

表 1 分析方法、测量仪器、灵敏度

分析项目	分析方法	测量仪器	灵 敏 度
U	HNO ₃ -H ₂ O ₂ 分解,乙酸乙酯萃取,固体荧光法测定	WYG-1.1 光电荧光光度计	$2.30 \times 10^{-5} \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
Th	Na ₂ O ₂ 碱熔,分光光度法测定	72 型光电分光光度计	$0.061 \times 10^{-6} \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
²²⁶ Ra	Na ₂ O ₂ -NaOH 碱熔 Ba(Ra)SO ₄ 共沉淀富集,射气闪烁法测定	FD-125 室内氡钍分析器	$2.17 \times 10^{-13} \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$
⁴⁰ K	王水分解,火焰光度计测定	630 型火焰光度计	$0.5 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$
⁹⁰ Sr	发烟硝酸法	FJ-2600 低本底 α/β 测量仪	$0.0167 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$
¹³⁷ Cs	KCFC 吸附法	FJ-2603 低本底 α/β 测量仪	$0.062 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$
总 β	直接铺样制源	FJ-2600 低本底 α/β 测量仪	$0.106 \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$

再称重、粉碎、缩分、过筛(200目)。过筛之土样称重后在 450℃马福炉中灼烧 8 h,放凉后装入干净的磨口玻璃瓶中,备用。

分析方法、测量仪器和灵敏度情况见表 1。表 1 中的灵敏度是对大米样品而言的,显然,这对于测定土壤样品无疑是完全能够满足的。

结 果 与 讨 论

本实验将每个样品平行分析 2—4 份,取其均值;测定了 35 个样品的 U、Th、²²⁶Ra、⁴⁰K 和总 β 的实测值及其均值,还测定了 6 个样品的 ⁹⁰Sr 和 ¹³⁷Cs 的实测值及其均值,结果见表 2 和表 3。

我们对表 2 所列实测值进行了数理统计处理,由此探讨稻田土壤放射性的存在特点及其有关的规律性。

(一) 各组放射性水平的一致性检验

表 4 列出了根据表 2 数据计算的平川(A组)、丘陵(B组)和山地(C组)三个组放射性水平的均值及标准差。按水平数为 3(三个组),重复数(即样品数)不等,效应为固定模型的单因素方差分析方法^[1],对其进行一致性检验。计算求得的检验统计量 F 与 χ^2 值也列入表 4。

从表 4 看出,除 ⁴⁰K 的 $F > F_{0.05}$ 外,其余的都是 $F < F_{0.05}$;除 ⁴⁰K 外,U、Th、²²⁶Ra 和总 β 在 A、B、C 三组的放射性均值都相一致。由于 $F(\text{总 } \beta) < F(\text{U}) < F(\text{Ra}) < F(\text{Th}) < F(\text{K})$,所以放射性核素在三组相一致的程度依次为 $^{40}\text{K} < \text{Th} < ^{226}\text{Ra} < \text{U} < \text{总 } \beta$ 。除 $\chi^2(\text{Th}) > \chi^2_{0.01}$ 外,其余方差检验的统计量都是 $\chi^2 < \chi^2_{0.01}$;即当 $\alpha = 0.01$ 时,除 Th 的方差各组非齐性外,其它的都是方差齐性。

(二) 放射性核素含量的频度分布

通过分布假设的正态性或対数正态性的 W 检验表明,当 $\alpha = 0.05$ 时,U、²²⁶Ra 和总 β 的放射性含量的频度都服从正态分布;⁴⁰K 服从対数正态分布;而 Th 既不服从正态分布也不服从対数正态分布(见图 2、图 3)。基于频度分布的研究,样本的特征统计量,除对放射性含量都给出了算术均数($\bar{X}$)和标准差(S)外,对 ⁴⁰K 还给出了几何均数和几何标准差。(在数据处理中,我们近似按正态分布处理)。

(三) 总体参数 μ 和 σ 的区间估计

计算求得的总体参数 μ 和 σ 的 95% 置信区间列入表 5。

(四) 放射性水平的地理分布

表 2 稻田土壤中 U、Th、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 、总 β 实测值* ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)

样品号	采样地址	U	Th	^{226}Ra	^{40}K	总 β
82 A-1	天 堰	3.04 ± 0.00	6.02 ± 0.8	28.0 ± 0.6	95.7 ± 2.4	831 ± 16
-2	段家坝	5.39 ± 1.02	56.1 ± 1.6	30.4 ± 0.4	112.3 ± 2.9	490 ± 20
-3	东 风	7.36 ± 0.52	39.0 ± 0.8	26.6 ± 1.7	79.2 ± 2.0	730 ± 16
-4	新沟桥	12.53 ± 0.04	63.8 ± 0.0	31.4 ± 3.1	145.6 ± 3.7	1006 ± 20
-5	新民寺	11.41 ± 1.44	60.6 ± 1.2	30.7 ± 0.2	173.5 ± 4.5	1078 ± 20
-6	武 乡	6.23 ± 0.28	48.0 ± 2.0	30.1 ± 0.8	79.4 ± 2.0	760 ± 16
-7	文 川	3.61 ± 0.37	41.9 ± 1.6	26.2 ± 1.5	85.9 ± 2.9	733 ± 16
-8	团 结	10.37 ± 1.21	58.6 ± 0.4	31.2 ± 0.4	118.8 ± 4.9	887 ± 18
-9	南坎营	8.89 ± 0.49	45.1 ± 1.2	25.5 ± 1.3	93.5 ± 3.1	824 ± 17
-10	贯 溪	11.61 ± 1.97	59.0 ± 0.4	29.6 ± 0.9	90.7 ± 3.0	790 ± 16
-11	谢 村	7.21 ± 0.59	61.0 ± 3.3	32.7 ± 1.0	172.1 ± 5.7	925 ± 19
-12	杨 河	10.08 ± 1.19	53.7 ± 0.0	34.9 ± 0.9	151.6 ± 3.3	959 ± 19
-13	板 桥	11.42 ± 0.33	51.2 ± 0.0	19.6 ± 0.3	104.2 ± 3.5	882 ± 18
-14	马家咀	10.34 ± 0.00	50.4 ± 2.4	20.8 ± 0.2	82.6 ± 1.8	841 ± 18
-15	周家坪	10.70 ± 0.86	49.6 ± 0.4	26.4 ± 1.2	138.4 ± 2.6	862 ± 18
-16	安 坎	7.48 ± 0.71	52.5 ± 1.2	28.5 ± 0.4	96.9 ± 2.1	809 ± 16
-17	新 集	11.41 ± 0.57	56.9 ± 0.4	36.5 ± 1.0	139.2 ± 3.0	957 ± 18
-18	团 结	7.09 ± 0.58	40.7 ± 2.8	19.3 ± 0.5	161.6 ± 3.5	791 ± 16
82 B-19	两河口	11.20 ± 0.28	36.2 ± 0.0	23.7 ± 0.6	113.4 ± 2.1	531 ± 14
-20	铜钱坝	8.60 ± 0.49	53.7 ± 0.4	32.0 ± 0.2	198.5 ± 3.7	1188 ± 21
-21	阜 川	10.78 ± 0.07	55.7 ± 0.4	27.7 ± 1.5	168.7 ± 3.1	1040 ± 19
-22	许家庙	8.33 ± 0.32	57.7 ± 2.0	40.7 ± 2.5	138.7 ± 2.6	898 ± 18
-23	盐 井	11.65 ± 1.69	50.8 ± 0.0	22.6 ± 1.1	90.3 ± 1.4	930 ± 18
-24	金 水	7.87 ± 0.84	50.8 ± 0.8	30.2 ± 1.8	216.0 ± 3.5	1023 ± 19
-25	黄家营	7.12 ± 0.59	63.4 ± 0.4	19.4 ± 0.9	284.2 ± 4.6	1153 ± 21
-26	沙 河	6.59 ± 0.52	27.6 ± 0.4	21.9 ± 0.4	96.1 ± 1.5	668 ± 16
-27	白 龙	8.28 ± 1.42	54.1 ± 2.4	25.7 ± 0.9	184.5 ± 2.9	907 ± 17
-28	文 贯	13.44 ± 1.00	52.9 ± 0.0	32.8 ± 0.2	141.5 ± 2.3	971 ± 18
-29	红 茶	11.26 ± 1.14	53.7 ± 3.3	35.1 ± 1.0	175.3 ± 2.8	905 ± 17
-30	高家岭	6.55 ± 0.54	24.8 ± 0.0	14.1 ± 0.4	120.1 ± 1.9	645 ± 15
82 C-31	双 溪	12.10 ± 1.08	59.0 ± 0.0	28.5 ± 0.9	355.6 ± 5.7	1167 ± 22
-32	二 里	5.55 ± 0.00	21.1 ± 0.0	9.2 ± 0.5	118.0 ± 1.9	682 ± 14
-33	五里坝	8.17 ± 0.74	23.2 ± 0.4	14.5 ± 0.2	114.5 ± 2.3	984 ± 19
-34	茅 坪	11.45 ± 1.66	62.6 ± 0.0	29.9 ± 1.2	242.2 ± 3.9	1091 ± 21
-35	五 星	13.17 ± 1.37	54.5 ± 0.4	36.4 ± 2.4	207.1 ± 0.6	997 ± 18
非加权 $\bar{x}\pm S$		9.1 ± 2.7	50 ± 12	27.2 ± 6.9	145 ± 62 $(134.3 \times 1.5)^{**}$	897 ± 152
加 权 $\bar{x}\pm S$		9.11 ± 0.45	51.8 ± 1.5	27.8 ± 1.0	128 ± 7 (126.8×1.4)	879 ± 20

* 表中 kg 指在 105℃ 下烘干之土壤质量

** 带括号数值为几何均值和几何标准差

表 3 稻田土壤中 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 含量的实测值
($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)

样品号	采样地址	^{90}Sr	^{137}Cs
82A-3	东 风	0.75 ± 0.09	3.00 ± 0.09
82A-5	新民寺	7.59 ± 2.76	7.15 ± 0.95
82A-8	闭 结	11.52 ± 3.39	2.82 ± 0.13
82A-10	贯 溪	19.13 ± 4.37	3.84 ± 1.06
82A-12	杨 河	5.10 ± 2.26	4.84 ± 0.09
82A-15	周家坪	8.23 ± 2.87	7.23 ± 2.38
$\bar{x}\pm S$		8.7 ± 6.2	4.8 ± 2.0

表 4 A、B、C 三组的放射性水平及一致性
检验结果 ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)

分析 项目	组 别			检验的统计量	
	A $n_A = 18$	B $n_B = 12$	C $n_C = 5$	F	χ^2
U	8.7 ± 2.9	9.3 ± 2.3	10.1 ± 3.2	0.587	0.940
Th	52.7 ± 7.5	48 ± 12	44 ± 20	1.274	51.49
^{226}Ra	28.2 ± 4.8	27.2 ± 7.4	24 ± 11	0.858	6.490
^{40}K	118 ± 33	161 ± 56	207 ± 100	5.742	2.625
总 β	867 ± 96	905 ± 200	984 ± 135	0.502	7.760

判断界限: $F_{0.05} = 3.295$ $\chi^2_{0.01} = 9.210$

我们将表 2 中 35 个样品的 U、Th、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 的实测值, 都按 $<\bar{x} - 3S$, $=\bar{x} \pm 3S$, $>\bar{x} + 3S$, 分为三个水平组, 并绘制了稻田

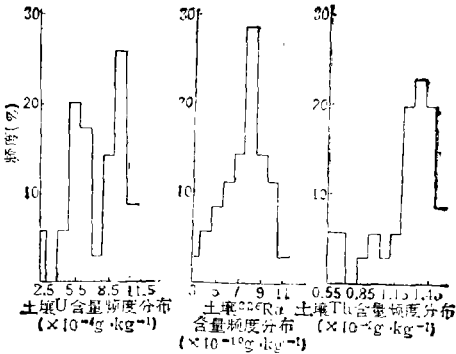


图 2 土壤放射频度分布(1)

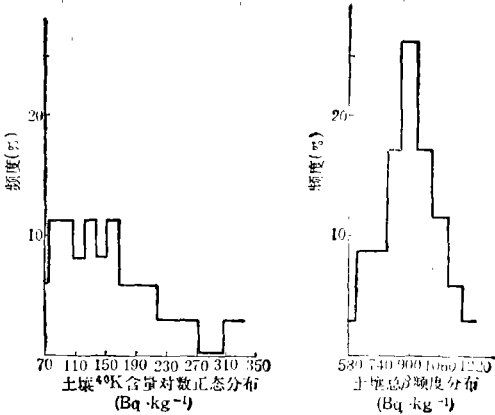


图 3 土壤放射频度分布(2)

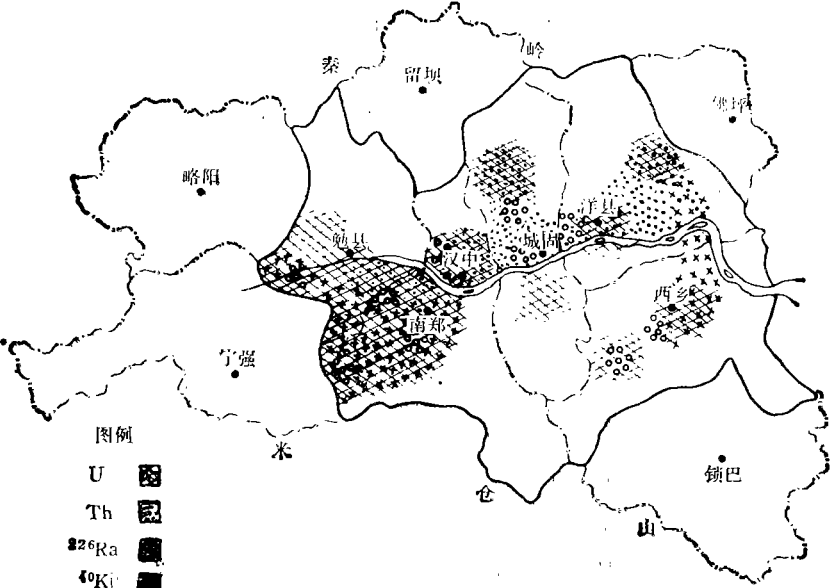


图 4 汉中地区稻田土壤放射性水平地理分布

表 5 总体参数 μ 和 σ 的置信区间

分析项目	$\bar{x} \pm S$	95%置信区间			
		μ		σ	
		LCL	UCL	LCL	UCL
U	9.11 ± 0.45	8.96	9.26	0.36	0.59
Th	51.8 ± 1.5	51.3	52.3	1.2	2.0
^{226}Ra	27.8 ± 1.0	27.4	28.1	0.8	1.3
^{40}K	128 ± 7	126	130	6	9
总 β	879 ± 20	872	886	16	26

土壤, $>\bar{x} + 3S$ 的高水平组 U、Th、 ^{226}Ra 和 ^{40}K 的地理分布图 (图 4)。

从图 4 看出, 在研究的总体内, 西部偏南、东南和汉江以北 U 含量较高; 北边 Th 含

量较高; ^{226}Ra 含量较高的地方比较分散, 基本上都在 U、Th 分布范围之内; ^{40}K 主要分布于西部偏南和东部。与文献**中大米放射性水平的地理分布相比较, 可以看出, 在本底水平条件下, 放射性物质在稻田土壤和大米中的含量看不出有什么规律性的联系。

(五) 本实验结果与外地结果对照

我们比较了本实验与本实验室 Ge(Li)r-能谱分析的西安地区耕地土壤的放射水平^[2]以及地球表层土壤天然放射性核素含量范围^[3], 结果见表 6。由此可看出, 汉中地区稻田土壤的放射性处于本底水平。

表 6 本实验结果与外地结果比较 ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$)

地 区	U	Th	^{226}Ra	^{40}K	总 β	^{137}Cs
本实验结果	9.11 ± 0.45	51.8 ± 1.5	27.8 ± 1.0	128 ± 7	879 ± 20	4.8 ± 2.0
西安地区耕地土壤 Ge(Li)r-谱分析结果	43 ± 13	53.6 ± 3.0	36.3 ± 3.3	688 ± 33	1058 ± 126	5.55 ± 1.85
地球表层土壤含量范围	12.31—55.40	24.4—52.9	30.3—40.7	97.0—419.5	—	—

小 结

1. 汉中地区稻田土壤的放射性水平的算术加数均值 ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$) 为: $\text{U} = 9.11 \pm 0.45$, $\text{Th} = 51.8 \pm 1.5$, $^{226}\text{Ra} = 27.8 \pm 1.0$, $^{40}\text{K} = 128 \pm 7$, 总 $\beta = 879 \pm 20$, $^{90}\text{Sr} = 8.7 \pm 6.2$, $^{137}\text{Cs} = 4.8 \pm 2.0$ 。该地区稻田土壤中的放射性含量在正常本底范围。

2. 总体参数 μ 和 σ 的 95% 置信区间估值 ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$), U: $\mu = 8.96-9.26$, $\sigma = 0.36-0.59$; Th: $\mu = 51.3-52.3$, $\sigma = 1.2-2.0$; ^{226}Ra : $\mu = 27.4-28.1$, $\sigma = 0.8-1.3$; ^{40}K : $\mu = 126-130$, $\sigma = 6-9$; 总 β : $\mu = 872-886$, $\sigma = 16-26$ 。

3. 汉中地区平原、丘陵和山地稻田土壤的放射性水平, 当 $\alpha = 0.05$ 时, 除 ^{40}K 有显著性差异外, U、Th、 ^{226}Ra 和总 β 均无显著性差异。 ^{40}K 的差异可能是由于稻田施 K 肥

的不同而引起。

4. 稻田土壤放射性含量的频度分布, 经正态性和对数正态性的 W 检验表明, 当 $\alpha = 0.05$ 时, U、 ^{226}Ra 和总 β 的放射性含量的频度均服从正态分布, ^{40}K 服从对数正态分布, 而 Th 既不服从正态分布也不服从对数正态分布。

5. 汉中地区稻田土壤放射性水平的地理分布情况是: U 在西部偏南、东部和汉江以北含量较高; Th 在北部含量较高; ^{226}Ra 分布比较分散, 但高含量的分布基本上与 U、Th 是一致的; ^{40}K 在西部偏南和东部含量较高。

参 考 文 献

- [1] 高玉堂, 环境监测常用统计方法, 86 页, 原子能出版社, 1980。
- [2] 庞巨丰等, 中华放射医学与防护杂志, 6, 33(1984)。
- [3] 潘英杰, 环境保护, 4, 24(1985)。