

给出  $10^{\#}$  样品 7 次测量结果及其偏差、准确度和精密度。表 2 可看出 7 次测量的不准确度  $<14\%$ ，精密度对 U、Th、K 均优于  $6.5\%$ ， $^{137}\text{Cs}$  为  $18\%$ 。

### 五、讨 论

1. 由于  $^{137}\text{Cs}$  的  $0.662\text{Mev}$  峰与  $0.609\text{Mev}$  ( $^{214}\text{Bi}$ ) 和  $0.583\text{Mev}$  ( $^{208}\text{Tl}$ ) 峰的部分重叠及多种高能  $\gamma$  射线的 Compton 连续谱的干扰，是  $^{137}\text{Cs}$  分析精确度劣于其他几种核素的主要原因。Th 分析的误差主要取决于计数的统计误差。

2. 从表 1 可以看出样品中 Th 含量的增加对 U 含量的分析基本上没有影响，这比选择  $0.352\text{Mev}$  峰作为 Th 特征峰和  $0.093\text{Mev}$  峰作为 U 特征峰的分析有明显改进。

3. 特征能区的精心选取对提高分析灵敏

度、精确度有明显影响。例如，当我们将 Th、U、 $^{40}\text{K}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  各特征能区分别减少到  $2.505-2.733\text{Mev}$ 、 $1.682-1.810\text{Mev}$ 、 $1.399-1.527\text{Mev}$  及  $0.631-0.695\text{Mev}$  后，用同样方法进行分析(所得部分结果列于表 1 括弧内)，从结果可以看出，这种选取使得铀的分析精确度明显提高。

4. 在刻度谱仪及测量样品时，应保持谱仪的可靠性和稳定性，这对于保证分析结果的精确度是十分重要的。在本实验的过程中，因为环境温度变化引起谱仪的零点和增益漂移未作修正，也是该实验误差来源之一。

### 参 考 文 献

- [1] PG Report 312 (W), 1962 UKAEA.  
[2] "Environmental Radioactivity Surveillance Guide", U. S. Environmental Protection Agency Report ORP/SID 72-2 (1972).

## 天然铀的水平 and 危害

马玉琴 陈玉敏 于明珠 王锦兰

(中国科学院生物物理研究所)

天然铀是既有化学毒性又具有辐射损伤的双重危害元素。除核工业排放大量铀之外，矿藏开发、煤炭、化肥、冶金和核电站也都向周围环境释放铀。因而，环境中铀的水平不断升高，危害人体健康。

### 一、天然铀的辐射特性

天然铀的辐射类型主要是放出  $\alpha$ -射线及微弱的  $\gamma$ -射线，在天然铀的衰变链中，不少铀的子体放出  $\beta$ -射线。铀的辐射损伤是摄入体内所产生的内照射，而外照射通常只占容许剂量的十分之一到百分之一。

### 二、天然铀的水平

铀是多价态的放射性元素 (+3、+4、

+6)，水化学性质十分活泼。在自然界分布很广，它含于岩石、水和各种生物体中。

#### 1. 岩石中的铀

大多数岩石和土壤中含铀，含量见表 1。土壤中铀的含量为  $1 \times 10^{-5}-1.8 \times 10^{-4}\%$ ，平均为  $n \times 10^{-5}\%$ ，比地壳平均含量低得多<sup>[1]</sup>。

表 1 各种岩石中天然放射性元素平均含量

岩石类型	$^{226}\text{Ra}$ $10^{-12}\text{g/g}$	$^{238}\text{U}$ $10^{-6}\text{g/g}$	$^{232}\text{Th}$ $10^{-6}\text{g/g}$	$^{40}\text{K}$ $10^{-2}\text{g/g}$
岩浆岩	1.3	4.0	12.0	2.6
沉积岩: 砂岩	0.71	1.2	6.0	1.1
页岩	1.08	1.2	10.0	2.7
石灰岩	0.42	1.3	1.3	0.27

#### 2. 天然水中的铀

湖泊水由于逕流迟缓流动性小，加上蒸发浓缩作用，铀通常处于较高水平，平均 4.0 微克/升；浅井水含碳酸盐，极易生成可溶性络合物使铀溶解，测得铀的平均含量为 3.8 微克/升，接近湖泊水铀的水平。深井水铀多以难溶盐形式存在，含量甚微。

### 3. 化肥和腐肥中的铀

在磷肥生产工艺中，铀从矿石转入肥料。由表 2 可见，个别磷肥中铀达到 170ppm，高于美国佛罗里达州的磷酸岩含铀量 120ppm。腐肥成品肥含铀量为 15ppm，低于磷肥水平。

表 2 化肥中铀含量

测量内容	磷 肥	腐 钠	尿 素	硫 胺
总α强度 Ci/g	$1.7 \times 10^{-12} - 6.9 \times 10^{-11}$	$3.6 \times 10^{-12}$	$2.5 \times 10^{-13} - 1.1 \times 10^{-12}$	$2.5 \times 10^{-13}$
Uμg/g	0.13—170.0	15.0	未 检 出	未 检 出

### 4. 煤中的铀

借助于腐植酸和其他有机高分子的络合作用，在成煤过程中造成铀的富集。风化煤铀含量为  $4.2 \times 10^{-4}\%$ ，褐煤  $2.0 \times 10^{-4}\%$ ，而泥煤为  $1.4 \times 10^{-4}\%$ 。

### 三、铀在体内的分布和聚集

早在四十年代末 Vorglin 用铀的化合物给大白鼠做静脉注射，发现铀迅速分布到全身。六价和四价铀在骨内聚集极为类似，而在尿中的分布明显不同。（见图 1）。

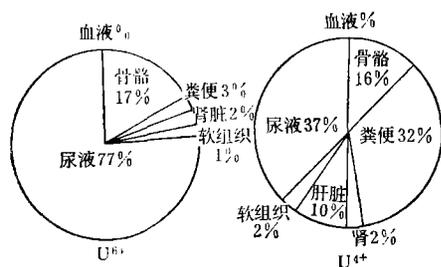


图 1 处方后 40 天铀在体内的分布

图 1 为处方后 40 天，有 70—80% 的铀从体内排出，残留下来的铀聚集在骨中。可溶性天然铀，对肾脏的化学毒害比其他脏器严重；不可溶性天然铀主要沉积在肺和胃肠中，造成辐射损伤。

### 四、对天然铀危害的估计

目前环境中铀的污染来源和水平出现了某种程度的增加，对可能产生的危害分析如下：

1. 个别水源中天然铀的含量较高，且有富集趋势。

受铀的地理分布和污染来源的影响，个别水源中铀的含量较高。由表 3 可知，气-19 井铀的含量达到 13.6 微克/升，相当于同一地区井水铀的 10 倍；又如 68# 井铀的最高含量为 9.4 微克/升，按该值计算平均每人每年由饮水摄入体内的铀量达到几毫克。

表 3 铀含量偏高的几个水源

铀含量 μg/g	1# 水库	气 19# 井	68# 井	泉 1# 井
极值	1.3—2.91	9.7—15.0	1.1—9.4	1.1—10.0
均值	7.64	13.6	2.54	4.8

### 2. 天然铀向食物链转移

由于天然铀存在于水、土壤和化肥中，因此通过自然循环铀可能转移到人体和食物中。表 4 列出主要谷物中铀的含量。除大米外铀水平大致与文献值相近。为了查明天然铀由环境向食物链的转移情况，我们观察了大米中铀和种植区水及土壤的关系。由图 2

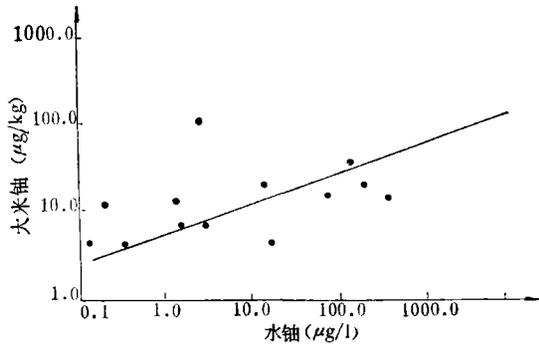


图 2 大米中铀含量和灌溉水铀的关系

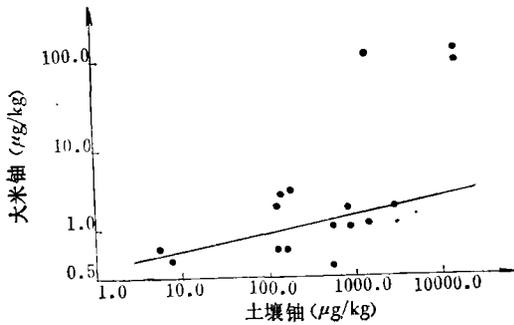


图 3 大米中铀含量和土壤铀的关系

和图 3 不难看出：大米中天然铀的含量随着水和土壤中铀水平的升高而增加，且呈直线关系。

表 5 给出在含铀量较高的库水中饲养的鱼体内天然铀的含量，从所列数据不难看出铀向食物链的转移情况。

表 4 几种主要谷物中天然铀的含量

样 品	总 α 强度(居里/公斤)	铀含量 μg/kg
高 粱	1.1--3.6×10 <sup>-11</sup>	<0.01
玉 米	1.4--2.0×10 <sup>-11</sup>	0.01--1.14
小 米	~2.0×10 <sup>-11</sup>	0.01--1.14
大 米	~9.9×10 <sup>-10</sup>	0.01--50.0

### 3. 开展天然铀对蛋白质和酶作用机制的研究

表 5 鱼体内天然铀的含量

样品种类	样品数(尾)	铀含量 μg/kg (鲜)	
		调查点	对照点
鲤 鱼	5	2.20	1.42
鲢 鱼	8	2.75	2.20

在体外，U<sup>+6</sup>牢固地和许多蛋白质的羧基结合而沉淀，但这种结合不会使蛋白质发生变性作用；U<sup>+4</sup>和—SH 基有较大的亲和力，因而使蛋白质变性。在体内 U<sup>+6</sup> 进入血液后输送到肾脏。当尿中 pH 值变得更酸时，重碳酸盐被肾小管上皮细胞吸收并进入到近端曲管的远端部份时，当重碳酸盐的量足以使铀处于可溶的复合体状态，于是铀就同细胞表面的蛋白质膜结合，到一定的程度这种细胞就会死亡脱落。此时尿中出现过氧化氢酶。这是铀中毒早期很敏感的指标。因此进一步研究天然铀对蛋白质和酶作用机制，将有助于防止铀危害人体健康，对铀中毒做到早期诊断和治疗。

## 五、结果和讨论

综上所述，天然铀在自然环境中分布广泛，铀的检出率在 90% 以上。因此在进行环境质量评价时，天然铀的水平 and 监测是不容忽视的。尤其是随着采煤、化肥和开矿工业的发展，使天然铀暴露于地表，通过雨水冲刷和地下水的淋滤作用，造成水源中铀水平的升高。我们的实验结果表明，大米中天然铀的含量主要取决于灌溉水中铀的水平。在铀含量颇高的库水中，鱼体内也发现了铀。因此，我们建议将天然铀列入常规的环境监测项目。

## 参 考 文 献

[1] 马雷编,放射卫生学(II),第二版 10 页,人民卫生出版社,1964 年。