

广州市不同功能区土壤铅的健康风险评估

陈海珍¹, 龚春生², 李文立³

摘要: [目的] 了解广州市不同功能区土壤铅(Pb)污染状况及其生物可给性, 初步探讨Pb生物可给量的影响因素, 评估不同功能区土壤Pb经口无意摄入途径的人体健康风险。[方法] 选择广州居民区、商业区、汽车站、文教区、医疗区和公园土壤为研究对象, 采用体外实验法模拟人体消化系统进行消化, 运用原子吸收分光光谱法测定胃、小肠消化阶段反应液中可溶态Pb和土壤Pb含量并计算其生物可给性, 根据Pb生物可给量进行健康风险评价。[结果] 广州市中小城区土壤Pb平均含量(90.34 mg/kg)高于广州市、广东省和中国土壤背景值($P < 0.05$)。土壤在模拟胃、小肠阶段中Pb平均生物可给性分别为36.55%、9.03%, 其中以公园最高(41.98%, 14.17%)。儿童和成人经口无意摄入途径的Pb平均摄入量分别为18.32、4.58 $\mu\text{g}/\text{d}$, 其中商业区最高(28.14、7.03 $\mu\text{g}/\text{d}$)。儿童在模拟胃阶段和小肠阶段中的Pb平均生物可给量分别为6.86、1.46 $\mu\text{g}/\text{d}$, 其中以商业区最高(13.03、2.03 $\mu\text{g}/\text{d}$); 成人在模拟胃阶段和小肠阶段中的Pb平均生物可给量则分别为1.72、0.36 $\mu\text{g}/\text{d}$, 其中商业区最高(3.26、0.51 $\mu\text{g}/\text{d}$)。儿童和成人在胃肠消化阶段中Pb生物可给量与土壤Pb总量有直线关系($P < 0.05$)。不同功能区土壤Pb对儿童和成人的健康绝对风险系数(K_a)以及模拟胃、小肠阶段的健康相对风险系数(K_{r1} 、 K_{r2}), 均未超过世界卫生组织(WHO)人体健康风险警戒线。[结论] 广州市不同功能区土壤Pb污染程度不同, 但不同功能区土壤Pb尚未超过WHO人体健康风险警戒线。

关键词: 体外模拟法; 土壤; 铅; 健康风险

Health Risk Assessment of Lead in Soils in Different Functional Areas of Guangzhou CHEN Hai-zhen¹, GONG Chun-sheng², LI Wen-li³ (1.School of Public Health, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou, Guangdong 510310, China; 2.Guangdong Provincial Academy of Environmental Science, Guangzhou, Guangdong 510045, China; 3.Centre for Disease Control and Prevention of Guangdong Province, Guangzhou, Guangdong 510300, China) • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To explore the bioaccessibility of Pb in soil and its influencing factors in different functional areas of Guangzhou, and to assess the health risk of hand-to-mouth exposure to Pb. [Methods] Triplicate soil samples were collected separately from 9 commercial districts, 9 bus stations, 9 residential areas, 6 education areas, 6 hospitals, and 7 parks in Guangzhou city as the research object. An *in vitro* digestion model was developed to assess bioaccessibility and health risks. Soluble Pb contents in simulated stomach and intestinal solutions, as well as Pb contents in soil, were determined using atomic absorption spectrometry. [Results] The mean content of Pb in soils of different functional areas (90.34 mg/kg) exceeded the Pb background values in soils of Guangzhou, Guangdong, and China, respectively ($P < 0.05$). The average bioaccessibility of Pb in the simulated stomach and intestinal phases were 36.55% and 9.03% respectively, in which the park soil presented the highest values (41.98%, 14.17%). The average intakes of Pb by oral exposure among children and adults were 18.32 $\mu\text{g}/\text{d}$ and 4.58 $\mu\text{g}/\text{d}$, respectively, in which the commercial district soil was the highest (28.14 $\mu\text{g}/\text{d}$, 7.03 $\mu\text{g}/\text{d}$). The average bioaccessible amounts of Pb for children in simulated gastric and intestinal phases were 6.86 $\mu\text{g}/\text{d}$ and 1.46 $\mu\text{g}/\text{d}$, with the highest values in the commercial district (13.03 $\mu\text{g}/\text{d}$, 2.03 $\mu\text{g}/\text{d}$); and those for adults were 1.72 $\mu\text{g}/\text{d}$ and 0.36 $\mu\text{g}/\text{d}$, respectively, also with the highest values in the commercial district (3.26 $\mu\text{g}/\text{d}$, 0.51 $\mu\text{g}/\text{d}$). There were good linear relationships between bioaccessible values and total Pb content in soil ($P < 0.05$). The values of absolute health risk coefficient (K_a) and the relative risk coefficients for simulated gastric phase (K_{r1}) and simulated intestinal phase (K_{r2}) in different functional areas were within the permitted maximum Pb intake levels for both children and adults as suggested by the World Health Organization (WHO). [Conclusion] Soil Pb contamination levels vary in different functional areas in Guangzhou, but not exceed the WHO human health risk warning line.

Key Words: *in vitro* simulation method; soils; lead; health risk

[作者简介] 陈海珍(1973—), 女, 硕士, 高级实验师; 研究方向: 环境医学; E-mail: chzpearl@163.com

[作者单位] 1. 广东药学院公共卫生学院, 广东 广州 510310; 2. 广东省环境科学研究院, 广东 广州 510045; 3. 广东省疾病预防控制中心, 广东 广州 510300

铅(Pb)是一种作用持久的毒物,机体摄入过量的Pb可导致多器官系统损伤,尤其是对脑、肾、血液系统毒害作用最为明显、严重。甚至可导致儿童、青少年产生智力障碍、行为异常等症状。随着工业的发展和城市化进程的加快,城市土壤重金属污染状况日趋严重^[1]。城市土壤重金属可通过皮肤吸收、吞食和吸入等途径直接进入人体,危害健康。随着食物链途径的重金属污染得到有效控制,经口无意摄入途径(手-口直接接触)逐渐成为人体重金属的主要来源^[2-3]。近年来土壤重金属污染的健康风险研究,从以前大多研究重金属通过食物链进入人体的重金属总量研究,逐渐转向重金属进入机体的有效性的健康风险研究^[4-5]。国际上多采用体外模拟法进行重金属经口摄入的研究^[5-8],国内在此方面研究尚不多见^[9-10]。有鉴于此,本研究拟以广州市为例,按照不同的土地利用方式对城市土壤进行分区采样,分析广州市土壤Pb含量分布,采用体外模拟实验研究不同功能区土壤Pb在胃、小肠消化阶段的生物可给性,探讨Pb生物可给量的影响因素,评估不同土地利用方式对城市土壤Pb经口无意摄入途径的健康风险,以期筛选、甄别可能危害人体健康的土壤,为人体健康风险评价提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品的布点和采集

选择广州中心城区(海珠区、荔湾区、越秀区、天河区、白云区、黄埔区)的居民区、商业区、公园、文教区、医疗区、汽车站等6个功能区为研究对象,共布设46个采样点,分别为居民区9个、商业区9个、公园7个、文教区6个、医疗区6个、汽车站9个。每个功能区的采样点随机布设。其中,商业区选择中心城区(即每个城区随机抽取1~2个样点)的江南大道商业区、上下九路商业区、东山商业区、体育西路—体育北路—岗顶一带的商业区、大沙路商业区、新市墟商业区为代表;汽车站选择长途汽车客运站为代表;医疗区选择三甲医院为代表;公园选择建成年限超过50年的公园为代表;居民区选择已建成的各种老住宅区、30年以上老居民区为代表;文教区选择广州本科院校为代表。每个采样点根据具体情况采用对角线法、棋盘式法、蛇形法等进行多点混合采样(每个采样点采3~5个样品,就地混合为一个样品),每个样品为1 kg左右,用不锈钢铲采集0~5 cm表层土壤。土样风干后研磨,按四分法依次过筛。过筛后(<250 μm 粒径,易于粘在手上并被摄入口部),样品装入聚乙烯塑料袋中备用。

1.2 仪器和试剂

主要仪器为:SHA-B型数显水浴恒温振荡器(江苏金坛宏华仪器厂),Z-2000型原子吸收光谱仪(日本日立公司)。主要试剂为:所用试剂均为分析纯,实验用水为去离子水;模拟胃液(2 L模拟胃液中含有胃蛋白酶2.50 g,苹果酸盐1.0 g,柠檬酸盐1.0 g,乙酸1.00 mL,乳酸0.84 mL,并用12 mol/L的HCl调节pH为1.5)。

1.3 方法

土壤酸碱度测定采用电位法(GB 7859—87《森林土壤pH值的测定》)。土壤有机质测定采用重铬酸钾氧化法(GB 7857—87《森林土壤有机质的测定》)。土壤重金属Pb采用

HNO₃-HCl-HClO₄法消解,原子吸收光谱法测定。Pb测定采用空白样和加标回收样进行质量控制。随机抽取3份土样进行低、中、高含量的加标回收试验,加标回收率均在90%~110%范围;随机抽取3份土样分别进行6份平行样测定,相对标准偏差均<5%。

体外模拟法参考文献方法^[5-7]。体外模拟法包括模拟胃阶段和小肠阶段实验。(1)模拟胃阶段实验:在100 mL聚乙烯的反应器中加入0.8000 g的待测土壤和80 mL模拟胃液,加盖密封后,置于振荡频率为150 r/min的恒温振荡器中,温度37℃振荡1 h,振荡后吸取上清液4 mL过0.45 μm滤膜,在Z-2000型原子吸收光谱仪测定Pb含量。(2)模拟小肠阶段实验:用NaHCO₃饱和溶液将上述反应液的pH调至7.00,并加入胆盐105 mg,胰酶30 mg。置于振荡频率150 r/min的恒温振荡器中,温度37℃振荡4 h,振荡后吸取上清液20 mL过0.45 μm滤膜,在Z-2000型原子吸收光谱仪测定Pb含量。同步做2份空白实验。

1.4 计算方法^[2, 9-10]

1.4.1 人体在胃、小肠消化阶段的生物可给性 人体在胃、小肠消化阶段中生物可给性的计算公式为: $BA(\%) = (C_{IV}V_{IV}/C_S M_S) \times 100$ 。式中:BA—Pb在人体消化系统中的生物可给性,%; C_{IV} —体外实验模拟胃、小肠阶段反应液中Pb的可溶态总量,mg/L; V_{IV} —各反应器中反应液的体积,L; C_S —土样中Pb总量,mg/kg; M_S —加入反应器中的土样质量,kg。

1.4.2 Pb摄入量 根据美国环境保护署(USEPA)推荐土壤摄入量,日平均经口无意摄入途径的Pb摄入含量的计算公式为: $W_m = C_m \times W_{soil}$ 。式中: W_m —Pb摄入量,μg/d; C_m —土壤Pb含量,μg/g; W_{soil} —日均土壤摄入量,USEPA推荐儿童误食土壤的摄入量为0.2 g/d,成人0.05 g/d。

1.4.3 Pb生物可给量 即每日摄入人体内中可被吸收Pb含量,计算公式为: $W_A = W_m \times BA$ 。式中: W_A —日可吸收的Pb含量,μg/d; W_m —Pb的日摄入量,μg/d; BA—Pb的生物可给性,%。

1.4.4 土壤Pb对人的健康风险系数 健康绝对风险系数 K_a 的计算公式为: $K_a = W_m/TDI$ 。式中:健康绝对风险系数 K_a , W_m —Pb的摄入量,μg/d; TDI—每日可耐受摄入量,μg/d。

健康相对风险系数(K_r)的计算公式为: $K_r = W_A/TDI$ 。式中: K_r —健康相对风险系数, W_A —日可吸收的重金属量,μg/d; TDI—每日可耐受摄入量,μg/d。

1.5 健康风险评价方法^[2, 9-10]

世界卫生组织(WHO)提出,成人Pb的TDI为50 μg/kg,对于体重为60 kg成人来说,每日对Pb的摄入不应超过429 μg/d。而儿童的Pb的TDI为25 μg/kg,按15 kg计算,则每日对Pb的摄入不应超过54 μg/d。 K_a 和 K_r 值为1时,定为WHO人体健康风险警戒线。若两者的数值大于1,即表明该处土壤Pb的人体健康风险度超过WHO人体健康风险警戒线。 K_a 和 K_r 值越大,则人体健康风险系数越高。

1.6 统计分析

采用SPSS 16.0统计软件包对数据资料进行统计分析。土壤Pb含量分布呈正态分布,其与背景值比较采用t检验;不同功能区Pb含量分布差异采用方差分析;不同功能区儿童、成

人 Pb 摄入量分布呈正态分布, 其差异比较采用方差分析; 不同功能区儿童、成人在模拟胃阶段中 Pb 生物可给量分布呈正态分布, 其差异比较采用方差分析; 不同功能区儿童、成人在模拟肠阶段中 Pb 生物可给量分布呈非正态分布, 其差异比较采用秩和检验; 胃肠消化阶段 Pb 生物可给量与土壤 Pb 总量、有机质和 pH 值的相关关系采用 Pearson 相关分析; 胃肠消化阶段 Pb 生物可给量与土壤 Pb 总量、有机质和 pH 值的关系采用线性回归分析。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 广州市中心城区土壤 Pb 含量分布

广州市中心城区土壤 Pb 平均含量 (90.34 mg/kg) 高于广州市^[11] ($t=5.45$, $P<0.001$)、广东省^[12] ($t=6.85$, $P<0.001$) 和中国土壤背景值^[12] ($t=8.11$, $P<0.001$)。不同功能区 Pb 含量的差异存在统计学意义 ($F=2.50$, $P=0.046$), 其中以商业区 Pb 平均含量最高 (140.70 mg/kg), 经进一步多重比较, 商业区 Pb 平均含量高于其他 5 个功能区 ($P<0.05$) (表 1)。

表 1 广州市中心城区土壤 Pb 分布 (mg/kg)

Table 1 The distribution of soil Pb concentrations in different functional zones of Guangzhou

功能区 (Functional zone)	范围 (Range)	$\bar{x} \pm s$
商业区 (Commercial district)	76.21~369.70	140.70 $\pm$ 29.98
汽车站 (Bus station)	31.31~126.64	81.72 $\pm$ 10.31
居民区 (Residential area)	37.86~128.74	76.20 $\pm$ 31.99
文教区 (Educational area)	37.86~131.10	78.31 $\pm$ 12.07
医疗区 (Hospital)	28.59~90.36	70.95 $\pm$ 9.33
公园 (Park)	32.25~166.18	92.13 $\pm$ 41.36
合计 (Total)	28.59~369.70	90.34 $\pm$ 53.84

2.2 广州市中心城区土壤不同消化阶段的 Pb 生物可给性

广州市中心城区土壤在模拟胃阶段的 Pb 平均生物可给性为 36.55%, 其范围为 13.01%~72.54%, 不同功能区 Pb 平均生物可给性以公园 (41.98%)、商业区 (39.65%) 较高, 其他功能区变幅为 28.32%~34.78%; 在模拟小肠阶段的 Pb 平均生物可给性为 9.03%, 其范围为 2.70%~47.24%, 不同功能区 Pb 平均生物可给性以公园最高 (14.17%), 其他功能区变幅为 6.94%~9.81% (表 2)。

表 2 广州市中心城区土壤不同模拟消化阶段的 Pb 生物可给性 (%)

Table 2 The oral bioaccessibility of Pb in gastro-intestinal phase

功能区 Functional zone	胃阶段 (Gastric phase)		小肠阶段 (Intestinal phase)	
	范围 (Range)	$\bar{x} \pm s$	范围 (Range)	$\bar{x} \pm s$
商业区 Commercial district	13.14~70.46	39.65 $\pm$ 18.41	3.63~13.92	6.94 $\pm$ 3.36
汽车站 (Bus station)	13.01~68.61	34.78 $\pm$ 21.00	3.46~17.41	8.48 $\pm$ 4.33
居民区 Residential area	16.42~37.72	28.32 $\pm$ 6.23	3.40~13.88	8.28 $\pm$ 3.87
文教区 Educational area	16.42~48.28	33.71 $\pm$ 12.46	5.94~14.51	9.81 $\pm$ 3.46
医疗区 (Hospital)	21.81~56.60	31.95 $\pm$ 13.65	4.25~18.66	7.32 $\pm$ 5.64
公园 (Park)	23.76~72.54	41.98 $\pm$ 15.81	2.70~47.24	14.17 $\pm$ 15.02
合计 (Total)	13.01~72.54	36.55 $\pm$ 19.18	2.70~47.24	9.03 $\pm$ 6.97

2.3 广州市中心城区儿童和成人经口无意摄入途径的 Pb 摄入量

广州市中心城区土壤儿童 Pb 平均摄入量为 18.32 $\mu\text{g/d}$, 其中以商业区 Pb 摄入量最高 (28.14 $\mu\text{g/d}$), 其他依次为公园 (18.43 $\mu\text{g/d}$) > 汽车站 (17.61 $\mu\text{g/d}$) > 居民区 (15.24 $\mu\text{g/d}$) > 医疗区 (14.24 $\mu\text{g/d}$) > 文教区 (13.19 $\mu\text{g/d}$); 经方差分析, 不同功能区儿童 Pb 摄入量的分布差异无统计学意义 ($F=2.34$, $P=0.059$)。

广州市中心城区土壤成人的 Pb 平均摄入量为 4.58 $\mu\text{g/d}$, 其中以商业区 Pb 摄入量最高 (7.03 $\mu\text{g/d}$), 其他依次为公园 (4.61 $\mu\text{g/d}$) > 汽车站 (4.40 $\mu\text{g/d}$) > 居民区 (3.81 $\mu\text{g/d}$) > 医疗区 (3.56 $\mu\text{g/d}$) > 文教区 (3.30 $\mu\text{g/d}$); 不同功能区成人 Pb 摄入量的分布差异无统计学意义 ($F=2.34$, $P=0.059$)。

2.4 广州市中心城区儿童和成人不同消化阶段 Pb 生物可给量

广州市中心城区的儿童在模拟胃和小肠阶段中的 Pb 平均生物可给量分别为 6.86、1.46 $\mu\text{g/d}$, 均以商业区最高 (13.03、2.03 $\mu\text{g/d}$), 其他依次为公园 (8.12、1.96 $\mu\text{g/d}$) > 汽车站 (5.27、1.37 $\mu\text{g/d}$) > 文教区 (4.84、1.23 $\mu\text{g/d}$) > 居民区 (4.41、1.14 $\mu\text{g/d}$) > 医疗区 (4.26、0.83 $\mu\text{g/d}$); 经统计分析, 不同功能区儿童在模拟胃阶段中和小肠阶段中 Pb 生物可给量的分布差异无统计学意义 (胃阶段 $F=1.94$, $P=0.109$; 小肠阶段 $H=4.43$, $P=0.498$)。

广州市中心城区的成人在模拟胃和小肠阶段中的 Pb 平均生物可给量分别为 1.72、0.36 $\mu\text{g/d}$, 均以商业区最高 (3.26、0.51 $\mu\text{g/d}$), 其他依次为公园 (2.03、0.49 $\mu\text{g/d}$) > 汽车站 (1.32、0.34 $\mu\text{g/d}$) > 文教区 (1.21、0.31 $\mu\text{g/d}$) > 居民区 (1.10、0.28 $\mu\text{g/d}$) > 医疗区 (1.06、0.21 $\mu\text{g/d}$); 经统计分析, 不同功能区成人在模拟胃、小肠阶段中 Pb 生物可给量的分布差异无统计学意义 (胃阶段 $F=1.94$, $P=0.109$; 小肠阶段 $H=4.43$, $P=0.498$)。

2.5 Pb 生物可给量与土壤 Pb 总量、pH 和有机质关系

儿童、成人在胃肠消化阶段中 Pb 生物可给量与土壤 Pb 总量、有机质存在正相关关系; 儿童、成人在胃肠消化阶段中 Pb 生物可给量与 pH 不存在相关关系 (表 3)。进一步对 Pb 生物可给量与土壤 Pb 总量、有机质、pH 进行逐步线性回归分析, 结果表明, 儿童在胃肠消化阶段中 Pb 生物可给量与土壤 Pb 总量呈线性关系 ($t=12.60$, $P<0.001$), 直线回归方程为 $y=0.137x-4.02$ ($R^2=0.78$)。成人在胃肠消化阶段中 Pb 生物可给量与土壤 Pb 总量呈线性关系 ($t=12.60$, $P<0.001$), 直线回归方程为 $y=0.034x-1.005$ ($R^2=0.78$)。

表 3 Pb 生物可给量与土壤 Pb 总量、pH 和有机质的 Pearson 相关分析

Table 3 Pearson's correlation coefficients between Pb oral bioavailability and total Pb content, pH and organic matters

生物可给量 Bioaccessible value	相关系数 (r) Correlation coefficient		
	土壤 Pb 总量 Total Pb content	pH	有机质 Organic matters
儿童 Children	胃阶段 (Gastric phase)	0.884*	0.080
	小肠阶段 (Intestinal phase)	0.698*	0.163
	合计 (Total)	0.885*	0.092
成人 Adults	胃阶段 (Gastric phase)	0.884*	0.080
	小肠阶段 (Intestinal phase)	0.698*	0.163
	合计 (Total)	0.885*	0.092

[注]*: $P<0.05$ 。

2.6 土壤 Pb 对人的健康风险评价

不同功能区土壤 Pb 对儿童的平均健康绝对风险系数 (K_a) 为 0.34, 模拟胃和小肠阶段的健康相对风险系数分别为 K_{r1} =0.13, K_{r2} =0.03, 未超过 WHO 人体健康风险警戒线。不同功能区土壤 Pb 对成人的 K_a 为 0.011, K_{r1} 为 0.0040, K_{r2} 为 0.0008, 未超过 WHO 人体健康风险警戒线。在 6 个功能区中, 商业区儿童和成人的 K_a 、 K_{r1} 、 K_{r2} 均为最高, 但均未超过 WHO 人体健康防线警戒线(表 4)。

表 4 不同功能区土壤 Pb 对儿童和成人的健康风险系数

Table 4 Health risk of exposure to soil Pb pollution for children and adults

功能区 Functional zone	儿童 Children			成人 Adults		
	K_a	K_{r1}	K_{r2}	K_a	K_{r1}	K_{r2}
商业区 Commercial district	0.52	0.24	0.04	0.020	0.0076	0.0012
汽车站 Bus station	0.33	0.10	0.03	0.010	0.0031	0.0008
居民区 Residential area	0.28	0.08	0.02	0.009	0.0026	0.0006
文教区 Educational area	0.24	0.09	0.02	0.008	0.0028	0.0007
医疗区 Hospital	0.26	0.08	0.02	0.008	0.0025	0.0005
公园 Park	0.34	0.15	0.04	0.011	0.0047	0.0011
合计 Total	0.34	0.13	0.03	0.011	0.0040	0.0008

3 讨论

广州市中心城区土壤 Pb 平均含量 (90.34 mg/kg) 高于广州市^[11]、广东省^[12]和中国土壤背景值^[12], 土壤 Pb 平均含量分别是广州市、广东省和中国土壤背景值的 1.92、2.51、3.47 倍。84.78% 土壤样品中的 Pb 含量超过广州市土壤背景值, 不同功能区土壤 Pb 含量为广州市土壤背景值的 1.51~2.99 倍, 说明广州城市土壤 Pb 污染程度不一, 均已受到外界人为活动因素的影响。不同城市功能区具有不同的土地利用特征, 人类活动所施加的影响也不同。在 6 个功能区中, 以商业区 Pb 含量 (140.70 mg/kg) 最高, Pb 含量高于汽车站、居民区、文教区、医疗区和公园, 这可能是商业区为金融办公娱乐地带, 人流车流密集区, 商场众多, 餐饮店多, 污染来源较复杂所致。据研究^[13-14]表明, Pb 主要来源于汽车尾气的排放、燃料及润滑油的泄漏以及轮胎和机械部件的磨损, 造成道路两旁土壤重金属 Pb 含量较高; 城市土壤的铅含量与交通流量及人口密度密切相关, 交通流量和人口密度 (对数) 与表层土壤铅含量呈正比^[15]。由此可见人类活动尤其是交通运输对商业区土壤重金属具有较大的贡献。

体外模拟实验中, 广州市不同功能区土壤 Pb 在模拟胃消化阶段的平均生物可给性 (36.55%), 远远高于小肠消化阶段 (9.03%), 此结果与以往研究报道一致^[2, 10]。说明 Pb 在胃阶段的生物可给性相当高, 其原因可能是胃部强酸性环境下 Pb 的活性较高有关, 而小肠液呈中性或弱碱性, 由于胃蛋白酶沉淀、

Pb 化合物沉淀, 导致可溶性 Pb 含量明显下降。本研究中的不同功能区土壤模拟人体消化系统 Pb 生物可给性变幅较大, 其中胃阶段为 13.01%~72.54%, 小肠阶段为 2.70%~47.24%, 而且不同功能区间 Pb 生物可给性也相差较大, 提示土壤 Pb 生物可给性可能与土壤性质、颗粒大小、土壤 Pb 总量、化学形态, 人类活动方式等等有关。本研究发现, 在胃、小肠阶段中 Pb 生物可给性以公园最高 (41.98%, 14.17%), 这可能是公园土壤可溶性 Pb 较高, 导致公园土壤 Pb 生物可给性较高。可溶性 Pb 可能主要来源于公园喷洒含 Pb 的农药或化肥, 或植物吸收大气干湿沉降中 Pb, 经淋洗、或植物残体的渗透进入土壤。本研究发现, 广州市土壤 Pb 生物可给量与土壤中 Pb 总量呈线性关系, 与以往研究报道一致^[2]; Pb 生物可给量与 pH 和有机质不存在线性回归关系, 关于土壤 Pb 生物可给量的影响因素, 还有待于进一步深入探讨。

采用体外模拟法评估广州不同功能区土壤 Pb 对人体的健康风险, 广州商业区儿童、成人健康绝对风险系数 (K_a)、模拟胃肠阶段健康相对风险系数 (K_r) 高于公园、汽车站、文教区、医疗区、居民区, 但 6 个功能区健康相对风险系数均未超过 WHO 人体健康防线警戒线, 提示广州不同功能区土壤 Pb 尚未对儿童、成人的健康造成潜在风险。6 个功能区的健康风险系数可知, 儿童健康绝对风险系数 (K_a) 在 0.24~0.52 范围, 与 WHO 人体健康防线警戒线相差不多; 加之土壤 Pb 对人体健康风险取决于土壤 Pb 含量和 Pb 生物可给性, 若城市土壤 Pb 的污染日趋严重, 人体尤其是儿童长期摄入 Pb 污染的城市土壤, 经过体内吸收和累积, 人体健康风险亦必定随之不断增加。因此, 相关部门对城市土壤 Pb 污染防治问题应引起重视。

综上所述, 广州市不同功能区土壤 Pb 已遭受程度不一的污染, 其中商业区土壤 Pb 污染最为严重, 但不同功能区土壤 Pb 经体外模拟法评估的人体健康风险尚未达到 WHO 人体健康防线警戒线。模拟人体胃肠环境, 其结果相对于土壤中 Pb 总量而言, 可以较为客观地反映经口摄入土壤的 Pb 生物可给量, 即可能被机体吸收进入血液的最大量, 虽不能完全解释最后被胃肠吸入人体血液循环的实际量, 但其可为人体健康风险评估提供有价值的参考依据。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

[1] 陈海珍, 龚春生, 李文立, 等. 广州市不同功能区土壤重金属污染特征及评价[J]. 环境与健康杂志, 2010, 27(8): 700-703.
[2] ROUSSEL H, WATERLOT C, PELFRÈNE A, et al. Cd, Pb and Zn oral bioaccessibility of urban soils contaminated in the past by atmospheric emissions from two lead and zinc smelters[J]. Arch Environ Contam Toxicol, 2010, 58(4): 945-954.
[3] 唐翔宇, 朱永官. 土壤中重金属对人体生物有效性的体外试验评估[J]. 环境与健康杂志, 2004, 21(3): 183-185.
[4] BRANDON EF, OOMEN AG, ROMPELBERG CJ, et al. Consumer product *in vitro* digestion model: Bioaccessibility of contaminants and its application in risk assessment[J]. Regul Toxicol Pharmacol, 2006, 44(2): 161-171.

- [5] ABRAHAMS PW. Soils: their implications to human health[J]. Sci Total Environ, 2002, 291(1-3): 1-32.
- [6] INTAWONGSE M, DEAN JR. *In-vitro* testing for assessing oral bioaccessibility of trace metals in soil and food samples[J]. Trends Anal Chem, 2006, 25(9): 875-886.
- [7] RUBY MV, DAVIS A, SCHOOOF R, et al. Estimation of lead and arsenic bioavailability using a physiologically based extraction test[J]. Environ Sci Technol, 1996, 30(2): 422-430.
- [8] NAVARRO P, ARANA G, ETXEBARRIA N, et al. Evaluation of the physiologically based extraction test as an indicator of metal toxicity in mussel tissue[J]. Anal Chim Acta, 2008, 622(1/2): 126-132.
- [9] 欧阳通, 刘耀兴, 李秋蓉, 等. 砷污染土壤对人体健康的风险评估应用[J]. 华侨大学学报, 2008, 29(1): 152-155.
- [10] 崔玉静, 张旭红, 朱永官. 体外模拟法在土壤-人途径重金属污染的
- 健康风险评价中应用[J]. 环境与健康杂志, 2007, 24(9): 672-674.
- [11] 广东省环境监测中心站. 广东省土壤环境背景值数据集[R]. 广州: 广东省环境监测中心, 1990.
- [12] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 87-90, 330-382.
- [13] 张磊, 宋凤斌, 王晓波. 中国城市土壤重金属污染研究现状及对策[J]. 生态环境, 2004, 13(2): 258-260.
- [14] 张志红, 杨文敏. 汽油车排出颗粒物的化学组分分析[J]. 中国公共卫生, 2001, 17(7): 623-624.
- [15] 郑袁明, 余轲, 吴泓涛, 等. 北京城市公园土壤铅含量及其污染评价[J]. 地理研究, 2002, 21(4): 418-424.
- (收稿日期: 2011-12-08)
(英文编审: 黄建权; 编辑: 郭薇薇; 校对: 张晶)

(上接第 623 页)

- DNA damage and mitochondrial dysfunction in Alzheimer's disease: implications for early intervention and therapeutics[J]. Biochim Biophys Acta, 2011, 1812(11): 1359-1370.
- [16] GÓMEZ-SINTES R, HERNÁNDEZ F, LUCAS JJ, et al. GSK-3 mouse models to study neuronal apoptosis and neurodegeneration[J]. Front Mol Neurosci, 2011, 4: 45.
- [17] LIU D X, GREENE LA. Neuronal apoptosis at the G1/S cell cycle checkpoint[J]. Cell Tissue Res, 2001, 305(2): 217-228.
- [18] SMITH DS, LEONE G, DEGREORI J, et al. Induction of DNA replication in adult rat neurons by deregulation of the retinoblastoma/E2F G1 cell cycle pathway[J]. Cell Growth Differ, 2000, 11(12): 625-633.
- [19] COPANI A, UBERTI D, SORTINO MA, et al. Activation of cell-cycle-associated proteins in neuronal death: a mandatory or dispensable path?[J]. Trends Neurosci, 2001, 24(1): 25-31.
- [20] BAJIĆ V P, SU B, LEE H G, et al. Mislocalization of CDK11/PITSLRE, a regulator of the G2/M phase of the cell cycle, in Alzheimer disease[J]. Cell Mol Biol Lett, 2011, 16(3): 359-372.
- (收稿日期: 2011-12-14)
(英文编审: 黄建权; 编辑: 郭薇薇; 校对: 张晶)

【告知栏】

欧盟职业安全与卫生管理局开发出第一款 iPad 应用程序

据欧盟职业安全与卫生管理局官网(<http://osha.europa.eu/e>)报道, 为支持工作安全与健康工作, 欧盟职业安全与卫生管理局开发出了第一款 iPad 应用程序。这款应用程序是健康工作场所运动(Working together-Healthy Workplaces Campaign)2012—2013 年“共同防范风险”活动的一部分。程序为工人和管理人员提供多种有价值的工具和资源, 帮助他们解决在工作中所面临的风险, 提高他们工作场所的安全和健康。借助这款程序用户能够获取丰富的实用指南汇编、案例研究、动画信息图表、检查表和互动式的自我评估工具等资源。该 iPad 应用程序由欧盟工会联合会(ETUC)与欧洲雇主组织欧洲商会(BusinessEurope)合作开发, 目前仅提供英文版本。

复旦大学公共卫生学院田雨来、周志俊供稿