

# 居室内花岗岩石材放射性对亲代和子代小鼠的影响

梁敏仪 梁永禧 张锦宏 朱蔚云 黎银燕 张松川 朱大明 李锦林 卢庆普

【摘要】 目的 初步探讨居室内花岗岩石材的放射性对小鼠生存和生殖的影响。方法 用  $\gamma$  能谱分析方法按国家标准测定和筛选 A、B、C、D 4 类放射性不同的花岗岩石材,并置放在小鼠饲养笼内。饲养期间用两种方法测量动物室的氡浓度。随机选择健康刚断奶的小鼠 96 只,分别置于 4 类放射性不同的动物饲养室内饲养 120 d,让其自然交配并生育后代。观察分析 P 代、 $F_1$  代、 $F_2$  代小鼠的生育和生存情况。结果 4 类小鼠饲养室的石材外照射指数比内照射指数高。小鼠饲养 120 d 后, P 代和  $F_1$  代的受孕率、流产率和不育率各组间差异无统计学意义(  $P > 0.05$  )。  $F_1$  代各实验组间母鼠生育活仔鼠数差异有统计学意义(  $P < 0.001$  ),并随着小鼠饲养室内的放射性增高而幼鼠的存活数显著性下降(  $P < 0.001$  )。结论 动物饲养室内花岗岩石材放射性核素释放的  $\gamma$  射线对动物机体的影响较室内氡大,提示了花岗岩石材不同放射性对小鼠的生育和幼鼠的存活产生不同程度的影响。

【关键词】 花岗岩石材; 放射性; 小鼠;  $\gamma$  射线; 室内氡

---

基金项目 广州市建设科技发展基金资助项目( 200020 )

作者单位 510182 广州医学院医学遗传与细胞生物学教研室( 梁敏仪、张锦宏、朱蔚云、黎银燕 );广州市环境监测中心站( 梁永禧、张松川、朱大明、李锦林、卢庆普 )

**Preliminary study on influences of radioactivity of residential granite building materials upon parent mice and their offspring** LIANG Min-yi\*, LIANG Yong-xi, ZHANG Jin-hong, et al. \* Department of Medical Genetics and Medical Cell Biology, Guangzhou Medical College, Guangzhou 510182, China

**【Abstract】 Objective** To observe the effects of radioactivity of the residential granite building materials on the survival and fertility of mice. **Methods** The radioactivities of A, B, C, and D granite building materials were measured and screened by gamma-ray spectrometer, and then these materials were placed into the mice cages. The residential radon was measured with solid state nuclear track detectors and 24-hour continuous measurement. Ninety-six healthy and ablated mice were randomly selected and put into the four animal cages with different levels of radioactivity, and fed for 120 days. Mice mated and bred naturally. The fertilities and survivals of P, F<sub>1</sub>, and F<sub>2</sub> generation were observed and analyzed. **Results** External exposures in the four mice cages were higher than those from the internal exposure. The differences of rates of pregnancy, abortion, and infertility between the P and F<sub>1</sub> generations had no statistical significance among all the groups after being fed for 120 days ( $P > 0.05$ ). There was significant difference among each group in the fertility of F<sub>1</sub> generation ( $P < 0.001$ ), and the survival rates of the offspring were decreased with increase of radioactivity in granite building materials ( $P < 0.001$ ). **Conclusion** Compared with the residential radon, the gamma rays released from the granite building materials had a greater influence on animals. The study suggested that different granite building materials had different influences on the survival and fertility of mice.

**【Key words】** Granite building materials; Radioactivity; Mice;  $\gamma$ -ray; Residential radon

居室环境污染与健康危害问题一直是全球关注的热点,各式各样的花岗岩石材已成为家庭装修常用的一种建筑材料。然而,花岗岩石材普遍都存在天然放射性元素镭、钍、钾等,这些元素蜕变会产生不同放射性水平的  $\gamma$  射线、氡等。有学者研究发现,人类居室的放射性主要来自于天然花岗石、工业废渣砖和新型彩釉砖所释放的氡和  $\gamma$  射线<sup>[1-5]</sup>。近年来,氡的辐射危害报道较多,但对居室内建筑材料的氡辐射与肺癌、白血病等恶性肿瘤的发生有关联这一观点尚有不同的看法<sup>[6-9]</sup>。然而,低辐射的  $\gamma$  射线对生物体是否造成影响?国内外报道极少,特别是居室中氡和  $\gamma$  射线中哪个对机体的生育和生存影响较大?国内外尚未见报道。本研究选用 4 类放射性核素含量不同的天然花岗岩石材,模拟一般家庭的居住环境饲养小鼠,观察小鼠生存和生殖的情况,初步评价居室内花岗岩石材的辐射污染以及对动物机体的影响。

## 材料和方法

1. 实验材料:健康刚断奶的(20~21 d 龄)普通级昆明小鼠 96 只(由广州医学院实验动物中心提供。粤检证字 2002A045 号),雌雄各半。花岗岩建材样品均来自广东省内建材市场销售的产品。

### 2. 天然花岗岩石材放射性的测量

(1)  $\gamma$  能谱分析方法:天然花岗岩石材是由广东石材产品质量监督检验站用美国 ORTEC 公司  $\mu$ NOMAD 型 NaI 低本底(配以 11 cm 壁厚的铅屏蔽室)多道  $\gamma$  能谱仪根据 GB/T 11743-1989 放射性核素

$\gamma$  能谱分析方法测定。并按照中华人民共和国国家标准<sup>[10]</sup>筛选出 A、B、C、D 超 C 类 4 类放射性不同的花岗岩石材用于动物饲养实验。

(2) 室内氡浓度的测量:根据《住宅内氡浓度控制标准》<sup>[11]</sup>和《民用建筑工程室内环境污染控制规范》<sup>[12]</sup>中关于氡浓度测量的有关规定,本实验采用了两种测氡方法:①径迹蚀刻测量法:分别在 4 类放射性不同的小鼠饲养实验室内放置氡杯(每室 2 个),从动物饲养时开始放置,共放置 120 d。氡杯由卫生部放射卫生防护监督监测所监制并做氡浓度的测量。②用连续测氡仪(PCMR-1 型)分别测量 4 类放射性不同的小鼠饲养室内 24 h 的氡浓度(由广州市环境监测中心站检测)。实验期间共测量 2 次。

3. 实验环境与分组:把动物饲养室分隔成彼此不连通的 4 间自然环境相同的居室,室内正常通风。各室的小鼠笼底均模拟人类居室环境放置 A、B、C、D 4 类放射性不同的花岗岩石材,上铺垫料。把 96 只刚断奶的健康小鼠随机分成 4 组,每组 24 只,雌雄各半,在放置了相应的花岗岩石材的小鼠笼中饲养。

4. 花岗岩石材放射性影响亲代和子代小鼠生育力的实验:正常健康仔鼠分组饲养 28 d 后待其性成熟,把 A、B、C、D 各实验组内的小鼠随机配为 12 对,让其自然交配并生育后代。亲代(P 代)小鼠共饲养 120 d(约生育 2 胎小鼠)。每实验组内随机取同一组别不同笼的子一代(F<sub>1</sub> 代)小鼠共 24 只,随机配为 12 对,让其交配并生育后代(F<sub>2</sub> 代),F<sub>1</sub> 代小鼠共饲养 120 d。F<sub>2</sub> 代小鼠共饲养 70 d。

表 1 天然花岗岩石材的放射性水平及对小鼠的有效吸收剂量当量

类别	石材	核素比活度( Bq/kg )			I <sub>Ra</sub>	I <sub>γ</sub>	H <sub>内</sub>	H <sub>外</sub>	H <sub>总</sub>	H <sub>总</sub> ( mSv )
		C <sub>Ra</sub>	C <sub>Th</sub>	C <sub>K</sub>			( mSv/h )	( × 10 <sup>-4</sup> mSv/h )	( × 10 <sup>-4</sup> mSv/h )	120 d( 2880 h )
A	阳江红	39.9	91.3	1319.6	0.20	0.77	1.70 × 10 <sup>-5</sup>	1.29	1.46	0.421
B	台山红	183.7	235.3	955.0	0.92	1.63	7.63 × 10 <sup>-5</sup>	2.71	3.48	1.001
C	加洲金麻	157.9	322.2	1135.6	0.79	1.94	6.72 × 10 <sup>-5</sup>	3.20	3.87	1.115
D	芬兰红	265.2	497.7	2650.5	1.33	3.26	1.13 × 10 <sup>-4</sup>	5.41	6.54	1.884

分别取上述各实验组的 P 代和 F<sub>1</sub> 代小鼠 ,观察记录 P 代和 F<sub>1</sub> 代的受孕鼠数、不育鼠数(雌雄鼠合笼后没有生育的)、生育活仔鼠数和生育死仔鼠数(每代均统计 2 胎次的仔鼠数量)、流产鼠数(雌雄鼠合笼交配后 ,每天检查雌鼠阴道 ,以有阴道栓为受孕标志 ,受孕后观察至分娩期仍没有生育小鼠者为流产鼠。)、幼鼠的死亡率和生存率(统计时间从幼鼠出生后至性成熟交配前 )等指标进行统计学分析。

5. 统计学处理 :实验数据应用 SPSS 11.0 软件进行处理。受孕率、不育率和流产率用 Crosstabs 分析 ,其余数据用 One-Way ANOVA 分析。显著性水准为 α = 0.05。

结 果

1. 天然花岗岩石材放射性及对小鼠的有效吸收剂量统计结果

(1) γ 能谱分析方法测定花岗岩石材的吸收剂量 :天然花岗岩石材通过 γ 能谱分析方法进行<sup>232</sup>Th、<sup>226</sup>Ra、<sup>40</sup>K 的比活度检测 ,按照 2002 年 1 月实施的国家新标准<sup>[10]</sup> ,根据 C<sub>Ra</sub>、C<sub>Th</sub>、C<sub>K</sub> 的检测结果 ,分别计算出 4 类花岗岩石材的内照射指数( I<sub>Ra</sub> )和外照射指数( I<sub>γ</sub> )。内照射指数是指建筑材料中<sup>226</sup>Ra 的比活度与其仅考虑内照射时的比活度限值之比 :I<sub>Ra</sub> = C<sub>Ra</sub>/200 ,外照射指数是指建筑材料中<sup>226</sup>Ra、<sup>232</sup>Th 和<sup>40</sup>K 的比活度与其各自单独存在且仅考虑外照射时的比活度限值之比的总和 :I<sub>γ</sub> = C<sub>Ra</sub>/370 + C<sub>Th</sub>/260 + C<sub>K</sub>/4200。表 1 结果显示 ,A 类石材的外照射指数呈明显的剂量效应 ,D 类石材的内外照射指数均比其他 3 类石材高。

根据 4 类花岗岩石材的核素比活度 ,计算小白鼠在动物饲养室内接受内外照射的年平均小时有效剂量当量( mSv/h )以及小白鼠实验饲养 120 d 所接受的总照射剂量<sup>[13]</sup> ,见表 1。室内氡内照射小时剂量当量 H<sub>内</sub> = 13.8 × C<sub>Ra</sub> ; H<sub>外</sub> = 0.7 × 0.72D<sub>空气</sub> = 0.7 × ( 2.5 C<sub>Ra</sub> × 3.26 C<sub>Th</sub> × 0.217 C<sub>K</sub> )(注 :小白鼠全天都在动物饲养室内生活 ,故不乘以 0.72 的居留因子 )。

从 H<sub>内</sub> + H<sub>外</sub> = H<sub>总</sub> ,H<sub>内</sub>/H<sub>外</sub> 的计算公式的结果来看 , A、B、C、D 4 类花岗岩石材对动物机体进行体外照射的剂量当量分别占 88%、78%、83% 和 83% ,而氡的内照射剂量当量分别只占 12%、22%、17% 和 17%。从中可见 ,小鼠饲养室内 γ 射线比氡影响更大。

(2) 动物饲养室内氡浓度的测量结果 :对 4 类放射性不同的小鼠饲养室进行径迹蚀刻测量法和连续测氡仪检测法测量室内氡浓度(表 2) ,两者的结果均显示 ,B 类花岗岩石材释放的氡浓度最高 ,其次为 D 类和 C 类 ,A 类石材的氡含量最低 ,这与表 1 所测定的结果基本是吻合的。

表 2 4 类小鼠饲养实验室内氡浓度的测量结果

类别	径迹蚀刻测量法		连续测氡仪检测法	
	放置时间 ( d )	氡浓度 ( Bq/m <sup>3</sup> )	测量时间 ( h )	氡浓度 ( Bq/m <sup>3</sup> )
A	120	40.1	24	18.0
B	120	85.1	24	75.2
C	120	61.3	24	22.8
D	120	66.3	24	58.0

2. 花岗岩石材放射性对小鼠生育力的影响

小白鼠在 4 类放射性不同的动物室内饲养 ,经统计学分析 ,各实验组 P 代和 F<sub>1</sub> 代小鼠的受孕率、流产率和不育率各组间均无统计学意义( P > 0.05 )。但从表 3 可见 ,F<sub>1</sub> 代孕鼠的流产率随着花岗岩石材的放射性增高而有所提高。经单因素方差分析 P 代和 F<sub>1</sub> 代配对亲鼠的生育能力 ,F<sub>1</sub> 代各实验组间生育活仔鼠数差异有统计学意义( F = 7.735 ,P < 0.001 )。经组间两两比较显示 ,D 组的 P 代和 F<sub>1</sub> 代生育活仔鼠数比 A、B 组明显地减少( P < 0.05 , P < 0.001 ) ,而 C 组 F<sub>1</sub> 代小鼠生育活仔鼠数也比 A 组有所减少( P < 0.05 )。另外 ,D 组 F<sub>1</sub> 代小鼠的生育死亡仔鼠的数量也比 A 组多( P < 0.05 )。

3. 花岗岩石材放射性对幼鼠生存的影响

动物饲养室内不同程度的放射性对幼鼠生存产生一定的影响。从表 4 可见 ,D 组 F<sub>1</sub> 代幼鼠的存活数比 A 组显著性减少( P < 0.05 ) ,而各组间的幼鼠死亡数则差异无统计学意义( P > 0.05 )。F<sub>2</sub> 代的幼

表 3 天然花岗岩石材放射性对 P 代和 F<sub>1</sub> 代小鼠生育力的影响

组别		交配小鼠数 (对)	孕鼠数 (只)	受孕率 (%)	不育率 (%)	流产率 (%)	生育仔鼠总数 (只)	生育活仔鼠数 ( $\bar{x} \pm s$ )	生育死仔鼠数 ( $\bar{x} \pm s$ )
P 代	A	12	12	100.00	0	0	257	21.17 ± 2.48	0.25 ± 0.62
	B	12	12	100.00	0	0	247	20.17 ± 3.21	0.42 ± 0.79
	C	12	12	100.00	0	4.17	233	18.92 ± 3.32	0.50 ± 1.00
	D	12	11	91.67	8.33	4.55	212	17.17 ± 3.56 <sup>*△</sup>	0.50 ± 1.17
F <sub>1</sub> 代	A	12	12	100.00	0	4.0	247	20.42 ± 2.81	0.17 ± 0.58
	B	12	11	91.67	8.33	9.10	203	17.73 ± 3.35	0.73 ± 1.10
	C	12	11	91.67	8.33	13.04	182	15.64 ± 3.14 <sup>*</sup>	0.91 ± 1.14
	D	12	10	83.33	16.67	19.05	153	13.60 ± 4.58 <sup>#△</sup>	1.40 ± 1.43 <sup>*</sup>

注 :与 A 组比较<sup>\*</sup>  $P < 0.05$  ,<sup>#</sup>  $P < 0.001$  ;与 B 组比较<sup>△</sup>  $P < 0.05$

表 4 天然花岗岩石材放射性对 F<sub>1</sub> 代和 F<sub>2</sub> 代幼鼠存活的影响

组别		仔鼠总数 (只)	幼鼠存活数 ( $\bar{x} \pm s$ )	幼鼠死亡数 ( $\bar{x} \pm s$ )
F <sub>1</sub> 代	A	254	20.33 ± 2.99	0.83 ± 1.03
	B	242	19.08 ± 3.63	1.08 ± 1.44
	C	227	17.67 ± 4.21	1.25 ± 1.66
	D	206	16.82 ± 5.29 <sup>*</sup>	1.91 ± 2.07
F <sub>2</sub> 代	A	245	19.75 ± 2.42	0.67 ± 0.89
	B	195	16.00 ± 3.00 <sup>*</sup>	1.73 ± 1.35
	C	172	14.00 ± 4.00 <sup>*</sup>	1.64 ± 1.36
	D	139	11.80 ± 5.18 <sup>#△</sup>	2.10 ± 1.73 <sup>*</sup>

注 :与 A 组比较<sup>\*</sup>  $P < 0.05$  ,<sup>#</sup>  $P < 0.001$  ;与 B 组比较<sup>△</sup>  $P < 0.05$

鼠存活数各组间差异有统计学意义(  $F = 9.138$  , $P < 0.001$  ) ,并随着饲养室的放射性增高 ,幼鼠的生存数量则逐渐下降。另外 ,F<sub>2</sub> 代 D 组中幼鼠的死亡数也比其他各组高(  $P < 0.05$  )。

讨 论

花岗岩石材是众多家庭选择作为居室装修的一种建筑材料。花岗岩石材由于存在镭、钍、钾等天然性核素而具有一定的放射性。不同种类的花岗岩其放射性有所不同。据报道 ,在居室装修中所使用的花岗岩石材有部分超出国家规定的标准<sup>[11]</sup> ,还有学者检测发现居室内花岗岩石材所含的核素比陶瓷、木地板等其他建材高<sup>[14]</sup>。

本研究采用  $\gamma$  能谱分析方法按照国家标准筛选出 4 类放射性不同的花岗岩石材 ,表 1 显示了在 4 类石材中 ,A 类(阳江红)花岗岩石材放射性偏低 ,未超出国家规定的标准<sup>[10]</sup> ,可看作正常对照组。而 B、C、D 类石材均具有超标的放射性 ,其强度依次递增。根据《建筑材料放射性核素限量》的国家标准<sup>[10]</sup> ,除了 A 类花岗岩石材外 ,其余 3 类均不可用于居室内作为内饰面。但实际上 ,在我国 B、C、D 类花岗岩石材往往混淆在建材市场上被人们用于居室内的装修<sup>[15]</sup>。因此 ,这些石材可能会对人体健康产生不同

程度的潜在的辐射危害。

居室内花岗岩石材的辐射污染主要是放射性核素释放的  $\gamma$  射线和氡水平。本研究检测和评价了这两类放射源对小鼠的生存和生殖的影响 ,结果显示了 B、C、D 类小鼠饲养室内花岗岩石材核素含量超标 ,而室内氡含量不超标。且各类石材  $\gamma$  射线的外照射剂量当量比氡的内照射剂量当量高出 4 ~ 5 倍。从理论上来讲 ,室内氡水平与建材核素含量等氡源密切相关 ,但建筑材料放射性核素含量超标不一定使室内氡超标 ,其原因可能与建材中的 C<sub>Ra</sub>、C<sub>Th</sub> 的含量比例、表面析出率、石质结构以及室内通风状况等有关<sup>[2,5]</sup>。由于本实验中各动物饲养室内环境正常通风 ,而使 4 类饲养室内的氡浓度没有超标且各室差异不大。因此 ,在各实验组小鼠饲养环境条件相同的情况下 ,本实验小鼠健康和生存质量下降的主要影响因素是花岗岩石材放射性核素释放的  $\gamma$  射线。

花岗岩石材中的核素<sup>226</sup>Ra、<sup>232</sup>Th、<sup>40</sup>K 所释放的  $\gamma$  射线可直接对生物体造成外照射。为了探讨低辐射的  $\gamma$  射线对生物体所产生的遗传效应 ,本研究把小白鼠置于 4 类放射性不同的动物室内饲养和观察 3 代小鼠的生存和生育情况。虽然 B、C、D 类实验组小鼠的受孕率、流产率和不育率与 A 组相比没有统计学意义 ,但表 3 结果表明了随着花岗岩石材的放射性增高而母鼠的生育力下降 ,并呈现出明显的剂量效应。另外 ,随着饲养的时间增加 ,小白鼠暴露在放射性超标的环境下生长的时间越长 ,其生育能力也越低。

花岗岩石材释放的  $\gamma$  射线不仅能影响小鼠的生育能力 ,对幼鼠的生存也存在一定的威胁。随着暴露在超标的  $\gamma$  射线环境下的时间越长或总照射剂量越高 ,幼鼠的存活率也越低。这体现在 F<sub>2</sub> 代幼鼠存活数比 F<sub>1</sub> 代明显减少 ,而幼鼠的死亡数却有所增

加。由此可见 A 类小鼠饲养室的  $\gamma$  射线水平与幼鼠的生存和死亡都存在着明显的剂量效应。

综上所述,放射性超标的 B、C、D 类花岗岩石材对动物机体会产生相应的辐射危害和遗传效应,并随着生物体在该环境暴露的时间越长,亦即受照射的剂量累积越多,对饲养室内动物生育和子代幼体的生存产生的影响也就越大。因此,家居装修选用花岗岩石材作为内饰面时,应严格按照国家规定的标准<sup>[10]</sup>,不宜使用放射性超标的 B 类以上的花岗岩石材,否则,会对人体及后代的健康产生影响。

### 参 考 文 献

- 1 吴若宁. 花岗岩建材装修对住宅辐射的影响. 中华放射医学与防护杂志 2004 24 282-283.
- 2 黄丽华, 陈纪溪, 徐利亚, 等. 进口花岗岩石材中天然放射性水平检测分析. 海峡预防医学杂志 2004 10 4-7.
- 3 胡芳芳, 沈卫星. 杭州市成品花岗岩表面  $\gamma$  辐射剂量水平调查.

中华放射医学与防护杂志, 2000 20 215.

- 4 王昆山, 李永福. 花岗岩板材的放射性及其对公众的影响. 工业卫生与职业病 2001 27 176-178.
- 5 武丽, 王建华, 秦文华, 等. 石材及其他建材的放射性核素分析与评价. 中国辐射卫生 2001 10 216.
- 6 Graham WG, Costello J, Vacek PM. Vermont granite mortality study: an update with an emphasis on lung cancer. J Occup Environ Med, 2004, 46 459-466.
- 7 Steinbuch M, Weinberg CR, Buckley JD, et al. Indoor residential radon exposure and risk of childhood acute myeloid leukaemia. Br J Cancer, 1999, 81 900-906.
- 8 Lubin JH, 王作元, 王陇德, 等. 住宅室内氡浓度的时间空间变化对肺癌危险度的影响. 辐射防护 2004 24 279-288.
- 9 Kreuzer M, Heinrich J, Wolke G, et al. Residential radon and risk of lung cancer in Eastern Germany. Epidemiology, 2003, 14 559-568.
- 10 GB 6566-2001. 建筑材料放射性核素限量[S].
- 11 GB/T 16146-1995. 住宅内氡浓度控制标准[S].
- 12 GB 50325-2001. 民用建筑工程室内环境污染控制规范[S].
- 13 吴茂良. 居室放射性. 四川环境, 1999 18 6-9.

(收稿日期 2006-02-28)