

【论著】

生物干样 γ 能谱测量中密度对全能峰效率的影响研究

张 京 徐翠华 李文红 赵 力 拓 飞

中图分类号: R144 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2011)04-0385-02

【摘要】 目的 研究 γ 能谱直接测量生物干样时全能峰效率随密度的变化关系。方法 对 GC3018 型低本底高纯锗(HPGe) γ 能谱仪配备的 LabSOCS 软件进行实测验证后,模拟计算各参数变化对效率的影响。结果 对生物干样介质测量时,HPGe γ 能谱仪全能峰效率随样品盒材料的密度及样品装样密度增加而呈指数递减。结论 由变化关系的拟合函数可快速对不同质量实际样品的效率差别进行校正,从而满足核事故应急情况下生物样品中 γ 放射性核素快速检测的需求。

【关键词】 全能峰效率; LabSOCS; 生物样品; γ 能谱

Research of Peak Efficiency Influencing Factor Corresponding with Density During Analysis of Dry Biological Sample by Using γ -spectrometry. ZHANG Jing, XU Cui-hua, LI Wen-hong, ZHAO Li, TUO Fei. *National Institute for Radiological Protection, China CDC, Beijing 100088 China.*

【Abstract】 Objective To study the influencing factor of peak efficiency during analysis of dry powder biological samples by using gamma spectrometry. **Methods** Measurement of radionuclides were carried out with GC3018 low background high purity germanium (HPGe) γ spectrometer. LabSOCS software was used for simulation after validated by calibration source. **Results** Peak efficiency of low-background HPGe γ spectrometer decreased exponentially with the increased density of sample box and sample material. **Conclusions** Based on fitting functions, a correction factor of efficiency for different mass of samples can be obtained quickly. It can meet the need for rapid determination of γ -emitting radionuclides in biological samples during nuclear emergency.

【Key words】 Peak Efficiency; LabSOCS; Biological Sample; γ -Spectrometry

γ 能谱测量作为非破坏性的样品分析手段之一,具有分辨率好、测量精度较高等优势,在低水平放射性测量中有着广泛的应用。它对应的生物样品预处理过程一般有样品粉碎(切碎)直接装盒进行 γ 能谱测量,样品干燥研磨成干样后装盒 γ 能谱测量,样品炭化、灰化后再进行测量 3 种。采用灰化法进行样品预处理时,对原始样品可起到显著的浓缩效果,故一般可达到较低的探测下限,但其处理流程花费时间较长,且受实验场所特殊要求的限制,一些实验室无法开展灰化等工作。此外,如待分析样品中含有放射性碘等一些易挥发核素时,不宜采用灰化法进行样品预处理。为了适应核事故应急监测快速分析的需要,有必要进一步研究生物样品的快速预处理手段。近年来随着高效率、高分辨低本底高纯锗(HPGe) γ 能谱仪的大量普及应用,采用 HPGe γ 能谱分析时已可以将样品粉碎后直接压样装入样品盒中进行测量^[1-3]。国际原子能机构(IAEA)在 2008~2010 年期间研制菠菜、三叶草、鱼骨等一些生物样品标准物质时(IAEA-330, RS-IAEA-156, RS-IAEA-372)将样品采集后进行风干、冷冻干燥等预处理后,再粉碎,均匀检验合格后直接装样进行 γ 能谱分析测量。我国标准也有类似规定^[4],有的样品需要进一步灰化浓缩后才能测量,而有的可不灰化直接进行测量。国家标准推荐的方法表明,可将不能直接测量的鲜样粉(搅碎),进行冷冻干燥或放入清洁搪瓷盘内置于烘箱中,将烘干后的样品粉碎后或研磨后直接装样测量,有的样品可压缩成一定形状后再转入测量样品盒中作 γ 谱分析。因此,有必要研究经干燥预处理后生物样品 γ 能谱测量中的相关影响因素,作为其中内容之一,笔者研究了 γ 能谱测量生物干样时,全能峰效率随样品盒密度和样品密度的变化关系。

1 材料与方法

1.1 样品 由于菠菜和茶叶对放射性物质有着很强的吸附能力和浓集能力。本工作以菠菜、茶叶为典型代表进行装样质量变化研究。所用菠菜样品采集送到实验室后,先进行整理,将选取的可食部分摊铺。自然风干,然后摊在搪瓷盘上,置烘箱中 80℃ 左右烘干 12h。粉碎研磨到粒度 0.3mm 以下,均匀后过筛。茶叶干样直接粉碎、研磨,均匀过筛。然后采用专门加工的有机玻璃压样托,将粉末样分层均匀压入样品盒,以盒内紧密分布无空隙为原则。标准样由中国计量科学研究院制作测试,证书编号: Dyhd2010-0366,活度参考日期:2010 年 3 月 5 日。

1.2 样品盒 装样采用直径 75mm 高 50mm 样品盒,材料为透明聚乙烯,盒外高: $H=50\text{mm}$,盒内径: $\Phi=75\text{mm}$,盒底厚: $t_1=1.0\text{mm}$,盒壁厚: $t_2=1.5\text{mm}$ 。选取 7 类密度变化范围为 $0.84\text{g/cm}^3 \sim 1.60\text{g/cm}^3$ 的材料。选取粉末状生物样品干样的装样质量变化范围为从 50g 至 200g。

1.3 测量系统 低本底高纯锗 γ 能谱仪系统产于美国 CANBERRA 公司。探测器为 P 型同轴高纯锗(型号 GC3018),它对 ^{60}Co 1332keV 能量分辨率为 1.8keV,其相对探测效率 30%。电子学系统采用 DSA 2000,整个探头置于壁厚 10cm,内腔大小为 $60\text{cm} \times 60\text{cm} \times 60\text{cm}$ 的复合屏蔽铅室内,探测器积分本底为 1.21cps(30 keV ~ 2000keV)。软件系统包括 Genie 2000 谱分析软件。

1.4 模拟软件 模拟中使用的无源效率刻度软件为美国 Canberra 公司的 LabSOCS (Laboratory Sourceless Calibration Software) 软件,版本为 4.1a。软件包含 GC 3018 高纯锗探测器的特有表征参数(表征编号为 9040),它能够在不用放射源的情况下进行较为精确的效率刻度,谱分析软件为 Canberra 公司的 Genie 2000 Gamma Acquisition & Analysis,版本为 V3.0b。

2 结果

2.1 LabSOCS 验证 为了验证 LabSOCS 软件的有效性,首先采用生物样品标准刻度源进行了 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 对应能量实际刻度,得到实测刻度结果后,再将 LabSOCS 模拟计算结果与实测

基金项目: 公共卫生专项资助(503008-0108)

作者单位: 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所,北京 100088

作者简介: 张京(1960~),男,北京市人,副主任技师,研究方向: 辐射检测与评价。

通讯作者: 拓飞, E-mail: flytuo@163.com

刻度结果进行了比较(见表 1) ,其中 ε_1 表示采用传统方法由生物样品标准刻度源进行刻度的效率结果 , ε_2 为用 LabSOCS 方法进行刻度的结果。

表 1 实际刻度的效率结果与模拟结果比较

核素	能量(keV)	ε_1 (传统方法刻度)	ε_2 (LabSOCS)	$\varepsilon_1/\varepsilon_2$	$(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)/\varepsilon_1$
^{137}Cs	661.7	1.834E-02	1.786E-02	1.03	-2.6%
^{60}Co	1 173.2	1.107E-02	1.114E-02	0.99	0.6%
^{60}Co	1 332.5	1.004E-02	1.011E-02	0.99	0.7%

2.2 效率与样品盒材料密度关系 样品盒材料、密度的差异变化对应 γ 射线吸收情况不同 , ^{241}Am 、 ^{137}Cs 和 ^{40}K 这 3 个常用

核素对应的能量 ,分别为 59.5keV、661.6keV、1 460.75keV。选取它们对应的能量分别代表低、中、高能 γ 射线 ,进行 γ 射线对样品盒材料、密度吸收情况的研究。在样品盒大小、装样密度不变的前提下 ,通过逐步增加样品盒材料密度 ,观察各核素对应效率的变化趋势。得到效率与样品盒材料密度对应关系见表 2。

2.3 效率与样品密度关系 在样品盒大小、材料密度不变的前提下 ,通过逐步改变样品装样密度 ,观察各核素对应效率的变化趋势 ,得到效率与样品密度对应关系。对直径 75mm 高 50mm 规格的样品盒 ,生物干样装样质量从 50g 至 200g 变化

表 2 不同材料样品盒对应的 ^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K 效率

核素	样品盒密度(g/cm ³)						
	0.84	0.87	0.90	1.06	1.20	1.40	1.60
^{241}Am	2.91E-02	2.91E-02	2.91E-02	2.90E-02	2.88E-02	2.86E-02	2.84E-02
^{137}Cs	1.72E-02	1.72E-02	1.72E-02	1.72E-02	1.71E-02	1.71E-02	1.70E-02
^{40}K	9.23E-03	9.23E-03	9.23E-03	9.22E-03	9.20E-03	9.18E-03	9.16E-03

可得介质中 ^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K 效率与样品密度的关系分别如图 1、图 2 和图 3 ,图中分别给出了各核素对应能量的全能峰效率的实验值和指数拟合关系式。

3 讨论

比较 LabSOCS 模拟计算结果与实测刻度结果 ,可以看出两者的相对偏差小于 3%。这验证了 LabSOCS 计算的可靠性 ,其可以满足常规放射性测量中刻度的要求。因而 ,将其应用于生物干样 γ 谱仪测量分析中 ,通过模拟计算一些参数变化对结果的影响 ,可为实验设计、材料选用等提供参考 ,大大减少了实验工作量。从文中结果可以看出 ,当样品盒材料密度从 0.84 增加至 1.60 g/cm³ , ^{241}Am 、 ^{137}Cs 、 ^{40}K 效率对应效率分别降低 2.4%、1.2%、0.8% , γ 射线能量越低 ,自吸收越严重 ,随能量增大 ,自吸收逐渐变弱。对于直径 75mm 高 50mm 规格的样品盒 ,装样密度从 0.23g/cm³ 变化至 0.93g/cm³ , ^{241}Am 、 ^{137}Cs 和 ^{40}K 效率分别降低 23.1%、11.2% 和 7.9%。因样品盒确定后 ,效率与密度的变化关系转化为效率与装样质量的关系。生物干样的主要元素组成基本相同 ,在测量中将不同样品归类 ,如能得到每类样品对应的拟合函数后即可快速、方便的对不同质量实际样品的效率差别进行校正。在核事故应急情况下 ,可以实现生物样品中放射性核素的快速、准确测量。

参考文献:

- [1] International Atomic Energy Agency. Certified reference material IAEA - 372 , Radionuclides in grass [R]. IAEA Environment Laboratories , Reference Sheet , March 2010.
- [2] International Atomic Energy Agency. Certified reference material IAEA - 330 , Radionuclides in spinach [R]. IAEA Environment Laboratories , Reference Sheet , May 2009.
- [3] International Atomic Energy Agency. Certified reference material IAEA - 156 , Radionuclides in clover [R]. IAEA Environment Laboratories , Reference Sheet , January 2000.
- [4] GB/T 16145 - 1995 生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法[S].

(收稿日期:2011 - 09 - 02)

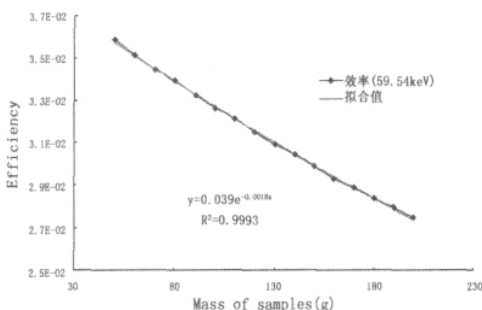


图 1 生物介质中 ^{241}Am 效率与样品密度关系

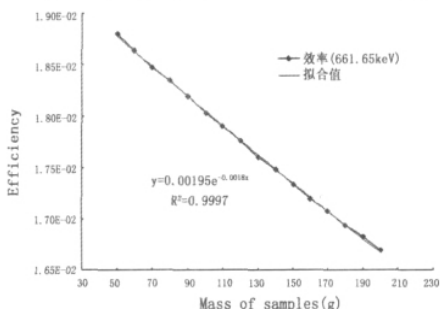


图 2 生物介质中 ^{137}Cs 效率与样品密度关系

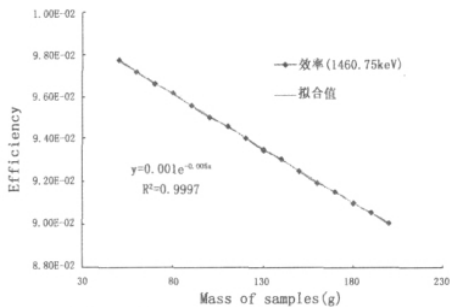


图 3 生物介质中 ^{40}K 效率与样品密度关系

欢 迎 投 稿 欢 迎 订 阅