

◆特邀栏目◆

广西乐业天坑群中苔藓的放射性核素分析*

王 靓¹,荆巧嫣¹,姚冰栏¹,郭怡宁¹,匡 盼¹,胡一粟¹,陈 武¹,郭子辰¹,何贤文²,管永精^{1**}

(1.广西大学物理科学与工程技术学院,广西南宁 530004;2.广西壮族自治区辐射环境监督管理站,广西南宁 530222)

摘要:为探究广西喀斯特地貌对放射性核素分布及当地环境放射性的影响,利用高纯锗探测器对广西喀斯特地区的大曹天坑和邓家坨天坑采集来的苔藓样品中⁷Be、⁴⁰K、²³⁸U、²³²Th、²²⁶Ra、²¹⁰Pb和¹³⁷Cs的放射性比活度进行测量与分析。结果表明:在苔藓植物中,⁷Be的放射性比活度为202.3–698.8 Bq/kg [平均值:(430.7±169.7) Bq/kg, n=7];⁴⁰K为33.7–159.9 Bq/kg [平均值:(91.6±44.1) Bq/kg, n=7];²³⁸U为检测限(3.0 Bq/kg)至54.4 Bq/kg [平均值:(16.9±23.6) Bq/kg, n=7];²³²Th为1.2–42.5 Bq/kg [平均值:(14.7±15.9) Bq/kg, n=7];²²⁶Ra为0.7–48.4 Bq/kg [平均值:(16.9±20.3) Bq/kg, n=7];²¹⁰Pb为284.1–950.5 Bq/kg [平均值:(555.5±231.0) Bq/kg, n=7];¹³⁷Cs为检测限(0.1 Bq/kg)至2.3 Bq/kg [平均值:(1.1±0.9) Bq/kg, n=7]。对比后发现所有测得的数据均在正常范围内,表明天坑这一喀斯特地貌对放射性核素的分布并没有显著影响,该地区也不存在其他污染来源,同时为我国南方喀斯特地区大气示踪提供数据支撑。

关键词:放射性活度;苔藓;喀斯特地貌;核素示踪;⁷Be;¹³⁷Cs

中图分类号:O615.3 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2023)02-0206-07

DOI:10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20230517.011

天坑作为独特的喀斯特地貌,它的形成机制及地貌景观跟其他类型的喀斯特地貌不同,包含了诸多复杂小生境,具有典型的小气候特征。研究放射性核素在这种独特地貌特征下的行为和分布对当地环境评估和预测有着举足轻重的作用。同时,喀斯特地区是我国主要的生态脆弱区,在喀斯特生态系统中,生物与非生物环境之间具有不可分割的联系,两者相互作

用共同形成统一的整体,因此对该地区生物的研究是必要且可行的。苔藓(主要是大羽藓 *Thuidium cymbifolium*)在南方喀斯特地区分布广泛,与其他植物相比,其结构简单,没有根系,叶片的表面没有防水角质层,可以通过降水或者干沉积直接从空气中得到生长所需要的养分,因此非常适合作为环境空气污染的生物指标。

收稿日期:2022-10-30

修回日期:2022-12-16

*国家自然科学基金项目(12175046),广西自然科学基金项目(2021GXNSFB196001),广西高校引进海外高层次人才“百人计划”和大学生创新创业训练计划(2021110593321)资助。

【第一作者简介】

王 靓(2001–),女,在读本科生,主要从事核技术研究,E-mail:wnniag@126.com。

【**通信作者】

管永精(1978–),男,教授,主要从事核技术研究,E-mail:yjguan@gxu.edu.cn。

【引用本文】

王靓,荆巧嫣,姚冰栏,等.广西乐业天坑群中苔藓的放射性核素分析[J].广西科学院学报,2023,39(2):206-212.

WANG L, JING Q Y, YAO B L, et al. Radionuclide Analysis of Moss in the Leye Tiankeng Group in Guangxi [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2023, 39(2): 206-212.

环境当中, ^{137}Cs 的主要来源是大气核试验以及核泄漏事故^[1-3]。 ^{137}Cs 的半衰期是30.2 a,与天然放射性核素相比, ^{137}Cs 为影响环境 γ 剂量率的主要因素^[4]。针对苔藓中 ^{137}Cs 的研究有很多,如Vosel等^[5]为确定Novaya Zemlya核试验向外污染的范围,对西伯利亚地衣、苔藓和松针中 ^{137}Cs 的分布进行测量分析;Aleksiayenak等^[6]对在斯洛伐克和白俄罗斯收集的苔藓样品进行放射性核素 γ 光谱的分析;Park等^[7]研究福岛核事故后济州岛上土壤和苔藓中 ^{137}Cs 的放射性;Hongve等^[8]研究挪威中南部水生苔藓作为河流中 ^{137}Cs 污染检测工具的可行性;Li等^[9]在广西环江文雅天坑采集土壤,研究天坑斜坡上 ^{137}Cs 的分布情况。

目前国内外针对喀斯特地区的研究相对较少,Liu等^[10]研究南部喀斯特地区酸性农田的重金属(Cd、Pb、Zn、Cr、As、Hg)污染情况,Selak等^[11]分析克罗地亚德纳里德斯喀斯特流域水层中的污染物;而利用苔藓这种生物样本进行放射性研究的较为少见。

本研究首次在中国南部喀斯特地区以苔藓作为研究对象来测量环境放射性,研究 ^7Be 、 ^{40}K 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 在乐业天坑群苔藓中的分布特点,并通过各个核素的比活度水平对采样地进行放射性评估,溯源推测可能存在的污染,同时 ^7Be 的数据还可为我国南部喀斯特地区大气示踪提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料

采样时用到的工具包括10 cm×15 cm自封袋、GPS、马克笔、相机、锤子、小刀、卷尺、铲子等。

1.2 样品采集

本研究从广西乐业天坑群中的大曹天坑(24°47′39″N,106°30′40″E)和邓家坨天坑(24°47′55″N,106°28′5″E)采集环境样本。乐业属于亚热带季风气候,光热充足,雨热同季,夏长冬短。年平均气温为20.5℃,最高气温为42.5℃,最低气温为-2.0℃,年平均降水量为60 mm。大曹天坑的底部是农田,因此苔藓下的土层很厚,而天坑上方土层很薄。邓家坨天坑的农田已经荒废多年,此处采集的苔藓下方土层厚度有的仅1-2 cm。对于生长在石面上的苔藓,先划出15 cm×15 cm的面积,然后用平铲将苔藓铲起后置于密封袋保存,带回实验室后风干。对于生长在土壤基质上方的苔藓,采集时需用刀将基质与苔藓

剥离。对于生长在土壤上的苔藓,还需采集其正下方的表层土壤。苔藓样品分批采集于2021年9月和2021年11月。

1.3 样品制备和测量

为了除去苔藓中的杂质,首先用去离子水清洗苔藓样品直至其表面无泥土或灰尘,在80℃下干燥至恒重;然后粉碎并过2 mm的筛子;最后称重储存在密封的圆柱形容器中,测量时直接将样品平放在高纯锗(HPGe) γ 能谱仪探测器的正上方进行测量。为了提高测量灵敏度,减少康普顿效应对测量结果的影响,采用反康普顿工作模式对 ^7Be 、 ^{40}K 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的比活度进行测量。反康普顿高纯锗 γ 能谱仪由高纯锗宽能探头(GEM-C5970,美国ORTEC公司)、液氮回凝制冷器(Mobious,美国ORTEC公司)、低本底铅室(定制,北京中智核安科技有限公司)、环形NaI(Tl)探测器(定制,北京中智核安科技有限公司)和塑料闪烁体探测器(定制,北京中智核安科技有限公司)组成。其中圆柱形的低本底铅室铅屏蔽厚度为12 cm,在反康普顿测量模式下100 keV到2 MeV能量范围内本底计数小于0.5 cps。铅室内部有环形NaI(Tl)探测器,主要用于测量射线与高纯锗探测器作用产生的康普顿散射光子,经反符合后可以有效压低康普顿坪。外部有5个塑料闪烁体探测器,用于测量宇宙射线,反符合后降低测量时的本底。此反康普顿高纯锗 γ 能谱仪对能量为1.332 MeV的 ^{60}Co 能量分辨率为1.7 keV(FWHM,能谱的半高宽),探测效率为45%。分别利用477.37、1460.75、351.69、46.54和661.66 keV的 γ 射线能量特征峰进行 ^7Be 、 ^{40}K 、 ^{226}Ra 、 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的分析。从 ^{238}U 的子体 ^{234}Th 的 γ 射线谱线(92.80 keV)获得 ^{238}U 的比活度,从 ^{232}Th 的子体 ^{212}Pb (238.63 keV)的 γ 射线谱线获得 ^{232}Th 的比活度。谱仪的探测效率随 γ 射线的能量不同而变化,为了准确给出样品中不同核素的探测效率,采用无源效率刻度软件Gammacalib进行刻度。软件采用功能强大的CAD软件建模,能实现对任意形状的实体放射源快速建模,基于此探头刻度的效率经国家放射性二级计量站检测,其与实体标准源的效率误差为0.9%-2.5%。详细的测量方法和谱仪性能见本课题组已发表的研究成果^[12]。分析数据时要对所有样品数据进行衰变校正和本底值扣除,为了获得足够的统计量,以减少统计计数不足带来的高测量不确定度,每个样品的测量时间为86400 s。图1所示为测

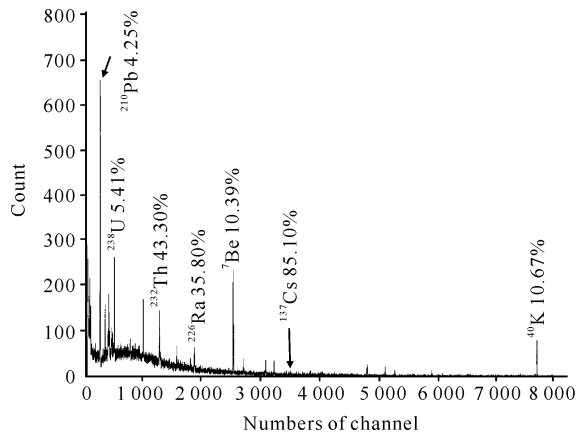
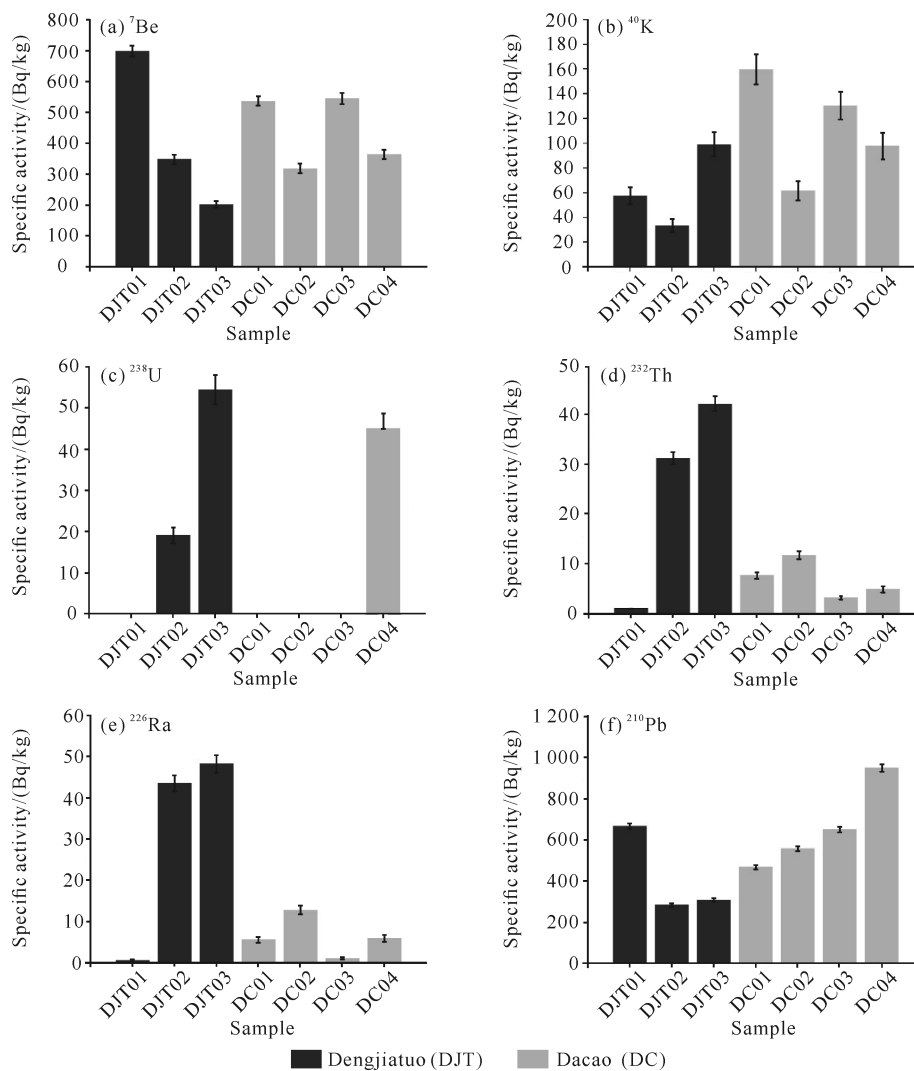
图1 苔藓样品的高纯锗 γ 能谱图(以DJT01样品为例)

Fig. 1 High-purity germanium γ energy spectrum of moss samples (taking DJT01 as an example)



Bar charts icon black and gray represents moss samples from Dengjiatuo Tiankeng and Dacao Tiankeng, respectively.

图2 苔藓样品中天然放射性核素 ${}^7\text{Be}$ 、 ${}^{40}\text{K}$ 、 ${}^{238}\text{U}$ 、 ${}^{232}\text{Th}$ 、 ${}^{226}\text{Ra}$ 和 ${}^{210}\text{Pb}$ 的比活度

Fig. 2 Specific activities of natural radionuclides ${}^7\text{Be}$, ${}^{40}\text{K}$, ${}^{238}\text{U}$, ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{226}\text{Ra}$ and ${}^{210}\text{Pb}$ in moss samples

量DJT01样品时的能谱图,图中标注了各相应核素的全能峰峰位和对应的衰变分支比。在选择恰当的全能峰峰位时,同时考虑了尽量高的计数率和尽量少的干扰峰,因此在测量中干扰峰的影响可以忽略不计。

2 结果与分析

2.1 天然放射性核素的比活度

苔藓中天然放射性核素 ${}^7\text{Be}$ 、 ${}^{40}\text{K}$ 、 ${}^{238}\text{U}$ 、 ${}^{232}\text{Th}$ 、 ${}^{226}\text{Ra}$ 和 ${}^{210}\text{Pb}$ 的比活度见图2,苔藓中放射性核素 ${}^7\text{Be}$ 、 ${}^{40}\text{K}$ 、 ${}^{238}\text{U}$ 、 ${}^{232}\text{Th}$ 、 ${}^{226}\text{Ra}$ 、 ${}^{210}\text{Pb}$ 和 ${}^{137}\text{Cs}$ 的比活度见表1。图2和表1的误差来源主要是无源效率刻度软件本身的误差(取2.0%)以及各核素对应的统计误差,因此总误差主要由统计误差决定。

表 1 苔藓样品中放射性核素的比活度

Table 1 Specific activity of radionuclides in moss samples

样品 Sample	比活度/(Bq/kg) Specific activity/(Bq/kg)						
	⁷ Be	⁴⁰ K	²³⁸ U	²³² Th	²²⁶ Ra	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs
DJT01	698.8 ± 17.5	57.7 ± 6.7	BDL	1.2 ± 0.2	0.7 ± 0.2	667.8 ± 12.4	0.1 ± 0.1
DJT02	348.4 ± 14.4	33.7 ± 5.5	19.1 ± 2.0	31.5 ± 1.2	43.6 ± 1.9	284.1 ± 8.8	1.8 ± 0.3
DJT03	202.3 ± 11.2	99.3 ± 9.9	54.4 ± 3.6	42.5 ± 1.5	48.4 ± 2.1	308.2 ± 9.1	1.6 ± 0.3
DC01	537.6 ± 15.7	159.9 ± 12.1	BDL	7.8 ± 0.6	5.7 ± 0.7	469.2 ± 11.3	0.7 ± 0.2
DC02	317.7 ± 13.7	61.7 ± 7.7	BDL	11.9 ± 0.8	12.9 ± 1.1	557.6 ± 12.6	BDL
DC03	545.9 ± 17.5	130.6 ± 11.5	BDL	3.3 ± 0.4	1.2 ± 0.3	651.1 ± 14.1	2.3 ± 0.4
DC04	364.3 ± 15.2	98.0 ± 10.8	45.1 ± 3.6	5.0 ± 0.6	6.0 ± 0.8	950.5 ± 18.3	1.3 ± 0.3

Note: BDL means below the detection limit and therefore cannot be detected, and the detection limit for ²³⁸U is 3.0 Bq/kg and for ¹³⁷Cs is 0.1 Bq/kg.

从图 2 和表 1 可以得出, 在所有的样品中均检测到了⁷Be 的比活度, 其在苔藓中的比活度为 202.3 – 698.8 Bq/kg, 平均值为 (430.7 ± 169.7) Bq/kg ($n = 7$)。从图 2(a)可以看出, ⁷Be 的比活度在邓家坨天坑中呈现递减的规律, 而在大曹天坑中相对无规律。相同品种的苔藓, 无论生长在不同地区还是同一地区, 它们的差异都很明显。乐业天坑群在小范围内聚集了多种复杂的小生境, 具有典型的小气候特征, 虽然采样点之间的距离不远, 但是各采样点的降水量明显不同。受到小气候以及不同生境的影响, 在石头表面采集的苔藓样品, 如 DC02、DC04 和 DJT03, 它们的⁷Be 比活度明显比在同一地区生长在土壤层上方的同种类苔藓要低。

在所有苔藓样品中均检测到⁴⁰K 的比活度, ⁴⁰K 在苔藓样品中的比活度为 33.7 – 159.9 Bq/kg, 平均值为 (91.6 ± 44.1) Bq/kg ($n = 7$)。由图 2(b)可以看出, ⁴⁰K 在大曹天坑中的比活度要明显大于邓家坨天坑。

苔藓中²³⁸U 的比活度范围从低于检测限 (3.0 Bq/kg) 到 54.4 Bq/kg, 平均值为 (16.9 ± 23.6) Bq/kg ($n = 7$), 只有 DJT02、DJT03 和 DC04 3 个采样点检测到了²³⁸U 的比活度, 且 DJT02 和其他两处的比活度值相差较大, DC04 处的比活度值与 DJT03 处接近。相较之下, 所有苔藓样品中均检测到²³²Th 和²²⁶Ra 的比活度, 苔藓中²³²Th 的比活度为 1.2 – 42.5 Bq/kg, 平均值为 (14.7 ± 15.9) Bq/kg ($n = 7$), 苔藓中²²⁶Ra 的比活度为 0.7 – 48.4 Bq/kg, 平均值为 (16.9 ± 20.3) Bq/kg ($n = 7$)。²³²Th 和²²⁶Ra 的比活度变化呈现出相似的规律。

本研究苔藓样品中²¹⁰Pb 的比活度为 284.1 – 950.5 Bq/kg, 平均值为 (555.5 ± 231.0) Bq/kg ($n = 7$)。在邓家坨天坑中, DJT01 的比活度明显大于 DJT02 和 DJT03, 并且 DJT02 和 DJT03 的比活度数据相近。在大曹天坑中, ²¹⁰Pb 的比活度呈现递增的规律。

2.2 人工放射性核素的比活度

由表 1、图 3 可知, 所有的苔藓样品中, 只有 DC02 没有检测到¹³⁷Cs 的比活度, 苔藓中¹³⁷Cs 的比活度为检测限 (0.1 Bq/kg) 至 2.3 Bq/kg, 平均值为 (1.1 ± 0.9) Bq/kg ($n = 7$)。对比两个天坑采集到的样品数据可以看出, 大曹天坑除 DC02 的¹³⁷Cs 低于检测限外, 其余样品均检测出了¹³⁷Cs, 比活度最高的样品也位于大曹天坑; 而邓家坨天坑的所有苔藓样品中均能检测出¹³⁷Cs。邓家坨天坑苔藓样品中¹³⁷Cs [平均值: (1.2 ± 0.9) Bq/kg, $n = 3$]的平均比活度与

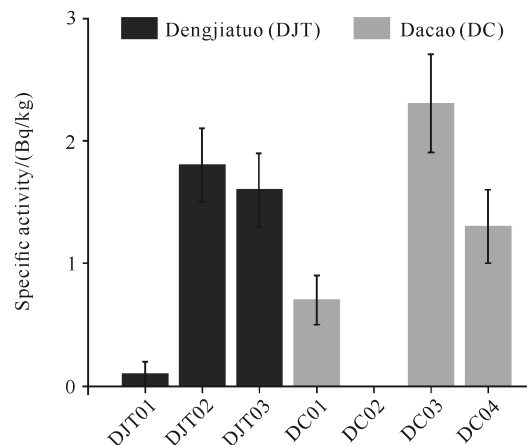
图 3 苔藓样品中人工放射性核素¹³⁷Cs 的比活度

Fig. 3 Specific activities of artificial radionuclide ¹³⁷Cs in moss samples

大曹天坑苔藓样品[平均值:(1.1 ± 1.0) Bq/kg, $n = 4$]相比几乎一致,但个体含量上存在差异,且 ^{137}Cs 的比活度分布在两个天坑中都无规律。这可能是由于两处天坑的环境不同使得苔藓的生长时间有所不同,或者是不同环境中的苔藓吸附了不同含量的 ^{137}Cs 所导致。

3 讨论

3.1 天然放射性核素的比活度

本研究测得 ^7Be 的比活度数据与Ren等^[13]($0 - 2\ 437$ Bq/kg)和Zhong等^[14]($19 - 1\ 442$ Bq/kg)的结果比较吻合。相同品种的苔藓,无论生长在不同地区还是同一地区,它们的差异都很明显,这不仅与采集样品时苔藓的生长周期和生长阶段有关,而且与采样点的小生境有很大关系^[15]。 ^7Be 的比活度与分布可以示踪大气垂直传输交换过程,对了解大气中化学物质传输路径、气候变化过程以及预测大气环境变化趋势具有重要的科学意义^[16]。

由于大曹天坑耕地化比邓家坨天坑更明显,作为最常见的肥料之一,钾肥一般要求钾含量在50%左右,最高可达55%,这可能是造成 ^{40}K 在两个天坑中比活度不同的主要原因之一。

将测得的 ^{238}U 、 ^{232}Th 和 ^{226}Ra 的数据和其他研究工作对比, Ren等^[13]测得 ^{238}U 的比活度为检测限至88 Bq/kg,平均值为(42 ± 33) Bq/kg; ^{226}Ra 的比活度为4 - 25 Bq/kg,平均值为(15 ± 8) Bq/kg; Zhong等^[14]仅在一个苔藓样品中测得 ^{232}Th 的比活度[高达(238 ± 16) Bq/kg],虽然在大多数苔藓样品中几乎无法检测到 ^{232}Th 的比活度,但是在所有底层土壤样品中均检测到 ^{232}Th 的比活度,其比活度范围为11 - 174 Bq/kg。本研究发现除 ^{232}Th 外,比活度数据均在正常范围内,认为没有其他污染来源。本研究均检测到 ^{232}Th 比活度的原因可能是处理时没有分离苔藓绿色部分和根部,而Zhong等^[14]在处理苔藓时只对绿色部分进行探测。

本研究中 ^{210}Pb 的平均比活度处于Al-Masri等^[17]的研究中苔藓的 ^{210}Pb 平均比活度范围($339 - 5\ 815$ Bq/kg)内。 ^{210}Pb 主要来源于天然铀系衰变、核燃料循环过程、磷矿开采和磷肥生产等,由于测得的数值跟Al-Masri等^[17]研究中的数值比较一致,且采样点附近没有煤燃烧以及工厂的存在,所以可以认为 ^{210}Pb 没有其他污染来源。

3.2 人工放射性核素的比活度

^{137}Cs 的比活度数据与Ren等^[13]在广西防城港测得的苔藓数据(2.3 ± 0.9 Bq/kg)非常吻合。与邓家坨天坑的苔藓样品相比较,发现大曹天坑苔藓样品中 ^{137}Cs 的比活度值普遍高一些,其原因可能是苔藓会在某些特定或极端的情况下,将 ^{137}Cs 误认为是钾元素并尝试从土壤中吸收它^[14]。

4 结论

本研究测量了广西乐业天坑群苔藓样品中 ^7Be 、 ^{40}K 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的比活度,结果表明,这一地区苔藓样品中各核素的含量正常,仅受到大气沉降和土壤基质吸收因素的影响,没有明显的其他污染来源。由于宇生核素 ^7Be 的含量很高,易于测量,且与大气运动有着密切的关系,所以本研究也为我国南方喀斯特地区大气示踪研究提供了数据支持。

本研究开展了天坑植物样品中天然与人工放射性核素的比活度测量,验证了使用植物样品监测环境中放射性物质方法的可行性,为相关研究提供了参考及数据支持。今后将继续对广西乐业天坑群的土壤样品放射性进行测量和分析,根据放射性核素在水平和垂直分布的特点进一步研究小气候下喀斯特地貌中放射性核素的特殊行为。

参考文献

- [1] AOYAMA M. Artificial radionuclides [J]. Encyclopedia of Ocean Sciences, 2019, 1: 136-152.
- [2] BERESFORD N A, FESENKO S, KONOPLEV A, et al. Thirty years after the Chernobyl accident: what lessons have we learnt? [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2016, 157: 77-89.
- [3] MASSON O, BIERINGER J, BRATTICH E, et al. Variation in airborne ^{134}Cs , ^{137}Cs , particulate ^{131}I and ^7Be maximum activities at high-altitude European locations after the arrival of Fukushima-labeled air masses [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2016, 162/163: 14-22.
- [4] KRMAR M, WATTANAVATEE K, RADNOVIC D, et al. Airborne radionuclides in mosses collected at different latitudes [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2013, 117: 45-48.
- [5] VOSEL Y, BELYANIN D, VOSEL S, et al. Distribution of ^{137}Cs in lichens, mosses and pine needles along the

- transect from the north to the south of Western Siberia [J]. Science of the Total Environment, 2021, 789: 147874.
- [6] ALEKSIAYENAK Y V, FRONTASYEVA M V, FLOREK M, et al. Distributions of ^{137}Cs and ^{210}Pb in moss collected from Belarus and Slovakia [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2013, 117: 19-24.
- [7] PARK K H, KANG T W, KIM W J, et al. ^{134}Cs and ^{137}Cs radioactivity in soil and moss samples of Jeju Island after Fukushima nuclear reactor accident [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2013, 81: 379-382.
- [8] HONGVE D, BRITAIN J E, BJØRNSTAD H E. Aquatic mosses as a monitoring tool for ^{137}Cs contamination in streams and rivers: a field study from central southern Norway [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2002, 60: 139-147.
- [9] LI H, ZHANG X B, WANG K L, et al. ^{137}Cs redistribution in thin stony soil of a carbonate rock slope in Southwest China [J]. Pedosphere, 2011, 21(1): 37-45.
- [10] LIU P F, WU Z Q, LUO X R, et al. Pollution assessment and source analysis of heavy metals in acidic farmland of the karst region in southern China: a case study of Quanzhou County [J]. Applied Geochemistry, 2020, 123: 104764.
- [11] SELAK A, REBERSKI J L, KLOBUČAR G. Ecotoxicological aspects related to the occurrence of emerging contaminants in the Dinaric karst aquifer of Jadro and Žrnovnica springs [J]. Science of the Total Environment, 2022, 825: 153827.
- [12] GUAN Y J, MAI J Y, WANG H J. Plutonium isotopes and radionuclides in corals around Weizhou land in Beibu Gulf, China [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2021, 176: 109873.
- [13] REN X, WANG J L, ZHONG Q Q, et al. Radionuclide and trace metal accumulation in a variety of mosses used as bioindicators for atmospheric deposition [J]. Science of the Total Environment, 2021, 797: 149224.
- [14] ZHONG Q Q, DU J Z, VIENA P, et al. Accumulation of natural and anthropogenic radionuclides in body profiles of Bryidae, a subgroup of mosses [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2019, 26: 27872-27887.
- [15] KRMAR M, RADNOVIC D, HANSMAN J, et al. Influence of broadleaf forest vegetation on atmospheric deposition of airborne radionuclides [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2017, 177: 32-36.
- [16] 刘许柯, 付云翀, 周卫健, 等. 宇宙成因核素 ^7Be 和 ^{10}Be 示踪大气垂直传输交换研究进展[J]. 地球科学进展, 2020, 35(10): 1016-1028.
- [17] AL-MASRI M S, MAMISH S, AL-HALEEM M A, et al. *Lycopodium cernuum* and *Funaria hygrometrica* as deposition indicators for radionuclides and trace metals [J]. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2005, 266(1): 49-55.

Radionuclide Analysis of Moss in the Leye Tiankeng Group in Guangxi

WANG Liang¹, JING Qiaoyan¹, YAO Binglan¹, GUO Yining¹, KUANG Pan¹, HU Yisu¹, CHEN Wu¹, GUO Zichen¹, HE Xianwen², GUAN Yongjing^{1* *}

(1. School of Physical Science and Technology, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Radiation-Environment Management and Monitoring Station of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning, Guangxi, 530222, China)

Abstract: In order to explore the influence of karst landform on the distribution of radionuclides and the radioactivity of local environment in Guangxi, the specific activities of ^7Be , ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb and ^{137}Cs in moss samples collected from Dacao Tiankeng and Dengjiatuo Tiankeng in karst area of Guangxi were measured and analyzed for the first time by using high-purity germanium detector. The results showed that the specific activity of ^7Be in bryophytes ranged from 202.3 to 698.8 Bq/kg [mean: (430.7 ± 169.7) Bq/kg, $n =$

7]. ^{40}K : 33.7 - 159.9 Bq/kg [mean: (91.6 ± 44.1) Bq/kg, $n = 7$]; ^{238}U was the detection limit (3.0 Bq/kg) to 54.4 Bq/kg [mean: (16.9 ± 23.6) Bq/kg, $n = 7$]. ^{232}Th was 1.2 - 42.5 Bq/kg [mean: (14.7 ± 15.9) Bq/kg, $n = 7$]. ^{226}Ra was 0.7 - 48.4 Bq/kg [mean: (16.9 ± 20.3) Bq/kg, $n = 7$]. ^{210}Pb was 284.1 - 950.5 Bq/kg [mean: (555.5 ± 231.0) Bq/kg, $n = 7$]; ^{137}Cs was the detection limit (0.1 Bq/kg) to 2.3 Bq/kg [mean: (1.1 ± 0.9) Bq/kg, $n = 7$]. After comparison, it is found that all the measured data are within the normal range, indicating that the karst landform of the Tiankeng has no significant effect on the distribution of radionuclides, and there are no other sources of pollution in the area. At the same time, it provides data support for atmospheric tracing in the karst area of southern China.

Key words: radioactivity; moss; karst landform; nuclide tracing; ^7Be ; ^{137}Cs

责任编辑:陆媛峰



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxxkx.ijournal.cn/gxxkxyxb/ch>