

# 我国某城市 8 家幼儿园夏季室内氡浓度调查分析

宋延超<sup>1</sup>, 马永忠<sup>2</sup>, 孙亚茹<sup>2</sup>, 崔宏星<sup>1</sup>, 侯长松<sup>1</sup>, 张震<sup>1</sup>, 武云云<sup>1</sup>

1. 中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所, 北京 100088; 2. 北京市疾病预防控制中心

**摘要:** **目的** 选择我国某城市四个行政区域中的 8 家幼儿园, 初步测量幼儿园室内氡水平。**方法** 采用累积测量方法, 在幼儿园不同活动场所布放 CR-39 固体核径迹探测器, 布放周期为 3~4 个月。**结果** 幼儿园 86 个测量点室内氡浓度均值为  $(60 \pm 34)$  Bq/m<sup>3</sup>, 范围为 16~196 Bq/m<sup>3</sup>。**结论** 本次调查中 8 家幼儿园室内氡浓度符合相应国家标准要求。

**关键词:** 幼儿园; 固体核径迹探测器; 氡浓度; 室内

**Investigation and Analysis on Radon Level of Eight Kindergartens in Summer in a City of China.** SONG Yan - chao, MA Yong - zhong, SUN Ya - ru, CUI Hong - xing, HOU Chang - song, ZHANG Zhen, WU Yun - yun. 1. Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100088 China; 2. Beijing Center for Disease Control and Prevention.

Corresponding Author: Wu Yun - yun, Email: wuyunyun - 001@163.com

**Abstract:** **Objective** To investigate the radon level of kindergartens by selecting eight kindergartens from four districts in a city of China. **Methods** The indoor radon concentrations of kindergartens were measured by using CR-39 solid state nuclear track detectors, which is a cumulative measurement method. **Results** The 86 measurement points show that the average indoor radon concentration of the eight kindergartens is  $(60 \pm 34)$  Bq/m<sup>3</sup>, ranging from 16 Bq/m<sup>3</sup> to 196 Bq/m<sup>3</sup>. **Conclusion** The radon concentration of the eight kindergartens meets the corresponding national standard.

**Key words:** Kindergartens; Solid State Nuclear Track Detector; Radon Concentration; Indoor

中图分类号: X591 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2017)03-0331-03

氡(<sup>222</sup>Rn)是天然放射性核素铀的衰变产物,广泛存在于人类生活环境中。室内氡污染已引起世界各国的高度重视。UNSCEAR(联合国原子辐射效应与科学委员会)2000 年报告指出,吸入<sup>222</sup>Rn 及其子体所致的年有效剂量为 1.2 mSv,约占总天然辐射受照剂量的 50%<sup>[1]</sup>。相关研究表明,室内高水平氡照射会增加肺癌危险程度<sup>[2]</sup>。因此,对室内氡及其子体进行监测具有重要的意义。氡水平监测在居室,办公室,人防工程等成人活动场所广泛开展<sup>[3-6]</sup>,而关于幼儿园室内氡的报道较为少见。值得注意的是,在 2014 年 ICRP(国际辐射防护委员会)126 号报告中,特别将幼儿园区域纳入氡监测的目标范围之中,提出要加强开展幼儿园这一类公共场所的氡防范与减缓工作<sup>[7]</sup>。

因此,本工作选择我国某城市四个行政区域的 8 家幼儿园,采用 CR-39 固体核径迹测量方法,开展幼儿园室内氡浓度测量。

## 1 材料与方法

**1.1 调查对象** 在我国某城市四个行政区域(依次用 A 区、B 区、C 区、D 区代表)分别选取 2 个幼儿园,共 8 家幼儿园。其中,在 A 区的 2 家幼儿园区内分别布放 16 个、5 个探测器;在 B 区的 2 家幼儿园区内分别布放 12 个、12 个探测器;在 C 区的 2 家幼儿园区内分别布放 11 个、10 个探测器;在 D 区的 2 家幼儿园区内分别布放 12 个、12 个探测器,探测器型号为 LIH 固体核径迹探测器。选择不同活动场所,包括睡眠室、教室、卫生间、保健室等房间,将探测器布放于幼儿伸手难以够到的柜子及空调上方,进行室内氡浓度测量。

**1.2 测量方法** 采用 CR-39 固体核径迹探测器累积测量幼儿园室内氡浓度,测量周期为 3~4 个月,测量结束后尽快送到实验室,用 6.25 mol/L 的 NaOH 溶液进行蚀刻处理,然后在显微镜下读取径迹个数,计算径迹密度。被测场所的氡浓度与径迹密度、探测器刻度系数、暴露时间存在以下关系,如下式所示:

$$C_{Rn} = \frac{N - N_0}{K \times t}$$

基金项目:国家自然科学基金项目(11375164)

作者简介:宋延超(1986-),女,河北邢台人,博士,助理研究员,从事氡的检测与防护工作。

通讯作者:武云云, Email: wuyunyun - 001@163.com

式中:  $N$  为径迹密度,  $\text{track} \cdot \text{cm}^{-2}$ ;  $N_0$  为本底径迹密度,  $\text{track} \cdot \text{cm}^{-2}$ ;  $C_{\text{Rn}}$  为氡浓度,  $\text{Bq}/\text{m}^3$ ;  $K$  表示刻度系数,  $\text{track} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}$ ;  $t$  为暴露时间,  $\text{h}$ 。

1.3 质量控制 CR-39 固体核径迹探测器在南华大学标准氡室刻度, 刻度系数为  $4.8 \text{ track} \cdot \text{cm}^{-2}/\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}$ 。该探测器曾与日本化学分析中心(JCAC)的 Raduet 探测器在日本放射线医学综合研究所(NIRS)标准氡室和南华大学标准氡室进行了比对, 探测器的测量结果与标准氡室的参考值相对百分偏差为  $2.8\% \sim 5.6\%$  [8-9]。

1.4 数据处理 测量结果用表示。采用 SPSS 16.0 进行数据分析, 正态性检验采用 Shapiro wilk 检验。

## 2 结果与分析

2.1 幼儿园氡浓度测量结果 本次调查某市四个行政区幼儿园室内氡浓度测量结果详见表 1。8 家幼儿园室内氡浓度均值为  $60 \text{ Bq}/\text{m}^3$ , 标准偏差为  $34 \text{ Bq}/\text{m}^3$ , 氡浓度范围为  $16 \sim 196 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 。其中, A 区的 2 家幼儿园平均氡浓度最低, 为  $39 \text{ Bq}/\text{m}^3$ , D 区的 2 家幼儿园平均氡浓度最高, 为  $73 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 。

本次测量 8 家幼儿园室内氡浓度频数分布见图 1, 超过 50% 的测量点氡浓度在  $50 \sim 100 \text{ Bq}/\text{m}^3$  范围内。

表 1 本次调查某市四个行政区幼儿园室内氡浓度测量结果 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )

区域	布放数量	实际回收	氡浓度范围	氡浓度平均值
A 区	21	18	30 ~ 127	$39 \pm 24$
B 区	24	23	16 ~ 196	$58 \pm 45$
C 区	21	21	38 ~ 139	$68 \pm 24$
D 区	24	24	43 ~ 139	$73 \pm 31$
合计	90	86	16 ~ 196	$60 \pm 34$

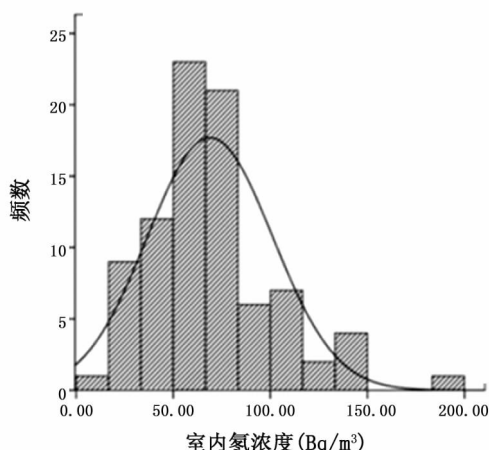


图 1 本次调查幼儿园氡浓度频数分布图

2.2 不同建筑年代室内氡浓度比较 本次调查四个

行政区 8 家幼儿园建筑年代为清朝末年至 2014 年, 划分为 6 组, 不同建筑年代室内氡浓度结果列于表 2。由表 2 可知, 1990-2000 年建造的幼儿园室内氡浓度最高, 为  $92 \text{ Bq}/\text{m}^3$ , 1960 年以前建造的幼儿园室内氡浓度最低, 为  $39 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 。8 家幼儿园室内氡浓度随建筑年代的变化详见图 2。

表 2 四个行政区幼儿园不同建筑年代室内氡浓度测量结果 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )

建筑年代	测量点数	氡浓度范围	氡浓度平均值
1960 年以前	4	30 ~ 48	$39 \pm 8$
1960 ~ 1970	23	21 ~ 196	$62 \pm 44$
1970 ~ 1990	21	65 ~ 139	$68 \pm 24$
1990 ~ 2000	12	62 ~ 139	$92 \pm 35$
2000 ~ 2010	12	43 ~ 71	$55 \pm 9$
2010 ~ 2014	14	62 ~ 127	$82 \pm 17$

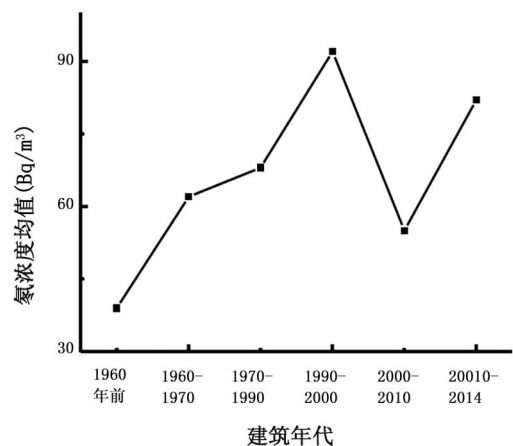


图 2 不同建筑年代幼儿园室内氡浓度

2.3 不同楼层室内氡浓度比较 本次测量结果显示 D 区的 2 家幼儿园室内氡浓度较高, 为了分析室内氡来源, 将 D 区幼儿园室内氡测量结果按楼层划分为 3 组 (D 区幼儿园楼层覆盖范围为 1 ~ 3 层), 不同楼层室内氡浓度详见表 3。由表 3 可见, 1 层楼室内氡浓度均值最高, 为  $87 \text{ Bq}/\text{m}^3$ , 3 层楼室内氡浓度最低, 为  $50 \text{ Bq}/\text{m}^3$ 。经 SPSS 分析, 1 层与 2 层楼室内氡浓度差异有显著的统计学意义 ( $P < 0.01$ ), 室内氡浓度随着楼层的增高呈现出逐渐降低的趋势。

表 3 D 区幼儿园不同楼层氡浓度分布 ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )

楼层	测量点	氡浓度均值	范围
1	13	$87 \pm 36$	43 ~ 139
2	10	$58 \pm 8$	43 ~ 67
3	1	$50 \pm 0$	/

## 3 讨论

此次调查的 8 家幼儿园室内氡浓度均值为 60

Bq/m<sup>3</sup>, 标准偏差为 34 Bq/m<sup>3</sup>, 范围为 16 ~ 196 Bq/m<sup>3</sup>。国外学者对幼儿以及儿童活动场所的室内氡检测工作已有开展。波兰学者于 2013 年报道卡利什幼儿园室内氡浓度均值为 46 Bq/m<sup>3</sup><sup>[10]</sup>, 斯洛文尼亚学者于 2000 年报道了 890 所校园室内氡浓度均值为 82 Bq/m<sup>3</sup><sup>[11]</sup>。本次氡浓度测量结果均值略高于波兰报道的结果, 而低于斯洛文尼亚报道的结果。

不同建造年代幼儿园室内氡浓度结果表明, 1960 年以前建造的幼儿园室内氡浓度处于较低水平, 而从 1960 - 2000 年建造的幼儿园室内氡浓度随建筑年代逐渐增高, 分析其原因, 70 年代后, 我国大量工业废渣被用于建筑材料, 其镭含量较高, 导致了室内氡浓度的升高<sup>[12]</sup>。2000 - 2010 年建造的幼儿园室内氡浓度较以往有所降低。这与 2001 年我国发布 GB 6566 - 2001《建筑材料放射性核素限量标准》的有关, 该标准对建材的内照射指数镭含量和外照射指数进行了控制<sup>[13]</sup>。而 2010 年以后建造的幼儿园室内氡浓度与之前相比, 又有升高, 氡浓度均值是建筑年代 2000 - 2010 年房屋室内氡浓度均值的 1.5 倍, 这可能与节能建筑的推广有关, 2010 年我国颁布了 JGJ 26 - 2010《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》, 节能建筑为了降低能耗, 减少门窗面积, 提高门窗密闭性, 采用高密闭性材料, 窗户多为双层玻璃或幕墙结构, 室内空气换气率明显降低, 导致室内氡浓度累积增高<sup>[14]</sup>。本次调查的 8 家幼儿园室内氡水平随年代变化趋势恰好与我国相应国标的不断改进完善实际情况相符合。

此次调查中, D 区 2 家幼儿园平均室内氡浓度较高, 为了查明其原因, 我们分析了不同楼层室内氡浓度差别, 结果显示, 随着楼层的增高, 室内氡浓度逐渐降低。通常, 室内氡主要来源于房屋地基及周围土壤, 建筑材料和室外空气<sup>[15]</sup>, 其中, 来源于建筑物地基和周围土壤的氡约占室内氡的 60.4%<sup>[16]</sup>。D 区不同楼层室内氡浓度测量结果分析表明, D 区 2 家幼儿园室内较高浓度氡主要来源于房屋地基和土壤。建议该幼儿园加强通风换气(尤其是冬季取暖季节), 有效降低室内氡浓度, 减少氡的辐照照射。

GB 16146 - 2015《室内氡及其子体控制要求》规定, 对新建建筑室内氡浓度设定的年均氡浓度目标水平为 100 Bq/m<sup>3</sup>, 对已建建筑室内氡浓度设定的年均

氡浓度行动水平为 300 Bq/m<sup>3</sup>, 本次调查期间属于夏季, 按照标准季节变化因子对氡浓度测定值进行季节修正, 年均室内氡浓度值为 70 Bq/m<sup>3</sup>。因此, 这 8 家幼儿园作为已建建筑, 室内氡浓度结果符合标准要求。

## 参考文献

- [1] UNSCEAR 2000 Report[R]. United Nations New York, 2000.
- [2] 王作元, Lubin JH, 王陇德, 等. 室内氡与肺癌关系研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2002, 22 (3): 209 - 214.
- [3] 王春红, 潘自强, 刘森林, 等. 我国部分地区居室氡浓度水平调查研究[J]. 辐射防护, 2014, 34 (2): 65 - 73.
- [4] 李晓燕, 郑宝山, 王燕, 等. 我国部分城市地下工程空气中的氡水平[J]. 辐射防护, 2007, 27 (6): 368 - 374.
- [5] 秦春艳, 王南萍, 肖磊, 等. 北京广东典型地区室内氡气浓度与地质背景关系[J]. 物探与化探, 2012, 36 (3): 441 - 444.
- [6] 徐立鹏, 葛良全, 曾兵, 等. 成都地区室内氡浓度调查[J]. 辐射防护, 2012, 32 (3): 177 - 180.
- [7] Lecomte JF, Solomon S, Takala J, et al. Radiological protection against radon exposure[R]. ICRP Publication 126, Ann. ICRP 43 (3), 2014.
- [8] 武云云, 崔宏星, 张庆召, 等. <sup>222</sup>Rn - <sup>220</sup>Rn 累积探测器参加日本组织的国际比对结果分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2012, 32 (5): 514 - 517.
- [9] 武云云, 孙浩, 刘丹, 等. 深圳新建住宅室内氡水平及分布特征[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2016, 36 (7): 513 - 516.
- [10] Bem, H, Bem, EM, Krawczyk, J, et al. Radon concentrations in kindergartens and schools in two cities: Kalisz and Ostrów Wielkopolski in Poland[J]. J Radioanal Nucl Chem, 2013, 295 (3): 2229 - 2232.
- [11] J. Vaupotic. Systematic indoor radon and gamma measurements in kindergartens and play schools in Slovenia[J]. HealthPhys., 1994, 66: 550 - 556.
- [12] 陈英民, 李福生, 许家昂, 等. 新型墙材用工业废渣中天然放射性核素分布研究[J]. 中国辐射卫生, 2006, 15 (1): 20 - 22.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 6566 - 2001. 建筑材料放射性核素限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [14] 郑天亮, 周竹虚, 尚兵. 建筑工程防氡技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [15] 徐立鹏, 邓晓钦, 葛良全, 等. 成都市城乡室内氡浓度和 γ 剂量率调查研究[J]. 辐射防护, 2016, 36 (4): 224 - 230.
- [16] 童建. 隐形雾霾: 氡的健康危害与防护[M]. 苏州大学出版社, 2015.

收稿日期: 2017 - 03 - 04 修回日期: 2017 - 05 - 20