 305
- [6] J. W. Hansen and K. J. Olaen, *Radiation Research*, 104(1985), 15.

Radiation Dose Characteristics of Alanine ESR Dosimeter

Luo Daling Li Mianfeng Zhang Chunxiang Li Chenshui

Abstract

The alanine ESR dosimeter is a new dosimeter which is used for measuring absorbed dose based on the quantitative evaluation of radiation induced free radicals by electron spin resonance spectrometer. The dose-responses of alanine for gamma-ray and for 2 Mev electron beam have been determined with ESR spectrometer of Model JES FEIXG. The zero dose reading, the lowest detection limit, the linearity and saturation regions of dose-response curves, and the effect of relative humidity during storage have been investigated. Meanwhile the D_{37} value has been given.

Keywords alanine ESR dosimeter, dose-response curves, characteristic dose D_{37}