

# 云南省烟区土壤中的放射性核素\*

王文斌<sup>1</sup> 耿建梅<sup>2</sup> 张晓海<sup>3</sup> 王绍坤<sup>3</sup> 袁玲<sup>4</sup> 黄建国<sup>4</sup>

(1 中国热带农业科学院橡胶研究所, 海南儋州 571737)

(2 华南热带农业大学农学院, 海南儋州 571737)

(3 云南烟草科学研究院农业研究所, 云南玉溪 653100)

(4 西南农业大学资源环境学院, 重庆北碚 400716)

## RADIONUCLIDES IN GROWING TOBACCO SOILS IN YUNNAN

Wang Wenbin<sup>1</sup> Geng Jianmei<sup>2</sup> Zhang Xiaohai<sup>3</sup> Wang Shaokun<sup>3</sup> Yuan Ling<sup>4</sup> Huang Jianguo<sup>4</sup>

(1 Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou, Hainan 571737, China)

(2 College of Agronomy, South China University of Tropical Agriculture, Danzhou, Hainan 571737, China)

(3 Agricultural Institute, Yunnan Academy of Tobacco Sciences, Yuxi, Yunnan 653100, China)

(4 College of Resources and Environment, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China)

关键词 烟区土壤; 放射性核素; 云南省

中图分类号 X142 文献标识码 A

核辐射危害人类健康, 是造成多种全身性疾病, 如造血功能障碍、白血病、神经系统疾病和恶性肿瘤等的重要诱因<sup>[1]</sup>。与所有的食品相比较, 烟叶中的天然<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th、<sup>226</sup>Ra 和<sup>137</sup>Cs 等放射性核素含量较高而引起对人体的危害<sup>[2, 3]</sup>。因此, 有效降低烟叶中的放射性核素含量对于保护吸烟者的身体健康至关重要。

土壤是植物放射性核素的直接来源, 土壤中的放射性核素含量主要与成土母质、肥料施用尤其是磷酸肥<sup>[4]</sup>, 以及人工核污染等有关。土壤中的放射性核素通过土壤-植物系统进入食物链, 最终进入人体。研究烟区土壤放射性核素的含量, 弄清它们的主要来源, 对于择土种植、科学施肥、减少放射性核素进入烟草体内, 有效降低烟叶的放射性核素含量有重要意义。为此, 采集了云南省烟叶主产区的土壤样品, 测定了它们的天然放射性核素含量, 以及总α和总β放射性强度, 并根据土壤类型进行了比较研究, 以便了解植烟土壤中的放射性核素含量, 为

有效降低烟叶的放射性核素含量提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤样品采集

根据成土母质、地形地貌, 耕作施肥和烟草栽培历史等因素, 在云南省烟叶主产区确定采样地点, S 法采集耕作层土壤 125 个。其中包括了红壤(41 个)、紫色土(19 个)和水稻土(15 个)三种主要类型的土壤样品, 以研究不同类型土壤中的放射性核素的差异。所采集样品在室内自然风干后, 磨细过 60 目筛备用。

### 1.2 测量仪器和样品测量分析方法

用低本底能谱仪(美国 CANNERRA 公司的高纯锗控探测器)测定土壤中<sup>60</sup>Co、<sup>137</sup>Cs、<sup>40</sup>K、<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th 和<sup>226</sup>Ra 的放射性比活度。探测器对<sup>60</sup>Co 1 332.5 keV 射线的能量分辨率为 2.6 keV, 相对探测效率 30%, 对<sup>137</sup>Cs 的探测下限为 10h 5.8 × 10<sup>-2</sup> Bq, 仪器本底为 1.40 cps。

\* 云南省烟草公司资助项目(00A03)

通讯作者

作者简介: 王文斌(1974-), 男, 助理研究员山西洪洞人, 从事土壤与植物营养学研究工作。E-mail: mywwb@sina.com

收稿日期: 2003-01-31; 收到修改稿日期: 2003-08-11

称取土壤样品 0.500 g, 用浓 HNO<sub>3</sub>-HF-浓 HCl 微波消解法消化<sup>[5]</sup>。消化液定容至 100 ml, 吸取 5 ml 至计数瓶中, 加入 8 ml 闪烁液后, 用 LS-6500 液体闪烁计数器测量样品中的总 α 和总 β 放射性。闪烁液用 8 g L<sup>-1</sup> B-PBD-二甲苯溶液<sup>[6]</sup>, 测量程序用 α、β 低本底计数程序。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤放射性核素含量基本情况

土壤中的放射性核素含量的基本情况见表 1。由于全部土壤样品的 <sup>60</sup>Co 含量均低于 α 能谱仪的探测下限, 故结果没有列出。土壤中的天然放射性核素以 <sup>40</sup>K 含量最高, 平均值为 549.14 Bq kg<sup>-1</sup>, 是土壤中放射性核素的主要成分。土壤中的 <sup>137</sup>Cs、

<sup>226</sup>Ra、<sup>232</sup>Th、<sup>238</sup>U 的平均值依次为 3.64、48.64、56.43、77.77 Bq kg<sup>-1</sup> (表 1), 放射性比活度 <sup>40</sup>K >> <sup>238</sup>U > <sup>232</sup>Th <sup>226</sup>Ra >> <sup>137</sup>Cs。<sup>137</sup>Cs 是一种人工放射性核素, 土壤中的 <sup>137</sup>Cs 主要来源于大气核试验和核事故泄漏所造成的放射性沉降<sup>[7]</sup>, 虽然其在烟区土壤中的含量远低于其他核素, 但仍能够检测到它的存在, 最高值达到 8.72 Bq kg<sup>-1</sup>, 说明人工核试验和核事故所造成的放射性粉尘在本地区有所沉降, 对于土壤环境的影响是存在的。

表 1 还表明土壤放射性核素含量的变异程度较大。相对而言, <sup>137</sup>Cs 和 <sup>238</sup>U 含量变异最大, <sup>226</sup>Ra 的变异程度次之, <sup>232</sup>Th 和 <sup>40</sup>K 的变异程度最小。<sup>40</sup>K 的变异系数相对较小的现象与黄土高原土壤中的核素变异规律一致<sup>[8]</sup>。

表 1 土壤中的放射性核素含量(Bq kg<sup>-1</sup>)

地区	<sup>137</sup> Cs			<sup>40</sup> K			<sup>226</sup> Ra			<sup>232</sup> Th			<sup>238</sup> U		
	平均值	范围	变异系数(%)	平均值	范围	变异系数(%)	平均值	范围	变异系数(%)	平均值	范围	变异系数(%)	平均值	范围	变异系数(%)
红河	2.98	1.42~6.45	46.83	461.57	242~852	38.49	69.16	32.2~159	60.97	74.21	36.4~113	28.15	105.95	19.4~253	62.83
临沧	3.94	1.84~8.17	48.39	654.42	157~1170	41.96	64.42	25.2~126	45.94	85.58	30.1~164	46.98	88.00	29.7~281	77.3
曲靖	4.24	0.913~8.04	43.89	376.95	207~864	40.05	47.61	24~85.9	30.86	57.35	39.3~84.8	24.59	70.45	33.7~145	40.38
大理	4.32	1.23~8.46	47.66	545.36	151~1040	32.82	35.40	10.2~92.7	45.34	41.50	12.3~119	47.27	60.43	17.8~116	40.55
玉溪	3.73	0.488~8.72	53.69	724.23	272~1060	30.97	49.38	28~101	32.89	57.53	28.6~100	31.11	80.44	14.8~156	44.41
楚雄	2.94	0.936~5.7	48.67	493.73	185~901	39.25	45.01	10.1~61.6	28.19	44.37	30.1~71.9	24.62	66.55	23.8~134	47.29
昆明	2.55	0.745~4.46	42.78	570.40	277~968	42.18	48.07	34.1~74.4	24.86	53.69	41.2~70.1	17.41	80.59	13.8~182	54.74
总体	3.64	0.488~8.72	50.81	549.14	151~1170	41.5	48.64	10.1~159	46.13	56.43	12.3~164	42.18	77.77	13.8~281	56.72

### 2.2 不同地区土壤放射性核素的含量

表 1 表明, 土壤核素含量存在着明显的区域性差异, 大理的 <sup>137</sup>Cs, 玉溪的 <sup>40</sup>K, 红河州的 <sup>226</sup>Ra 和 <sup>238</sup>U, 临沧的 <sup>232</sup>Th 含量最高, 但昆明的 <sup>137</sup>Cs, 曲靖的 <sup>40</sup>K, 大理的 <sup>226</sup>Ra 和 <sup>238</sup>U, 曲靖和大理的 <sup>232</sup>Th 最低。

云南省烟区土壤放射性核素含量存在地区差异的原因主要是成土母质、地形地貌、耕作施肥等因素。成土母质是土壤核素的基本来源。该区成土母质的多样性和空间分布的非均匀性<sup>[9]</sup>是导致土壤中核素含量存在地区差异的主要原因。此外, 地形地貌的复杂性也可能使土壤核素含量的变异程度进一步增加。研究表明, <sup>137</sup>Cs 可以因降水在流域内重新

分配<sup>[10]</sup>。施肥对土壤中的放射性核素的含量也有一定影响。对云南烟区常用化肥的分析表明, 钾肥中的 <sup>40</sup>K 的含量高而稳定, 磷肥和复合肥中的 <sup>226</sup>Ra、<sup>238</sup>U、<sup>232</sup>Th 的含量差异极大<sup>(1)</sup>。植烟区长期施用放射性核素含量高低不同的磷钾肥, 在一定程度上也会造成土壤放射性核素含量的差异。

### 2.3 不同土壤类型放射性核素的含量

红壤、水稻土和紫色土是云南烟区的主要土壤类型。采集各烟区典型, 且具有代表性的三种土壤, 对放射性核素进行分析发现, 三种土壤的放射性核素含量差异较大(表 2)。紫色土的 <sup>40</sup>K 含量最高, 红壤次之, 水稻土含量最低; 红壤的 <sup>137</sup>Cs、<sup>226</sup>Ra、<sup>232</sup>Th

(1) 王文斌 云南烟区土壤、肥料和烟叶中的放射性核素. 西南农业大学硕士学位论文, 2002 29~30

的含量最高,水稻土<sup>137</sup>Cs含量最低;红壤的<sup>238</sup>U含量高,紫色土最低;总放射性紫色土最高,红壤最低。与紫色土和紫色土相近;土壤总放射性水稻土最低。

表2 不同类型土壤中的核素含量及总、放射性(Bq kg<sup>-1</sup>)

土壤类型	<sup>137</sup> Cs		<sup>40</sup> K		<sup>226</sup> Ra		<sup>232</sup> Th		<sup>238</sup> U		总		总	
	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)
红壤	4.46 a	44.57	511.17 a	46.57	46.25 a	36.68	56.75 a	31.27	67.81 a	48.43	539.40 a	20.35	677.84 a	8.63
水稻土	2.87 b	58.56	480.67 a	35.78	38.72 a	56.28	43.63 b	53.81	64.60 a	49.56	551.76 a	29.33	682.49 a	10.53
紫色土	3.66 ab	47.38	541.00 a	40.36	38.35 a	35.4	42.31 b	31.75	66.37 a	41.91	523.94 a	22.7	716.73 a	21.17

注: 在各列中,用小写字母 a, b 表示数据的差异性,包含相同小写字母的数据差异不显著,反之则差异显著(p = 0.05)

云南省的水稻土大多由红壤发育而来,但其中的<sup>40</sup>K、<sup>226</sup>Ra、<sup>232</sup>Th 含量明显低于红壤,原因可能是水稻土的淋溶作用较强,<sup>40</sup>K、<sup>226</sup>Ra、<sup>232</sup>Th 部分流失。<sup>40</sup>K的自然丰度为0.0118%,因此土壤中<sup>40</sup>K的放射性比活度取决于钾的含量。在西南地区,紫色土大多由紫色砂泥页岩发育,是该地区含钾量最高的土壤之一<sup>[11]</sup>,<sup>40</sup>K 主要发生衰变,紫色土<sup>40</sup>K 含量高于其他两种土壤,因此导致总值相对较高。

### 2.4 土壤放射性核素含量在时间上的变化

土壤放射性核素的积累损耗与多种因素有关,包括生物的吸收、土地利用、耕作施肥等。比较2001年和1993年<sup>[12]</sup>测定的数据表明,土壤中天然放射性核素的积累损耗因核素种类不同而异,<sup>226</sup>Ra变化不大,<sup>232</sup>Th略有减少,<sup>40</sup>K略有增加,<sup>238</sup>U显著增加(图1,图2)。烤烟需要较多的磷钾,在云南省,烤烟施用氮磷钾肥的比例通常为N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1:2:3,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和K<sub>2</sub>O的用量分别为240 kg hm<sup>-2</sup>和360 kg hm<sup>-2</sup>。由于磷钾肥分别含有较多的<sup>40</sup>K和铀-钍衰变元素系,故在烟草生产过程中大量使用磷钾肥可能是导致土壤积累<sup>40</sup>K和<sup>238</sup>U的主要原因之一。另外,<sup>40</sup>K和<sup>238</sup>U的积累还与耕作层中有机质含量较高有关,前者是由于生物的富集作用,在发生学上与有机质有关,后者与有机质的络合作用有关<sup>[13]</sup>。

### 2.5 土壤总、总放射性的基本情况

土壤样品总放射性强度略低于总放射性。除玉溪地区之外,其余各地土壤样品的总放射性也都小于总放射性。土壤的总放射性比较稳定,变异系数显著小于放射性核素的变异程度,相对而言,总放射性略大于总放射性。此外,土壤的总放射性也存在地区差异。总放射性玉溪地区的土壤最高,昆明地区最低;总放射性曲靖地区的土壤最高,玉溪地区的土壤最低(表3)。

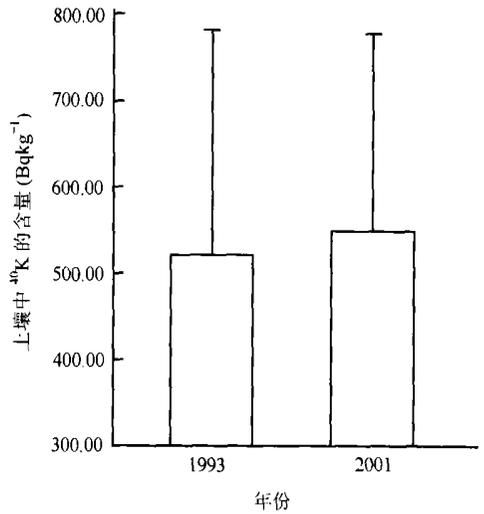


图1 1993年和2001年土壤中<sup>40</sup>K的含量

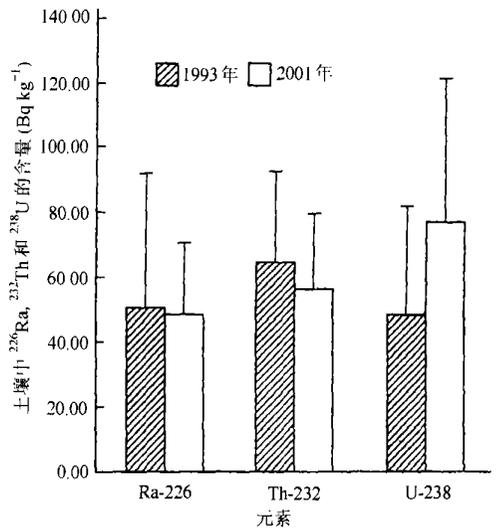


图2 1993年和2001年土壤中<sup>226</sup>Ra、<sup>232</sup>Th和<sup>238</sup>U的含量

表3 土壤中的总、放射性( $\text{Bq kg}^{-1}$ )

地区	总			总		
	平均值	范围	变异系数(%)	平均值	范围	变异系数(%)
红河	531.85	371.86~724.87	13.41	684.78	567.45~788.67	5.91
临沧	624.88	532.66~702.26	7.88	686.81	624.10~762.59	5.28
曲靖	502.27	386.93~860.55	10.71	704.15	527.88~1402.88	17.05
大理	630.97	407.03~845.48	10.40	670.45	464.03~800.36	7.64
玉溪	706.06	260.05~993.72	16.61	553.60	344.42~781.47	16.99
楚雄	440.86	300.25~1047.74	14.62	698.52	244.60~833.63	7.59
昆明	411.48	248.74~611.81	15.31	683.99	352.52~2082.70	15.32
总体	549.76	248.74~1047.74	12.71	668.90	244.60~2082.70	10.83

### 3 小 结

云南省烟区土壤中的放射性核素含量 $^{40}\text{K}$   
 $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ , 由于地形地貌的复杂性,  
 土壤成土母质的多样性和空间分布的非均匀性, 以  
 及受施肥等因素的影响, 土壤核素含量表现出地区  
 和土壤类型之间的差异。对比 1993 年的有关文献,  
 烟区土壤中的 $^{226}\text{Ra}$  变化不大,  $^{232}\text{Th}$  略有增加,  $^{40}\text{K}$  和  
 $^{238}\text{U}$  显著增加, 估计与大量施用含放射性核素的磷  
 钾肥有关。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 普拉萨德 K N. 人体放射生物学. 北京: 原子能出版社, 1984. 10~ 20
- [ 2 ] 钱马懿, 陈旭明, 朱锡荣. 吸烟致癌及其机理研究进展. 中国肿瘤, 1999, 8(3): 110~ 111
- [ 3 ] 徐冠仁. 核农学导论. 北京: 原子能出版社, 1997. 323~ 329
- [ 4 ] 曾而康. 农用化肥的放射性. 农业环境保护, 1986, (1): 27~ 29, 44
- [ 5 ] Chen M, Ma L Q, Willie G H. Base-line concentrations of 15 trace elements in Florida surface soils. J. Environ. Qual., 1999, 28: 1 173~ 1 181
- [ 6 ] 温贤芳. 中国核农学. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998. 137~ 150
- [ 7 ] 郑永春, 王世杰.  $^{137}\text{Cs}$  的土壤地球化学及其侵蚀示踪意义. 水土保持学报, 2002, 16(2): 57~ 60
- [ 8 ] 张钟先, 田均良, 郝玉怀等. 黄土区土壤中天然放射性背景值研究. 中国环境科学, 1993, 13(4): 288~ 292
- [ 9 ] 王文富. 云南土壤. 昆明: 云南科学技术出版社, 1996. 7~ 68
- [ 10 ] Adrew N T, Kate V H. Predicting areas of  $^{137}\text{Cs}$  loss and accumulation in upland catchments. Water, Air Soil Pollut., 2000, 121 (1/4): 271~ 288
- [ 11 ] 毛知耘. 肥料学. 北京: 中国农业出版社, 1997. 157~ 169
- [ 12 ] 孙冶, 李玉先, 李广通等. 云南省土壤中天然放射性核素含量调查研究. 辐射防护, 1993, 13(2): 127~ 130
- [ 13 ] 张钟先, 涂杰峰, 田均良等. 中国黄土地区土壤中天然放射性元素的生物地球化学. 土壤学报, 1995, 32(4): 353~ 361