

中国人群环境暴露行为模式 研究报告 (儿童卷)

Report of Environmental Exposure Related
Activity Patterns Research of
Chinese Population

Children

环境保护部 编著

中国人群环境暴露行为模式 研究报告（儿童卷）

Report of Environmental Exposure Related Activity
Patterns Research of Chinese Population (Children)

环境保护部 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

中国人群环境暴露行为模式研究报告. 儿童卷/环境保护
部编著. —北京: 中国环境出版社, 2016.8

ISBN 978-7-5111-2756-3

I. ①中… II. ①环… III. ①环境影响—儿童—
健康—研究报告—中国 IV. ①X503.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 068607 号

出 版 人 王新程

责任编辑 孟亚莉

责任校对 尹 芳

封面设计 彭 杉

出版发行 中国环境出版社

(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)

网 址: <http://www.cesp.com.cn>

电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn

联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)

010-67112735 (中国环境出版社第一分社)

发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京盛通印刷股份有限公司

经 销 各地新华书店

版 次 2016 年 8 月第 1 版

印 次 2016 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787×1092 1/16

印 张 5.5

字 数 100 千字

定 价 45.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

组织实施

组织领导 环境保护部

技术执行 中国环境科学研究院

中国疾病预防控制中心营养与食品安全研究所

北京师范大学

北京科技大学

环境基准与风险评估国家重点实验室

编委会

编写组

主 编 赵秀阁 段小丽

副主编 王贝贝 赵丽云 程红光 曹素珍

成 员 (按笔画排序)

于冬梅	马 瑾	王丹洁	王先良	王 寻	王红梅
王宗爽	王海燕	王菲菲	刘 平	刘新成	朱忠军
许人骥	许晓丽	闫芳芳	闫振广	张文杰	张 倩
张霖琳	李天昕	李 琴	杨立新	邹 滨	陈子易
陈奕汀	房玥辉	范德龙	郑婵娟	俞 丹	姜 勇
胡小琪	聂 静	郭齐雅	钱 岩	黄 楠	董 婷
韩 斌	颜增光	魏永杰			

技术顾问 (按笔画排序)

于云江	王五一	王建生	王金南	白志鹏	吕岩玉
孙承业	许秋瑾	许振成	吴丰昌	宋永会	张金良
张寅平	李发生	杨功焕	陈秉衡	陈育德	孟 伟
林春野	武雪芳	郑丙辉	金水高	徐东群	柴发合
郭新彪	陶 澍	曾 光	谢晓华	阚海东	潘小川
颜崇淮	魏复盛				

Dongchun Shin Jacqueline Moya Jae-Yeon Jang
Junfeng (Jim) Zhang Kai Zhang Chunrong Jia
Kirk Smith Michael Dellarco

摘要

为了解我国儿童环境暴露行为特点,获取儿童暴露参数,提高儿童环境健康风险评价的科学性,根据《国家环境保护“十二五”环境与健康工作规划》,环境保护部于2013—2014年组织完成了儿童环境暴露行为模式研究,形成了《中国人群环境暴露行为模式研究报告(儿童卷)》。

一、基本情况

本研究采用多阶段分层整群随机抽样,选取了我国30个省、自治区、直辖市的55个县/区、165个乡镇/街道和316所学校的0~17岁儿童^①共75 519人作为调查对象,采用问卷调查和现场测量相结合的方式,调查了儿童与环境介质相关的暴露特征、与污染源相关的暴露特征、与环境健康风险相关的暴露特征,系统分析了我国儿童环境暴露行为模式特点及影响因素,获得了能够反映我国儿童特征的暴露参数。

^①根据联合国《儿童权利公约》,“儿童”指18岁以下的人。本研究中“儿童”采用这一定义。

二、主要结果

（一）我国儿童环境暴露行为模式存在明显的年龄、性别、城乡和地区差异。以空气暴露为例，我国儿童室外空气综合暴露系数3岁前随年龄增长而增加，入学后呈逐年下降趋势；同年龄段男童室外空气综合暴露系数高于女童，城市儿童低于农村儿童，东北地区儿童低于其他地区儿童。

（二）我国儿童环境暴露行为模式与成人存在较大差异。我国儿童室内空气综合暴露系数是我国成人的1.1~2.5倍，水经皮肤综合暴露系数是成人的1.6~3.5倍，6月~5岁儿童的室外空气综合暴露系数是成人的1.1~1.5倍，3~17岁儿童的饮水综合暴露系数是成人的1.2~2.7倍。

（三）我国儿童环境暴露行为模式与国外同年龄段儿童存在较大差异。我国儿童室外空气综合暴露系数和饮水综合暴露系数分别是美国同年龄段儿童的1.1~3.0倍和2.5~3.5倍；水经皮肤综合暴露系数和土壤经皮肤综合暴露系数分别是美国同年龄段儿童的40%~70%和10%~20%。

（四）我国儿童面临传统型和现代型环境健康风险的双重压力。本次调查的儿童中，有26.8%暴露于固体燃料做饭或取暖带来的室内空气污染，12.7%饮用未经基础卫生设施集中处理的地下水、地表水或窖水，13.6%主要活动场所周边1 km范围内有石油、石化、炼焦等环境健康高风险企业，14.6%主要活动场所周边50 m范围内有交通干道。

（五）我国儿童环境健康风险相关的暴露及防范行为与抚养人的文化程度密切相关。家庭经济水平、抚养人文化程度越高，儿童烹调油烟暴露时间和二手烟暴露时间就越短，进食前洗手的人数比例就越高。

三、建议

（一）在环境健康风险评价中应优先使用我国儿童暴露参数。在污染场地等环境健康风险评估工作中，依据敏感人群及污染物的主要健康效应，有针对性地使用暴露参数，以提高评估结果的准确性，为研究制定更加科学的环境管理对策与措施提供依据。

（二）根据儿童环境暴露行为模式特点采取有针对性的健康风险防范措施。针对现代型环境健康风险，需加强对儿童日常生活环境的监测，将环境健康风险评价结果作为优化环境功能区划的重要依据。针对传统型环境健康风险，继续推进农村清洁能源发展，加强安全饮用水的保障。加强宣传教育力度，提高儿童及其抚养人的环境与健康素养。

（三）加强暴露评价相关的基础调查和科学研究。研究制定暴露调查和评价技术方法标准，开发适用于我国人群的暴露评价模型，鼓励各地开展具有地区代表性的暴露评价基础数据调查。研究适用于我国人群的呼吸量、皮肤表面积等生理参数经验公式，进一步提升我国人群暴露参数推导结果的准确性。

目 录

第一章 概 述.....	1
第一节 目的和意义.....	1
一、研究背景.....	1
二、研究目的.....	2
三、研究意义.....	2
第二节 调查对象和内容.....	2
一、调查对象.....	2
二、调查内容.....	3
第三节 调查方法.....	3
一、抽样设计.....	3
二、现场调查方法.....	5
三、数据录入与清洗.....	6
四、统计分析方法.....	6
五、评价指标.....	10
第四节 质量控制和质量评价.....	15
一、质量控制方法.....	15
二、质量评价.....	16

第二章 结果与发现	18
第一节 调查对象基本情况	18
第二节 与环境介质相关的暴露特征	22
一、身体特征	22
二、摄入量	24
三、暴露时间	32
四、综合分析	37
第三节 与污染源相关的暴露特征	46
一、与传统型污染相关的暴露特征	46
二、与现代型污染相关的暴露特征	48
三、综合分析	50
第四节 与环境健康风险相关的暴露特征	50
一、与烟气摄入相关的暴露特征	50
二、与经口摄入相关的暴露特征	52
三、与电磁辐射相关的暴露特征	57
四、综合分析	60
第三章 结论与建议	61
一、结论	61
二、局限性	61
三、建议	62
参考文献	63
附录 1 调查点位及样本分布	65
附录 2 调查问卷	68
附录 3 名词术语	77
附录 4 大事记	78

第一节 目的和意义

一、研究背景

随着我国城镇化、工业化步伐的加快，环境健康问题日益突出，准确评价环境污染带来的健康风险，有针对性地采取风险防范和管理措施，是环境管理的迫切需求。环境暴露行为模式指人与环境介质或风险因素接触的方式和特征，是环境健康风险评价的关键因子。从 20 世纪末开始，美国环境保护局（Klepeis N E et al., 2001; USEPA, 1989、1997、2011）、韩国环境部（Jang J Y et al., 2007）等机构相继开展了本国的环境暴露行为模式研究，发布人群暴露参数手册，但均以成人为主。目前，仅有美国环境保护局针对儿童环境暴露行为特点发布了《儿童暴露参数手册》（USEPA, 2002; USEPA, 2008）。在该领域，我国长期缺乏全国性和系统性研究，环境健康风险评价中多依赖国外人群暴露参数，但由于种族、社会经济条件和生活习惯等差异，可能导致评价结果不能客观反映我国实际情况。为了解我国人群环境暴露行为特点，提高环境健康风险评价的科学性，根据《关于印发〈国家环境保护“十二五”环境与健康工作规划〉的通知》（环发[2011]105 号），环境保护部科技标准司委托中国环境科学研究院分别于 2011—2012 年、2013—2014 年开展成人和儿童环境暴露行为模式研究，成人环境暴露行为模式研究成果已于 2013 年正式发布（环境保护部，2013a, 2013b），本报告为儿童环境暴露行为模式研究结果的总结。

二、研究目的

通过开展我国儿童环境暴露行为模式研究，掌握我国儿童环境暴露行为特点，分析相关影响因素，建立儿童暴露参数数据库，提出有针对性的儿童环境暴露和风险防范对策措施，为提高我国环境健康风险评价的准确性，推进国家构建环境与健康风险评估体系进程提供技术支持。

三、研究意义

该研究探讨了我国儿童环境暴露行为模式特征，为儿童环境健康风险防范提供依据。研究获得的儿童暴露参数提高了我国环境健康风险评价基础数据的完整性，增强了环境健康风险评价的针对性和准确性，在环境基准推导、污染防控优先次序识别、环境影响评估、化学品风险管理和污染场地风险评估等领域有着广泛的应用价值。

第二节 调查对象和内容

一、调查对象

对中华人民共和国境内 30 个省（区、市）的 55 个县/区、165 个乡镇/街道和 316 所学校的 75 519 名 0~17 岁儿童（6 个月以下儿童需出生在调查地，其他调查对象需在调查地居住 6 个月以上）开展了环境暴露行为模式调查，现场调查于 2013 年 10 月至 2014 年 3 月开展，调查点位及样本分布详见附录 1。

二、调查内容

调查内容包括调查对象基本情况、与环境介质相关的暴露特征、与污染源相关的暴露特征、与环境健康风险因素相关的暴露行为特征 4 个方面（表 1-1）。

表 1-1 调查内容

类别	项目	内容
调查对象基本情况	儿童情况	性别、年龄、民族、地区
	家庭情况	家庭经济状况、抚养人的教育程度和职业等基本情况
与环境介质相关的暴露特征	身体特征	身长/身高、体重、皮肤表面积
	摄入量	呼吸量、饮水量、土壤/尘摄入量、饮食摄入量
	暴露时间	与空气、水、土壤/尘相关的暴露时间
与污染源相关的暴露特征	传统型	与室内固体燃料、不安全饮水和裸露土壤相关的暴露特征
	现代型	与工业企业、交通污染相关的暴露特征
与环境健康风险因素相关的暴露行为特征	烟气暴露	与烹调油烟、二手烟接触相关的暴露特征
	经口摄入	与洗手、手口和物口接触相关的暴露特征
	经电磁辐射	与电子设备接触相关的暴露特征

第三节 调查方法

一、抽样设计

（一）样本量计算

根据最小样本量计算公式(1-1)得出 0~5 岁儿童每层所需样本量为 206 人, 6~17 岁儿童每层为 366 人。

$$N = \left(\frac{U_{a/2} \sigma}{r \mu} \right)^2 \times \frac{\text{deff}}{1-p} \quad (1-1)$$

式中：N——最小样本量；

deff——设计效应值，取 3.0；

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

σ ——标准偏差，0~5 岁和 6~17 岁儿童分别取 240^①和 779^①；

r——允许误差，取 15%；

μ ——总体均数，0~5 岁儿童和 6~17 岁儿童分别取 411^①和 1 000^①；

p——失访率，取 15%。

本调查分别针对 0~5 岁儿童和 6~17 岁儿童采用多阶段分层整群随机抽样设计获取样本，为保证调查样本具有全国代表性，其中：

0~5 岁儿童以城乡（2 水平）、性别（2 水平）、地区（6 水平：华北、华东、华南、西北、东北、西南，见表 1-2）和年龄（6 水平：0~<1 岁，1~<2 岁，2~<3 岁，3~<4 岁，4~<5 岁，5~<6 岁）为主要分层因素进行分层抽样，需样本 $206 \times 144 = 29\,664$ 人。实际调查 34 051 人，满足调查样本量的要求。

6~17 岁儿童以城乡（2 水平）、性别（2 水平）、地区（6 水平：华北、华东、华南、西北、东北、西南）和年龄（4 水平：6~<9 岁，9~<12 岁，12~<15 岁，15~<18 岁）为主要分层因素进行分层抽样，需样本 $366 \times 96 = 35\,136$ 人。实际调查 41 439 人，满足调查样本量要求。

表 1-2 六大片区的划分情况

地区	省（区、市）
华北	北京市、天津市、河北省、山西省、内蒙古自治区、河南省
华东	上海市、江苏省、浙江省、福建省、山东省、安徽省、江西省
华南	湖北省、湖南省、广东省、广西壮族自治区、海南省
西北	陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区
东北	吉林省、黑龙江省、辽宁省
西南	重庆市、四川省、贵州省、云南省

①根据预调查结果，0~5 岁儿童直接饮水量为 (411 ± 240) mL/d，6~17 岁儿童直接饮水量为 $(1\,000 \pm 779)$ mL/d，本调查取该值为最小样本量计算标识对 0~5 岁和 6~17 岁儿童最小样本量分别进行计算。

（二）抽样步骤和方法

本调查在“中国居民营养与健康状况监测系统”的 55 个监测点上开展，调查对象分为 0~5 岁儿童和 6~17 岁儿童两类人群，统一采用多阶段分层整群随机抽样。抽样方案如下：

1. 0~5 岁儿童抽样步骤

第一阶段：将全国所有县级行政单位（包括县、县级市、区）分为 4 层：大城市、中小城市、非贫困县、贫困县，从每层中分别抽取 12、15、18 和 10 个区县，共计 55 个区县；

第二阶段：在抽中的调查区县中，采用简单随机抽样方法，随机抽取 3 个乡镇/街道；

第三阶段：在抽中的乡镇/街道中，从全部符合调查要求的儿童中抽取至少 630 名 0~5 岁的儿童进行调查。

2. 6~17 岁儿童抽样步骤

第一阶段：同 0~5 岁区县抽样；

第二阶段：在抽中的调查区县中，采用简单随机抽样方法，随机抽取 2 所小学、2 所初中、1 所高中和 1 所中专/职业高中；

第三阶段：在每所抽中的学校中，抽取除高三年级外的所有年级；

第四阶段：在每个抽中的年级中，随机抽取 2~3 个班，确保抽取至少 70 名调查对象。

二、现场调查方法

现场调查采用问卷调查和现场测量（半定量和定量）相结合的方式。

（一）问卷调查

采用自行设计的问卷，由经过严格培训的调查员采用一对一、面对面询问的方式进行调查，9 岁以下儿童，问卷内容由儿童抚养人回答；9 岁及以上儿童，问卷内容由儿童本人回答。调查问卷详见附录 2。

（二）现场测量

1. 半定量测量

针对饮水量和饮食量，由调查员出示标准调查量具（0~5 岁儿童为 250 mL 标准杯和标准碗，6~17 岁儿童为 300 mL 标准碗和标准杯），估算调查对象的饮水量和饮食量。

2. 定量测量

针对身长/身高和体重，采用统一型号、经计量认证的身长测量计/身高计和体重秤，按照规范的方法进行测量。

三、数据录入与清洗

本次调查数据由各调查点采取双录入方式进行录入，由各省级调查组汇总上报。中国环境科学研究院编制数据清洗计划书，采用 SAS 9.3 软件，以省、县/区、城乡、性别和年龄等为关键变量，对每个变量的缺失值进行标记和分析，剔除逻辑错误和非法值。

四、统计分析方法

（一）数据加权调整方法

由于本次调查采用多阶段分层整群随机抽样设计，为得出具有全国代表性的总体参数估计值，基于全国儿童的年龄和性别构成对调查样本进行了事后加权调整，样本权重包括基础抽样权重和事后分层调整权重两类。

1. 基础抽样权重

（1）0~5 岁儿童

依次计算各阶段的抽样权重（表 1-3），将其乘积作为基础抽样权重（ W_s ），见公式（1-2）。

表 1-3 0~5 岁儿童各阶段所属样本的入样概率和抽样权重

抽样对象	抽样方法	入样概率	抽样权重	备注
监测点区/县*	采用简单随机抽样	$\frac{m_i}{M_i}$	$\frac{M_i}{m_i}$	M_i 为第 i 层中的县/区个数; m_i 为第 i 层中抽取的样本县/区数
调查乡镇/街道	采用简单随机抽样方法, 随机抽取 3 个样本乡镇/街道	$\frac{3}{n_x}$	$\frac{n_x}{3}$	n_x 为监测点区/县的乡镇/街道数
调查对象个体	采用简单随机抽样从各乡镇/街道中抽取 630 名 0~5 岁儿童	$\frac{A}{n_q}$	$\frac{n_q}{A}$	A 为抽中的儿童数; n_q 为样本乡镇/街道中 0~5 岁儿童总数

*监测点区县抽样权重与“中国居民营养与健康状况监测系统”一致。

$$W_s = \frac{M_i}{m_i} \times \frac{n_x}{3} \times \frac{n_q}{A}$$

(1-2)

(2) 6~17 岁儿童

依次计算各阶段的抽样权重(表 1-4), 将其乘积作为基础抽样权重(W_s), 见公式(1-3)。

表 1-4 6~17 岁儿童各阶段所属样本的入样概率和抽样权重

抽样对象	抽样方法	入样概率	抽样权重	备注
调查区/县*	采用简单随机抽样	$\frac{m_i}{M_i}$	$\frac{M_i}{m_i}$	M_i 为第 i 层中的县/区个数; m_i 为第 i 层中抽取的样本县区/数
调查学校	采用随机抽样方法从样本区县中的小学、初中和高中/职高/中专中各抽取 2 所	$\frac{A}{n_x}$	$\frac{n_x}{A}$	A 为实际抽中的学校数; n_x 为监测点区/县该类学校总数
调查年级	以班级为整群, 以年级为分层, 每个年级抽取 B 个班, 抽中班级学生全部参加调查	$\frac{B}{n_y}$	$\frac{n_y}{B}$	B 为各年级实际抽中的班级数, n_y 为各年级的班级数

*监测点区县抽样权重与“中国居民营养与健康状况监测系统”一致。

$$W_s = \frac{M_i}{m_i} \times \frac{n_x}{A} \times \frac{n_y}{B}$$

(1-3)