

# 中华人民共和国国家环境保护标准

HJ 876—2017

---

## 儿童土壤摄入量调查技术规范 示踪元素法

**Technical regulation of investigation on children's soil ingestion rate  
Tracer element method**

本电子稿为发布稿。请以中国环境科学出版社出版的  
正式标准文本为准。

2017-11-28 发布

2017-11-28 实施

---

环 境 保 护 部

发 布

## 目 次

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

## 前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》，推进环境健康风险管理，规范儿童土壤摄入量调查工作，制定本标准。

本标准规定了儿童土壤摄入量调查的工作程序、调查内容、调查方法和技术要求。

本标准首次发布。

本标准由环境保护部科技标准司组织制订。

本标准主要起草单位：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。

本标准由环境保护部 2017 年 11 月 28 日批准。

本标准自发布之日起实施。

本标准由环境保护部负责解释。

# 儿童土壤摄入量调查技术规范 示踪元素法

## 1 适用范围

本标准规定了儿童土壤摄入量调查的工作程序、调查内容、调查方法和技术要求。

本标准适用于以铝、铈、钐、钒和钇为示踪元素，采用示踪元素法对3~17岁人群开展的土壤摄入量调查。

## 2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其有效版本（包括修改单）适用于本标准。

GB 5009.268	食品安全国家标准食品中多元素的测定
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
GB/T 8170	数值修约规则与极限数值的表示和判定
HJ 25.2	场地环境监测技术导则
HJ 700	水质 65 种元素的测定电感耦合等离子体质谱法
HJ 776	水质 32 种元素的测定电感耦合等离子体发射光谱法
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
HJ 839	环境与健康现场调查技术规范横断面调查
HJ 877	暴露参数调查技术规范
HJ/T 166	土壤环境监测技术规范
WS/T 348	尿液标本的收集及处理指南

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1

**土壤摄入量 soil ingestion rate**

指单位时间内无意识或有意识地摄入土壤的质量。

### 3.2

**示踪元素法 tracer element method**

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、摄入食物的质量以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。

### 3.3

**示踪元素 tracer element**

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，用于追踪物质运行和变化过程的元素。

### 3.4

**双份饭法 duplicate plate method**

指收集调查对象在调查期间摄入的全部食物的方法。准备两份相同食物，一份供调查对象食用，另

一份混合成一个等质量食物样品并称重，进行实验室测定。

3.5

胃肠道通过时间 gastrointestinal transit time

又称粪便滞后时间，指摄入物（食物、土壤等）从摄入人体时刻起到以粪便形式排出体外时刻止的时间。

4 工作程序

儿童土壤摄入量调查包括调查准备、现场调查、实验室检测、儿童土壤摄入量估算和质量控制及质量评价五部分，工作程序见图 1。

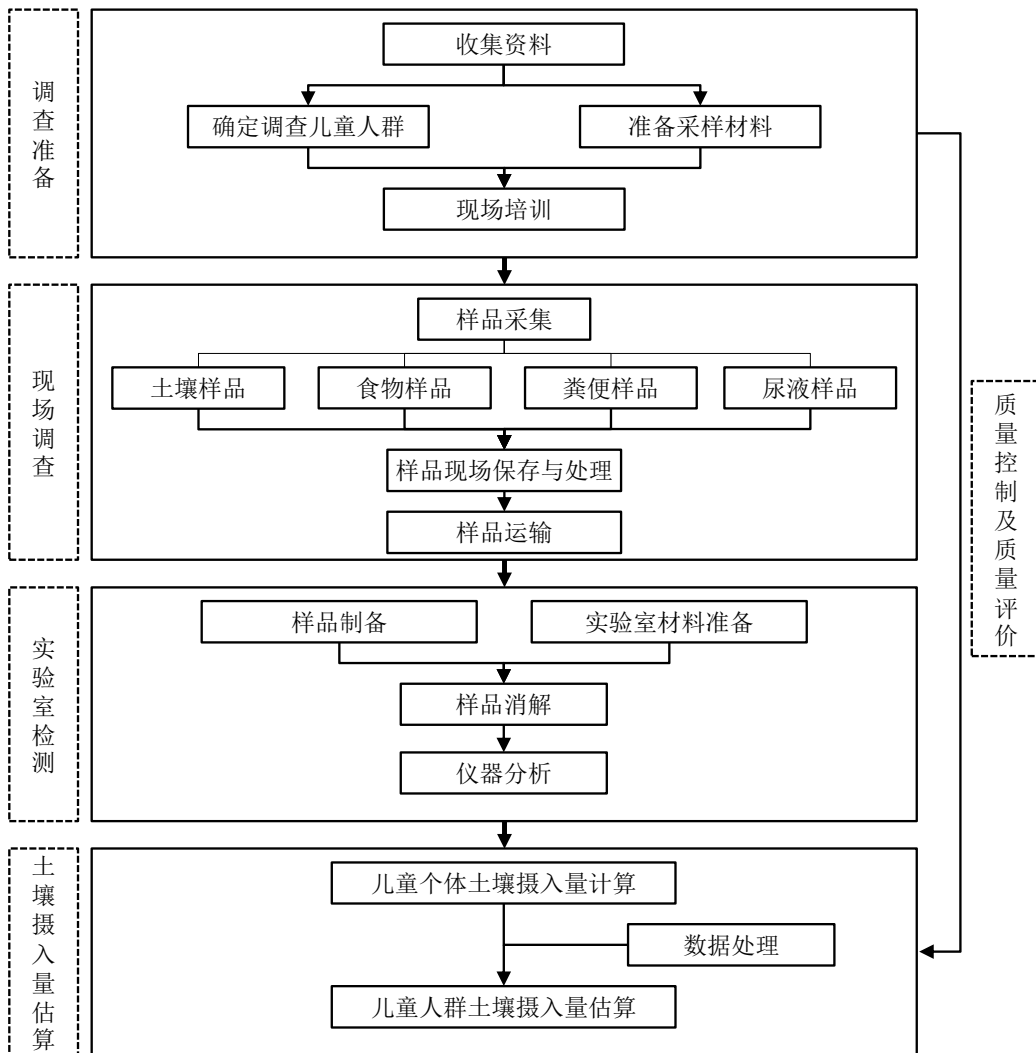


图 1 工作程序

5 调查准备

5.1 资料收集

a) 应收集调查区域内常住（在调查地居住 6 个月及以上）3~17 岁人群的人口数量、年龄结构和

分布情况。

b) 应收集调查区域内幼儿园、小学和中学的数量和位置，在读学生数量及分布情况。

c) 应收集调查区域内 3~17 岁人群室外活动空间的分布、面积和地面类型（如土地面、水泥地面、塑胶地面等）。

## 5.2 人群抽样

### 5.2.1 分层因素

分层因素应结合影响土壤摄入量水平的人口社会学特征和地理条件进行选取，如城乡、性别、年龄段等。

### 5.2.2 样本量估算

a) 最小样本量

最小样本量按照公式（1）计算：

$$n = \left( \frac{\mu_{\alpha/2} \sigma}{\delta \mu} \right)^2 \times def f \quad (1)$$

式中： $n$ ——每层最小样本量；

$\mu_{\alpha/2}$ ——显著性水平为 95% 时相应的标准正态差，取 1.96；

$\sigma$ ——儿童土壤摄入量的标准差，可通过查阅文献或开展预调查获得；

$\delta$ ——允许误差，一般取 20%；

$\mu$ ——儿童土壤摄入量的算术均值，可通过查阅文献或开展预调查获得；

$def f$ ——设计效应值，一般取 1.0 ~ 2.0，单纯随机抽样时取 1.0，其他抽样方法取 1.0~2.0。

b) 总样本量

总样本量按照公式（2）计算：

$$N = \frac{n \times q}{1 - p} \quad (2)$$

式中： $N$ ——总样本量；

$p$ ——失访率，取 10~20%；

$n$ ——每层最小样本量；

$q$ ——分层因素的乘积。结合影响儿童土壤摄入量的主要因素确定，如按城乡可将样本分为 2 层、按性别可将样本分为 2 层，则分层因素的乘积为  $2 \times 2 = 4$  层。

### 5.2.3 抽样方法

根据实际情况，可采用简单随机抽样、系统抽样、整群抽样和分层抽样中的一种或几种结合的方法进行人群抽样。

## 5.3 知情同意书

涉及人体调查应符合《涉及人的生物医学研究伦理审核办法》（卫生计生委 2016 年第 11 号令）有关规定，与儿童监护人签署知情同意书。

## 5.4 采样材料

a) 土壤：土壤采样材料按照 HJ/T166 要求准备；硬化地面土壤采样材料按照 HJ 839 要求准备。

## HJ 876—2017

- b) 食物：准备容积不小于 2 L 具密封性能的塑料盒及标签等。
- c) 尿液：尿液采样材料按照 WS/T 348 要求准备，尿液收集容器的容积应不小于 3 L。
- d) 粪便：准备医用便携式粪便收集器、与粪便收集器大小匹配的采集袋、浓度为 6 mol/L 盐酸、标签等。

## 6 现场调查

### 6.1 采样时段

- a) 食物和尿液采集应从 06:00 开始，连续采样时间应不少于 3 天（72 h），应至少包括 1 个休息日（周六或周日）。
- b) 粪便采集应从食物和尿液采样第二天 06:00 开始，在食物和尿液采样结束后应继续采样 28 h 内的粪便样品。
- c) 按照 HJ 877 中“日志记录法”有关要求，调查对象应记录采样时段内在各种室外活动场所活动的起止时间。

### 6.2 土壤采样布点

#### 6.2.1 布点原则

应依据调查对象在校园、家庭等的室外活动区域，把每块活动区域作为一个监测单元，并在每个监测单元内布点采样。

#### 6.2.2 点位数量

按照 HJ/T166 布点数量要求，在每个监测单元内布设采样点不少于 3 个，采用对角线法、梅花法、蛇形法或棋盘法等方法中的任何一种方式采集混合样。

## 6.3 样品采集

### 6.3.1 土壤

- a) 对于土壤地面，按照 HJ/T 166 要求采集地表 0~5 cm 深度的表层土壤样品。
- b) 对于硬化地面，按照 HJ 839 要求采用便携式吸尘器法和刮擦法采集表面土壤。
- c) 样品保存运输按照 HJ/T 166 要求执行。

### 6.3.2 食物

- a) 采用双份饭法收集采样时段内调查对象摄入的全部食物，如果调查期间儿童服用了药品、营养品等，应采集等量的样品。
- b) 易腐败的食物应冷藏保存。
- c) 按照 GB 5009.268 要求，应将每 24 h 食物（独立包装食物，如酸奶、饮料、袋装零食等除外）打碎成匀浆、称重，并从中留取不少于 100 g（称重精确至 0.01 g）作为待制备样品。
- d) 样品应冷藏或冷冻保存，并于 1 周内运送到实验室。

### 6.3.3 尿液

- a) 应收集采样时段内调查对象排泄的全部尿液。

- b) 每 24 h 尿液混匀、测量体积，应留取不少于 100 mL 作为待制备样品。
- c) 样品保存运输参照 WS/T 348 要求执行。

### 6.3.4 粪便

- a) 应收集采样时段内调查对象排泄的全部粪便。每次收集粪便于粪便采集袋后，应加入 2 mL 浓度为 6 mol/L 的盐酸，密封采集袋，用分析天平称重（称重精确至 0.1 g）并记录粪便质量。
- b) 每 24h 粪便混匀、称重，应留取不少于 50g（称重精确至 0.01 g）作为待制备样品。
- c) 样品应冷藏或冷冻保存，并于 1 周内运送到实验室。

## 7 实验室检测

### 7.1 土壤

#### 7.1.1 样品前处理

- a) 土壤样品制备按照 HJ/T 166 要求执行。粗磨样品应过孔径为 0.25 mm（60 目）的尼龙筛，细磨样品应研磨到全部过 0.15 mm（100 目）的尼龙筛，应留取不少于 10 g 样品。
- b) 土壤样品消解按照 HJ/T 166 中要求执行。

#### 7.1.2 样品分析

按照 HJ776 中规定方法，分析试样中示踪元素铝浓度；按照 HJ 700 中规定方法，分析试样中示踪元素铈、钷、钷、钷浓度。依据公式（3）计算土壤样品中示踪元素浓度：

$$CS = \frac{(C - C_0) \times V \times f \times 10^{-3}}{WS} \quad (3)$$

式中：CS——土壤样品中示踪元素浓度，mg/kg；

C——由标准曲线计算所得试样中示踪元素的质量浓度，μg/L；

C<sub>0</sub>——实验室空白试样中对应示踪元素的质量浓度，μg/L；

V——消解后试样的定容体积，mL；

f——试样的稀释倍数；

WS——称取的土壤样品干重，g。

### 7.2 食物

#### 7.2.1 样品前处理

- a) 称 10 g 食物均浆样品于培养皿中，置于 60℃ 的烘箱中烘干至恒重称重，并置于干燥器中保存。
- b) 食物样品消解按照 GB 5009.268 中要求执行，可消解烘干样品或均浆样品，独立包装的食品可单独消解。

#### 7.2.2 样品分析

按照 GB 5009.268 中规定方法，分析试样中示踪元素铝、铈、钷、钷、钷浓度。依据公式（4）计算食物样品中示踪元素浓度：



$$CFD = \frac{(C - C_0) \times V \times f \times 10^{-3}}{WFD} \quad (4)$$

式中： $CFD$ ——食物样品中示踪元素浓度，mg/kg；

$C$ ——由标准曲线计算所得试样中示踪元素的质量浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

$C_0$ ——实验室空白试样中对应示踪元素的质量浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

$V$ ——消解后试样的定容体积，mL；

$f$ ——试样的稀释倍数；

$WFD$ ——称取的食物样品干重，g。

### 7.3 尿液

#### 7.3.1 样品前处理

尿液消解按照 GB 5009.268 中要求执行。

#### 7.3.2 样品分析

按照 HJ 700 中规定方法，分析试样中示踪元素铝、铈、钐、钷、钇浓度。依据公式 (5) 计算尿液样品中示踪元素浓度：

$$CU = (C - C_0) \times f \quad (5)$$

式中： $CU$ ——尿液样品中示踪元素的浓度， $\mu\text{g/L}$ 。

$C$ ——由标准曲线计算所得试样中示踪元素的质量浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

$C_0$ ——实验室空白试样中对应示踪元素的质量浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

$f$ ——样品的稀释倍数。

### 7.4 粪便

#### 7.4.1 样品前处理

a) 将粪便样品从采样袋转移到预先称重的培养皿中，用洗瓶中去离子水冲洗采样袋内测两次，并将冲洗水转移至同一培养皿中。

b) 将培养皿置于  $60^\circ\text{C}$  的烘箱中烘干至恒重称重。

c) 用玛瑙研钵研磨混均、置于干燥器中保存备用。

d) 粪便样品消解方法与土壤样品消解方法相同，按照 HJ/T 166 中要求执行。

#### 7.4.2 样品分析

按照 HJ 700 中规定方法，分析试样中示踪元素铝、铈、钐、钷、钇浓度。依据公式 (6) 计算粪便样品中示踪元素浓度：

$$CF = \frac{(C - C_0) \times V \times f \times 10^{-3}}{WF} \quad (6)$$

式中： $CF$ ——粪便样品中示踪元素浓度，mg/kg；

$C$ ——由标准曲线计算所得试样中示踪元素的质量浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

$C_0$ ——实验室空白试样中对应示踪元素的质量浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

$V$ ——消解后试样的定容体积，mL；

$f$ ——试样的稀释倍数；

$WF$ ——称取的粪便样品干重，g。

## 8 儿童土壤摄入量

### 8.1 个体土壤摄入量计算

a) 土壤中示踪元素的时间权重浓度的计算：应根据每个调查对象活动的地点和在每个地点的活动时间，按照公式（7）计算每个调查对象接触的土壤中示踪元素的时间权重浓度；

b) 个体土壤摄入量计算：依据公式（8），应采用铝、铈、钐、钷、钇 5 个示踪元素分别计算每人每天（24 h）摄入土壤的质量，按照从小到大或从大到小顺序排列，取其中位数作为该调查对象的土壤摄入量，每个调查对象土壤摄入量中位数所对应的示踪元素可以不同。

$$WACS = (CS_1 \times t_1 + CS_2 \times t_2 + \dots + CS_m \times t_m) / (t_1 + t_2 + \dots + t_m) \quad (7)$$

$$SIR = \frac{((CF \times TWF + CU \times TVU) - (CFD \times TWFD)) \times TF}{WACS \times t} \quad (8)$$

式中： $WACS$ ——儿童室外活动区域土壤中示踪元素的时间权重浓度，mg/kg；

$CS_m$ ——儿童第  $m$  个室外活动区域土壤中示踪元素浓度，mg/kg；

$t_m$ ——儿童在第  $m$  个室外活动区域活动时间，h；

$SIR$ ——儿童土壤摄入量，mg/d；

$CF$ ——儿童粪便中示踪元素浓度，mg/kg；

$TWF$ ——儿童粪便总干重，g；

$CU$ ——儿童尿液中示踪元素浓度， $\mu\text{g/L}$ ；

$TVU$ ——儿童尿液总体积，L；

$CFD$ ——儿童食物中示踪元素浓度，mg/kg；

$TWFD$ ——儿童食物总干重，g；

$TF$ ——转换因子， $10^3$  mg/kg

$t$ ——调查时长，d。

### 8.2 人群土壤摄入量

#### 8.2.1 数据处理

a) 以采用铝、铈、钐、钷、钇 5 个示踪元素分别计算得到的个体土壤摄入量的中位数作为该调查对象的土壤摄入量，进而统计调查人群土壤摄入量。

b) 剔除负值。儿童土壤摄入量不应为负值，计算得到的调查对象土壤摄入量为负值时应从样本中剔除。

c) 处理离群值。离群值指样本中的一个或几个观测值离开其他观测值较远。当样本数据服从正态分布时，按照 GB/T 4883 要求，识别离群值；当样本数据不服从正态分布时，小于  $P_{25}-1.5 \times (P_{75}-P_{25})$  或大于  $P_{75}+1.5 \times (P_{75}-P_{25})$  的值为离群值。统计调查人群土壤摄入量百分数位值时不应剔除离群值，统计调查人群土壤摄入量中心趋势值时应剔除离群值。

d) 数值修约依据 GB/T 8170 要求执行。

## 8.2.2 结果表达

人群土壤摄入量采用中心趋势值、离散趋势值和百分位数值表示：

- a) 中心趋势值。调查人群土壤摄入量为正态分布时，采用算术均数为中心趋势值；为对数正态分布时，采用几何均数为中心趋势值；为非正态分布和非对数正态分布时，采用中位数为中心趋势值。
- b) 离散趋势值。调查人群土壤摄入量为正态分布时，采用标准差为离散趋势值；为非正态分布时，采用四分位数间距为离散趋势值。
- c) 百分位数值。应至少统计  $P_5$ 、 $P_{25}$ 、 $P_{50}$ 、 $P_{75}$ 、 $P_{95}$  参数值。

## 9 质量控制及质量评价

### 9.1 质量控制

#### 9.1.1 准备阶段

- a) 应按相关标准的要求，洗净采样材料和工具。
- b) 应对调查人员进行样品采集、现场处理与保存、样品记录等方法培训。
- c) 应对调查对象进行培训，包括食物和粪便样品收集的示范指导，并告知调查对象调查期间不宜吃营养品、刷牙时避免吞入牙膏、保持日常生活方式等。

#### 9.1.2 调查阶段

- a) 样品采集、保存、运输、交接等过程应建立完整的管理程序。
- b) 样品布点、采集、保管、运输应严格按照相关技术规定。
- b) 按照 HJ 25.2 要求，同种采样介质，应采集至少一个样品采集平行样。

#### 9.1.3 检测阶段

- a) 样品前处理和检测应严格按照相关技术规定。
- b) 按照 HJ 803 要求，每批次样品应至少做 2 个实验室空白试样、至少按 10% 的比例进行平行双样测定、至少分析 10% 的加标回收样。

### 9.2 质量评价

- a) 准备阶段：应对调查人员进行业务培训与考核，考核通过者方能参与调查；人群抽样方案应通过专家论证。
- b) 调查阶段：应核实调查技术要求和方案的执行情况，包括点位代表性、日记记录完整性、样品采集完整性、样品处理与保存规范性等。平行采样测定结果的相对偏差应小于 30%。
- c) 检测阶段：空白实验测定结果应低于测定下限，平行样测定结果的相对偏差应小于 30%，加标回收样测定结果的回收率应控制在 70~125% 之间。