

附件 5

儿童土壤摄入量调查技术规范 示踪元素法  
(征求意见稿) 编制说明

《儿童土壤摄入量调查技术规范 示踪元素法》标准编制组

二〇一七年九月

项目名称	儿童土壤摄入量调查技术规范 示踪元素法
项目承担单位	北京师范大学、中国环境科学研究院、中国科学院大学、中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所、北京科技大学
编制组主要成员	林春野、王贝贝、马瑾、崔骁勇、徐东群、程红光、段小丽、王秦、张璇、刘希涛
环境保护部环境标准研究所 技术管理负责人	李琴、王海燕
环境保护部科技标准司 环境健康管理处项目负责人	宛悦

---

## 目 录

1 项目背景.....	1
2 必要性和可行性.....	1
3 国内外研究现状.....	1
4 编制原则.....	3
5 主要技术内容说明.....	3
6 对实施本标准的建议.....	6

---

## 1 项目背景

### 1.1 任务由来

《儿童土壤摄入量调查技术规范 示踪元素法》属于“十三五”国家环境保护标准制修订项目，编制任务由北京师范大学承担。

### 1.2 工作过程

2017年1月：环境保护部科技标准司向北京师范大学下达编制任务。

2017年2-6月：北京师范大学成立标准编制组。标准编制组在广泛收集、查阅国内外相关标准及研究文献的基础上，结合编制组的研究经历和积累，拟定了《儿童土壤摄入量调查技术规范 示踪元素法》基本框架，主要包括工作内容和程序、调查准备、现场调查、实验室检测、土壤摄入量和质量控制一节，形成标准初稿和编制说明。

2017年8月下旬：环境保护部科技标准司组织召开技术审查会，对标准初稿和编制说明进行技术审查。根据技术审查会意见，标准编制组修改完善后形成标准征求意见稿和编制说明。

## 2 必要性和可行性

### 2.1 必要性

《中华人民共和国环境保护法》第39条提出“国家建立健全环境与健康监测、调查和风险评估制度”，制度建设和实施需要技术支持。土壤摄入是儿童环境暴露的主要途径之一，儿童土壤摄入量是土壤污染健康风险评估的关键参数。环境保护部于“十二五”完成并发布的《中国人群暴露参数手册》中包括了儿童土壤摄入量，但由于该参数难以通过问卷调查方式获得，需要现场调查和实验室检测工作支持，调查仅限于部分地区。

我国地域广阔、民族众多，不同地理环境、经济水平、生活习惯、民族习惯等条件下，儿童土壤摄入量差异较大。为尽可能获取更多具有地区代表性数据，确保不同地区儿童土壤摄入量调查结果的可比性，提高环境健康风险评估结果的准确性和可靠性，需要制定标准指导和规范儿童土壤摄入量调查工作。

### 2.2 可行性

本标准编制有方法学基础。关于儿童土壤摄入量研究，美国、加拿大、澳大利亚、英国和荷兰等发达国家已开展了大量调查研究工作，在其发布相关国家报告中对方法学进行了详细描述。上述研究成果为本标准编制提供了重要的方法学参考。

本标准编制有研究支撑并经过实践检验。“十二五”时期，在环境保护部公益性行业科研专项的资助下，开展了儿童土壤摄入量调查研究，研究提出的调查程序、调查内容和调查方法在兰州、武汉和深圳三个地区进行了案例验证，研究得到的儿童土壤摄入量纳入了环境保护部发布的《中国人群暴露参数手册》（儿童卷：0-5岁）（儿童卷：6-17岁）。

## 3 国内外研究现状

为编制适合我国的儿童土壤摄入量调查技术规范，标准编写组对国内外相关技术方法进行了广泛深入的研究。结果表明，虽然针对儿童土壤摄入量调查目前国内外均未发布相关标准；但是美国等国家发

---

布的暴露参数手册中对儿童土壤摄入量调查方法均做了详细的阐述,并推荐了示踪元素法指导本国儿童的土壤摄入量调查工作。

### 3.1 国外研究现状

美国是开展儿童土壤摄入量研究较早的国家,1997年发布的《暴露参数手册》(Exposure Factors Handbook)、2002年发布的《儿童暴露参数手册》(Child-Specific Exposure Factors Handbook)、2008年修订的《儿童暴露参数手册》和2011年修订的《暴露参数手册》中,对儿童土壤摄入量调查方法和统计估算进行了详细阐述,总结了不同儿童土壤摄入量调查研究的结果,综合分析比较了行为模式法、生物动力学模型比较法、示踪元素法等儿童土壤摄入量调查方法的优缺点,得出了示踪元素儿童土壤摄入量调查方法是目前为止比较可依赖的方法。2005年美国环保局组织召开了成人儿童土壤摄入量和吃手行为研讨会,此次研讨会的目的之一就是推进土壤摄入量调查方法研究及应用。与会专家认为示踪元素儿童土壤摄入量调查方法是目前儿童土壤摄入量调查的优选方法。

加拿大2013年发布的《加拿大暴露参数手册》(Canadian Exposure Factors Handbook)、2012年发布的《人群健康初步定量评价指导》(Guidance on Human Health Preliminary Quantitative Risk Assessment)和2006年发布的《环境与健康土壤质量指导值推导程序》(A Protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines)等文件中,介绍了加拿大儿童土壤摄入量推荐值及其调查方法。其中,重点介绍了示踪元素儿童土壤摄入量调查方法。

澳大利亚2012年发布的《澳大利亚暴露参数指导》(Australian Exposure Factor Guidance)和2004年发布的《环境健康风险评估》(Environmental Health Risk Assessment)等文件中,介绍了澳大利亚儿童土壤摄入量暴露参数;并指出尽管还有一些不足,但是最可靠的土壤摄入量估算来自于示踪元素法儿童土壤摄入量调查已经是基本的共识。

英国2009年发布的《污染土地暴露评价模型与参数》(Updated Technical Background to the CLEA (contaminated land exposure assessment) model)中,介绍了英国污染场地暴露评价模型及模型参数,土壤摄入量是模型中最重要的暴露参数,并推荐示踪元素土壤摄入量调查方法是获取儿童土壤摄入量的主要方法。

荷兰公共健康与环境国家研究所(Netherlands National Institute for Public Health and the Environment)发布了《污染土壤2000:土壤污染健康风险暴露评价模型》(CSOIL 2000: an exposure model for human risk assessment of soil contamination)。此外荷兰和比利时联合发布了《人群暴露评价中的土壤摄入途径综述》(Review of the Soil Ingestion Pathway in Human Exposure Assessment)。通过对儿童土壤摄入量调查方法的对比分析,推荐使用示踪元素儿童土壤摄入量调查方法。

国外采用的示踪元素包括铝(Al)、钡(Ba)、铈(Ce)、镧(La)、锰(Mn)、钕(Nd)、硅(Si)、钍(Th)、钛(Ti)、钒(V)、钇(Y)和锆(Zr)。

### 3.2 国内研究现状

我国“十二五”期间在环境保护部公益性行业科研专项的资助下,开展了儿童土壤摄入量调查方法的案例验证研究。采用活动模式法、生物动力学模型法和示踪元素法对湖北、深圳和兰州总计240名儿童开展了土壤摄入量调查研究。活动模式法为半定量方法,通过调查儿童手尘负荷和手口接触频次,估算的幼儿园、小学和初中儿童的土壤摄入量分别为1.79 mg/d、2.12 mg/d、0.49 mg/d,远远低于国外报道的儿童土壤摄入量(例如,美国儿童土壤摄入量的推荐值为100 mg/d)。生物动力学模型法估算的儿童土壤摄入量变异大,最大值为数千 mg/d,最小值则为负的数万 mg/d。示踪元素土壤摄入量调查方法测定推算的儿童土壤摄入量变异程度较低,是比较稳定可靠的调查方法,与国外研究结论一致。

调查进一步验证了8种示踪元素Al、Ba、Ce、Mn、钪(Sc)、Ti、V和Y,结果显示Al、Ce、Sc、

---

V、Y 是比较适合我国儿童土壤摄入量调查的示踪元素，建议采用这 5 个示踪元素分别计算每个调查对象（儿童）的土壤摄入量，然后取这 5 个数值的的中位值作为该调查对象的土壤摄入量。国外通常采用 Al、Si、Ti、Ce、V、Y 作为示踪元素，该案例验证研究表明 Al、Ce、Sc、V、Y 更适合我国的情况，与国外的研究结果比较一致。

此外，有研究以我国西南地区 3~7 岁儿童为研究对象，采用问卷调查方式获取了该地儿童的行为模式参数，包括儿童基本信息、饮用水及食物的种类和数量、每日活动时间、手口行为频率等；同时采集环境空气、饮用水、食物、土壤和灰尘等环境介质样品和儿童血样品并进行分析，获取了各环境介质和儿童血液中铅的浓度水平。采用铅生物动力学模型法，通过对比模型预测和实测的血铅含量推测了儿童土壤摄入量（蒋宝和崔骁勇，2013）。该方法需要采集儿童血液样本，同时也需要采集分析大量环境介质样品，而且比较适合于土壤铅污染地区，因此难于广泛应用。

#### 4 编制原则

a) 科学性。基于物质守恒定律和元素生物地球化学循环理论基础编制。

b) 系统性。标准对土壤摄入量调查涉及的土壤、膳食、粪便、尿液等样品的采集、保存、处理与示踪元素检测等各个环节均提出了技术要求。

c) 可操作。参考国家相关标准、借鉴国内外土壤摄入量调查案例成果及实践经验编制，确保标准提出的方法具有现实可操作性。

#### 5 主要技术内容说明

### 5.1 确定依据

示踪元素儿童土壤摄入量调查方法的基本原理为物质守恒定律，即一定时段人体摄入的示踪元素质量等于对应时段排泄的示踪元素质量。儿童摄入的示踪元素在体内停留一段时间后全部随粪便、尿液排出，依据一定时段内经粪、尿排泄的示踪元素质量，减除与之对应时段经过非土壤途径（主要为膳食途径）摄入的示踪元素的质量，除以儿童生活环境土壤中示踪元素的浓度，推算出儿童土壤摄入量。

### 5.2 层次框架

标准由 9 部分组成，包括：

- (1) 适用范围
- (2) 规范性引用文件
- (3) 术语和定义
- (4) 工作程序
- (5) 调查准备
- (6) 现场调查
- (7) 实验室检测
- (8) 儿童土壤摄入量
- (9) 质量控制及质量评价

---

## 5.3 技术要点

### 5.3.1 关于适用范围

本标准适用于针对 3-17 岁儿童开展的土壤摄入量调查基于两方面考虑：一是收集 3 岁以下儿童全部粪便和尿液难度较大，二是 3-17 岁儿童多开始集体生活，现场调查工作易组织。

国内外研究表明示踪元素儿童土壤摄入量调查方法是目前为止比较稳定可靠的方法，本标准只规定了示踪元素儿童土壤摄入量调查方法的工作程序和技术要求。

根据国外研究和国内的案例验证研究，Al、Ce、Sc、V、Y 是比较适合我国儿童土壤摄入量调查的示踪元素，本标准只规定了这 5 个示踪元素的检测方法。

国外也采用 La、Nd、Th、Zr 作为示踪元素，其样品处理和测定方法与本标准规定的 5 个示踪元素基本相同。因此，本标准也适用于以 La、Nd、Th、Zr 为示踪元素的儿童土壤摄入量调查。

### 5.3.2 关于规范性引用文件

本标准主要引用以下 10 个规范性文件，具体引用内容简述如下：

1) GB 5009.268 食品安全国家标准食品中多元素的测定。食物样品均浆处理、食物样品消解、食物试样测定、尿液样品消解主要参考“5 分析步骤”中的“5.1 试样制备”，“5.2 试样消解”，“5.3 仪器参考条件”，“5.4 标准曲线的制作”，“5.5 试样溶液的测定”。

2) GB/T 4883 数据的统计处理和解释正态样本离群值的判断和处理。数据处理中的离群值识别参考“6 已知标准差情形离群值的判断规则”，“7 未知标准差情形离群值的判断规则（限定检出离群值的个数不超过 1 时）”和“8 未知标准差情形离群值的判断规则（限定检出离群值的个数大于 1 时）”。

3) GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定。土壤摄入量计算、数据处理和结果表达部分参考“3 数据修约规则”。

4) HJ 25.2 场地环境监测技术导则。质量控制参考“9 质量控制和质量保证”。

5) HJ/T 166 土壤环境监测技术规范。土壤样品采集、运输、处理、消解，粪便样品消解主要参考“4 采样准备”，“5 布点”，“6 样品流转”，“7 样品制备”，“附录 D 土壤样品预处理方法”。

6) HJ 700 水质 65 种元素的测定电感耦合等离子体质谱法。土壤试样测定、尿液试样测定、粪便试样测定主要参考“9 分析步骤”，“10 结果计算与表达”。

7) HJ 776 水质 32 种元素的测定电感耦合等离子体发射光谱法。土壤试样测定主要参考“9 分析步骤”，“10 结果计算与表达”。

8) HJ 803 土壤和沉积物 12 种金属元素的测定王水提取—电感耦合等离子体质谱法。质量控制及质量评价主要参考“11 质量保证和质量控制”。

9) HJ 839 环境与健康现场调查技术规范横断面调查。土壤采样布点原则、布点数量、硬化地面土壤采样主要参考“7.2 现场调查”。

10) WS/T 348 尿液标本的收集及处理指南。尿液样品的收集、运输与保存主要参考“3 尿标本的收集”，“4 尿标本的运送”，“6 尿标本的保存”。

### 5.3.3 关于术语和定义

本标准共有 5 个术语和定义，主要来源如下：

1) 土壤摄入量：引自美国环保局 (USEPA) 2011 发布的《暴露参数手册》(Exposure Factors Handbook: 2011 Edition) 中关于“土壤摄入量”的定义：“指儿童每天无意识或有意识地摄入土壤的质量” (<https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>, p5-1)。

---

2) 示踪元素法: 引自美国环保局(USEPA)2011 发布的《暴露参数手册》(Exposure Factors Handbook: 2011Edition) 中关于“示踪元素法”的定义:“指通过分析儿童接触的土壤中示踪元素的浓度, 儿童排泄的粪尿质量和摄入的食物质量及粪尿和食物中示踪元素的浓度, 定量计算儿童土壤摄入量的方法”(https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252, p5-7)。

3) 示踪元素: 引自美国环保局(USEPA)2011 发布的《暴露参数手册》(Exposure Factors Handbook: 2011Edition) 中关于“示踪元素”的定义:“指不被人体代谢或吸收, 且食物中含量与土壤中含量比值较低的元素”(https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252, p5-7, 5-14)。

4) 双份饭法: 引自世界卫生组织出版的《化学污染物食物摄入研究导则》(Guidelines for the study of dietary intakes of chemical Contaminants) 中关于“双份饭法”的定义:“收集调查对象在调查期间摄入的全部膳食。一般是准备两份相同膳食, 一份供调查对象食用, 另一份混合成一个食物样品并称重, 进行实验室测定”(WORLD HEALTH ORGANIZATION, GUIDELINES FOR THE STUDY OF DIETARY INTAKES OF CHEMICAL CONTAMINANTS, World Health Organization 1985, ISBN 92 4 170087 4, p14)。

5) 胃肠道通过时间: 引自美国环保局(USEPA)2011 发布的《暴露参数手册》(Exposure Factors Handbook: 2011Edition) 中关于“胃肠道通过时间”的定义:“摄入(食物、非食物非土壤、土壤)和产出(粪便和尿液)之间的时差”(https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252, p5-27)。

### 5.3.4 关于调查内容

依据物质守恒定律, 本标准调查内容应包括人摄入食物的质量和食物中示踪元素的浓度, 人排泄物质的质量和排泄物质中示踪元素的浓度, 以及儿童接触的土壤中示踪元素的浓度。鉴于饮用水中示踪元素的含量很低, 通过饮水摄入的示踪元素质量一般仅为总摄入质量的千分之几。从经济性和可操作性原则考虑, 本标准调查的摄入物中不包括饮用水。本标准建议调查期间儿童尽量不要摄入营养品、药品等。如果儿童摄入了营养品、药品等, 应收集等量的样品。

### 5.3.5 关于调查准备

调查准备涉及资料收集、人群抽样、签订知情同意书、采样材料和技术培训 5 个方面。其中: 在人群抽样方面, 采用《暴露参数调查技术规范》提出的人群最小样本量估算方法确定儿童土壤摄入量调查最小样本量; 在技术培训方面, 重点强调了对被调查对象的培训及具体要求。

### 5.3.6 关于现场调查和实验室检测

1) 关于采样时段。本标准提出“采样时段不少于 72 小时, 应至少包括 1 天休息日”的要求, 主要考虑调查结果的代表性和摄入物和排泄物的匹配性; 关于粪便样品采集时间应滞后膳食等摄入样品采集时间 28 h, 主要考虑摄入物一般在体内停留 24 至 37 小时, 通常为 28 小时; 关于尿液样品采集时间与膳食等摄入样品采集时段相同, 主要考虑摄入物中的大部分水分在体内停留时间很短, 很快以尿液的形式排出体外。

2) 关于布点代表性和点位数量。网格化布点的代表性通常比较好; 本标准依据 HJ 389, 限定了最大网格面积。调查儿童活动区域地面类型越复杂, 网格面积应越小。依据 HJ/T 166, 每个活动区域至少布设 3 个网格(采样点)。

3) 关于土壤采样。鉴于儿童通常接触的是表层土壤, 因此土壤样品的采集深度不应超过 5 cm; 对于硬化地面, 采样吸尘器收集硬化地面表面的土。

4) 关于样品前处理和消解。土壤和食物样品的前处理和消解分别按照 HJ/T 166 和 GB 5009.268 执行。目前没有尿液和粪便消解的国家标准。考虑尿液成分与食品相似, 因此按照 GB 5009.268 消解尿液

---

样品。考虑摄入的土壤绝大部分存在于粪便中，因此按照 HJ/T 166 消解粪便样品。

5) 关于试样测定。本标准分别提出土壤、食物、粪便和尿液中示踪元素浓度计算共 4 个公式，该 4 个公式来源于 GB 5009.248 中“13 分析结果的表述”、HJ 766 中“10 结果计算和表达”和 HJ 700 中“10 结果计算与表达”。

### 5.3.7 关于土壤摄入量计算

1) 关于土壤示踪元素权重浓度。应按照公式 (7) 计算每名儿童室外活动场所土壤示踪元素的时间权重浓度。儿童的活动区域一般分为校园和住所室外活动区域。权重浓度指校园土壤示踪元素含量中心趋势值与校园活动时间乘积，加上住所室外活动区域土壤示踪元素浓度中心趋势值与住所室外活动时间乘积，然后除以校园活动时间与住所室外活动时间之和。

2) 关于土壤摄入量计算公式。儿童土壤摄入量计算公式 (公式 (8)) 是基于物质平衡原理，即一定时段内摄入的示踪元素质量等于对应时段排泄的示踪元素质量建立的。该公式来源于美国环保局发布的《暴露参数手册》(Exposure Factors Handbook: 2011Edition) (<https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>, p5-11)。

3) 关于儿童个体土壤摄入量。本标准规定分别采用 Al、Ce、Sc、V、Y5 个示踪元素计算每个儿童的土壤摄入量。理论上，采用 5 个示踪元素分别计算的每个儿童的土壤摄入量应当相同；但是由于误差的存在，实际得到的结果或多或少存在差异。鉴于无法验证这 5 个数据的分布特征，因此采用这 5 个数据的中位值代表每个儿童个体的土壤摄入量。

4) 关于离群值。离群值可能代表洁癖儿童或嗜土癖儿童，因此在统计调查人群土壤摄入量百分位值时不应剔除离群值。但是，在统计调查人群土壤摄入量中心趋势值时应剔除离群值，因为中心趋势值代表的是正常儿童人群的土壤摄入量。

5) 关于儿童人群土壤摄入量。采用中心趋势值和百分位数值表示儿童人群土壤摄入量。可根据实际需要，计算儿童人群土壤摄入量百分位数值，但应包括 P<sub>5</sub>、P<sub>25</sub>、P<sub>50</sub> (中位值)、P<sub>75</sub>、P<sub>95</sub> 等统计参数值。

### 5.3.8 关于质量控制和质量评价

示踪元素法儿童土壤摄入量调查从调查准备、现场调查、实验室检测、土壤摄入量估算各阶段均应进行严格的质量控制。按先后次序，每个阶段工作质量评价合格后方可开展下一阶段的工作。

当儿童人群土壤摄入量数据服从正态分布时，按照 GB/T 4883 的要求剔除离群值。当儿童人群土壤摄入量数据不服从正态分布时，依据 JMP-SAS 统计软件手册规定 (SAS Institute Inc. 2014.JMP® 11 Basic Analysis. Cary, NC: SAS Institute Inc.)，用第一四分位数减 1.5 倍四分位间距值和第三四分位数加 1.5 倍四分位间距值 (离群值箱线图法)，识别离群值。

## 6 对实施本标准的建议

本标准为指导性技术文件，首次编写。待发布试行后，及时跟踪评价实施情况并结合相关科学研究进展适时修订。