

# 江苏省某县学龄期儿童五氯酚暴露水平及影响因素

郭剑秋<sup>1</sup>, 王铮<sup>1</sup>, 张济明<sup>1</sup>, 肖洪喜<sup>1</sup>, 李闻婷<sup>1</sup>, 卢大胜<sup>2</sup>, 邬春华<sup>1</sup>, 周志俊<sup>1</sup>

1. 复旦大学公共卫生学院 / 教育部公共卫生安全重点实验室, 上海 200032

2. 上海市疾病预防控制中心化学品毒性鉴定所, 上海 200336

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2019.19298

## 摘要:

**[背景]** 五氯酚 (PCP) 在生活和生产中被广泛用作杀虫剂和防腐剂, 在环境中持久性存在。PCP 具有肝毒性、遗传毒性和神经毒性等多种毒性作用, 儿童暴露评估数据十分匮乏。

**[目的]** 评估江苏省某县学龄期儿童尿中 PCP 暴露水平, 并探究可能的影响因素。

**[方法]** 选取江苏省某农村地区 427 名学龄期儿童作为研究对象。问卷调查儿童的人口学信息、居住环境、行为习惯和膳食偏好等信息, 并采集尿样。应用同位素稀释气相色谱-串联质谱法测定尿样 PCP 水平。采用稳态毒代动力学模型估算每日摄入量, 应用多元线性回归分析方法分析 PCP 暴露可能的影响因素。

**[结果]** 427 名儿童尿样中 PCP 检出率为 99.1%。未校正、尿肌酐校正和尿比重校正后 PCP 几何均值 [95% 置信区间 (CI)] 分别为 0.106 (0.096~0.119)  $\mu\text{g/L}$ 、0.188 (0.167~0.211)  $\mu\text{g/g}$  肌酐和 0.132 (0.117~0.149)  $\mu\text{g/L}$ 。未校正 PCP 浓度变化范围为未检出~6.60  $\mu\text{g/L}$ 。估算研究人群每日 PCP 摄入量的几何均值 (95%CI) 为 0.003 0 (0.002 7~0.003 4)  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ 。单因素分析 PCP 在不同膳食特征中的分布情况, 未见统计学差异。多元线性回归分析结果显示, 女孩尿 PCP 浓度高于男孩 ( $P=0.013$ ), 到田间玩耍的儿童和家中饲养宠物的儿童尿 PCP 浓度分别高于未到田间玩耍和家中不饲养宠物的儿童 ( $P=0.012$  和  $P=0.030$ )。

**[结论]** 研究地区儿童普遍暴露于 PCP。儿童到田间玩耍以及与宠物接触可能会增加 PCP 的暴露机会, 生活中应减少可能导致儿童 PCP 暴露增加的机会。

**关键词:** 五氯酚; 学龄期儿童; 尿; 气相色谱-串联质谱

**Exposure assessment and predictors of pentachlorophenol among school-age children in a county of Jiangsu Province** GUO Jian-qiu<sup>1</sup>, WANG Zheng<sup>1</sup>, ZHANG Ji-ming<sup>1</sup>, XIAO Hong-xi<sup>1</sup>, LI Wen-ting<sup>1</sup>, LU Da-sheng<sup>2</sup>, WU Chun-hua<sup>1</sup>, ZHOU Zhi-jun<sup>1</sup> (1.School of Public Health/Key Laboratory of Public Health Safety of Ministry of Education, Shanghai 200032, China; 2.Division of Chemical Toxicity and Safety Assessment, Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China)

## Abstract:

**[Background]** Pentachlorophenol (PCP) is widely used as pesticides and preservatives in daily life and agricultural production, and persistent in the environment. PCP has hepatotoxicity, genotoxicity, and neurotoxicity; however, data on PCP childhood exposure assessment are still limited.

**[Objective]** This study evaluates urinary concentrations of PCP among school-age children in a county of Jiangsu Province, and explores its potential predictors.

**[Methods]** A total of 427 children from a rural area in Jiangsu Province were enrolled. Information on sociodemographic characteristics, residential environment, behaviors, and dietary preferences was collected through questionnaire survey. Spot urine samples were collected from children. Urinary PCP concentrations were measured by gas chromatography-tandem mass spectrometry (GC-MS/MS). Estimated daily intakes (EDI) of PCP were calculated using steady-state toxicokinetic model. Multiple linear regression models were used to analyze predictors of PCP exposure.

**[Results]** The detection rate of urinary PCP was 99.1% in 427 children. The geometric means (95% confidence interval, CI) of unadjusted, creatinine-adjusted, and specific gravity-adjusted urinary PCP concentrations were 0.106 (0.096-0.119)  $\mu\text{g/L}$ , 0.188 (0.167-0.211)  $\mu\text{g/g}$  (in creatinine), and

## 基金项目

上海市卫生计生委科研课题 (201640037); 复旦大学公共卫生学院“德隆项目”计划项目 (第五期)

## 作者简介

并列第一作者。  
郭剑秋 (1991—), 男, 博士生;  
E-mail: jqguo14@fudan.edu.cn  
王铮 (1997—), 男, 本科生;  
E-mail: 15301020005@fudan.edu.cn

## 通信作者

邬春华, E-mail: chwu@shmu.edu.cn

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2019-05-05

录用日期 2019-07-16

文章编号 2095-9982(2019)09-0797-06

中图分类号 R174

文献标志码 A

## 引用

郭剑秋, 王铮, 张济明, 等. 江苏省某县学龄期儿童五氯酚暴露水平及影响因素 [J]. 环境与职业医学, 2019, 36 (9): 797-802.

## 本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2019.19298

## Funding

This study was funded.

## Correspondence to

WU Chun-hua, E-mail: chwu@shmu.edu.cn

**Ethics approval** Obtained

**Competing interests** None declared

**Received** 2019-05-05

**Accepted** 2019-07-16

## To cite

GUO Jian-qiu, WANG Zheng, ZHANG Ji-ming, et al. Exposure assessment and predictors of pentachlorophenol among school-age children in a county of Jiangsu Province[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2019, 36(9): 797-802.

## Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2019.19298

0.132 (0.117-0.149)  $\mu\text{g/L}$ , respectively. The unadjusted concentrations of PCP ranged from < limit of detection (LOD) to 6.60  $\mu\text{g/L}$ . The geometric mean (95% CI) of EDI of PCP was 0.003 0 (0.002 7-0.003 4)  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ . No significant difference was observed for the distribution of PCP concentrations among different dietary preferences. Girls showed higher urinary concentrations of PCP than boys ( $P=0.013$ ). Likewise, children who played farmland and who owned pets had higher urinary PCP levels than those not ( $P=0.012$  and  $P=0.030$ ), respectively.

**[Conclusion]** PCP exposure is widespread in the studied region. Holding pets and playing on farmland may act as predictors for PCP exposure of children. The findings indicate that reduction of contacting with PCP in daily life is warranted for controlling lifetime PCP exposure.

**Keywords:** pentachlorophenol; school-age children; urine; gas chromatography-tandem mass spectrometry

五氯酚 (pentachlorophenol, PCP), 又称五氯苯酚, 广泛应用于杀虫剂和防腐剂。我国自 1950 年起, 包括江苏省在内的多个省市受到血吸虫的侵袭, PCP 及其钠盐作为杀灭血吸虫宿主钉螺的主要杀虫剂, 被大量使用于我国长江中下游地区, 其年产量近万 t<sup>[1]</sup>。考虑到 PCP 在环境中的持久性和对生态环境的危害, 我国于 1990 年将 PCP 列为水体优先控制污染物<sup>[2]</sup>。1997 年, 我国曾提出降低 PCP 的产量和使用量; 然而随着血吸虫再度流行, 2003 年 PCP 年产量上升至 3 000 t, 其中长江流域 PCP 钠盐的消费量占全国消费量的 90%<sup>[3]</sup>。尽管 PCP 的使用得到了限制, 但是其仍被应用于皮革、纸张、木材的防腐剂中, 并且 PCP 也可以氯化消毒副产物形式存在于饮用水中<sup>[4]</sup>。PCP 暴露可对人类健康造成严重威胁。PCP 被国际癌症机构列为人类的可能致癌物 (2B 类)<sup>[5]</sup>。已有诸多研究报道 PCP 具有肝毒性、遗传毒性、神经毒性、生殖和发育毒性以及内分泌干扰作用等<sup>[6]</sup>。

PCP 主要通过消化道进入人体, 在体内主要经肾脏代谢, 86% 的 PCP 以游离态和结合态经尿液排出体外<sup>[7]</sup>。尿液也因此被广泛用作 PCP 的暴露评估基质<sup>[8]</sup>。2018 年的一项研究表明 PCP 可在九个国家人群尿中检出<sup>[9]</sup>, 提示 PCP 暴露普遍存在。以往针对职业人群或成人 PCP 暴露的评估数据相对较多, 然而, 对于毒性作用敏感的儿童数据却极其匮乏。作为血吸虫流行省份及 PCP 钠盐的主要用药区, 江苏省环境中 PCP 的残留较非用药地区高<sup>[3]</sup>。因此, 本研究选取江苏省某农业地区学龄期儿童作为研究对象, 评估其尿中 PCP 的暴露负荷, 分析可能的影响因素, 旨在描述儿童的 PCP 暴露水平, 分析暴露特征, 为预防 PCP 暴露, 保护儿童健康提供科学依据。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

课题组于 2009 年在江苏省某县建立出生队列<sup>[10]</sup>,

招募 1 303 名于该县妇产科医院分娩的产妇, 2016 年随访 454 名儿童。排除尿样缺失或不足者 21 人, 以及调查问卷缺失者 6 人, 共 427 名学龄期儿童纳入本次研究。研究对象的监护人均签署知情同意书。研究方案通过复旦大学公共卫生学院伦理委员会的批准 (批准号: IRB#2016-TYSQ-06-1)。

### 1.2 问卷调查

采用课题组自行编制的调查问卷, 由受统一培训的调查员, 通过现场面对面询问方式向儿童监护人采集信息。调查问卷内容主要包括: 社会人口学信息, 居住环境信息和行为习惯等信息。鉴于消化道摄入作为 PCP 暴露的主要来源, 膳食偏好信息也在问卷中采集。

### 1.3 尿样采集和 PCP 检测

在监护人协助下, 调查员在研究现场用 50 mL 离心管 (美国 Corning) 采集儿童尿样, 现场保存于  $-20^{\circ}\text{C}$  低温冰箱, 并于 1 周内采用冷链转移至实验室储存于  $-80^{\circ}\text{C}$  超低温冰箱中。样品预处理过程: 将尿样自然解冻至室温, 取 0.5 mL 尿样于 6 mL 样品管中, 加 50  $\mu\text{g/L}$   $^{13}\text{C}_6$ -PCP 同位素内标 20  $\mu\text{L}$ , 以浓盐酸  $90^{\circ}\text{C}$  水解 1 h 后, 经正己烷和甲基叔丁基醚混合液 (体积比为 1:1) 液液萃取 2 次, 合并提取液, 再经碱性硅胶柱净化、氮吹浓缩、N, O-双 (三甲基硅烷基) 三氟乙酰胺 (BSTFA) 衍生化后, 最后取 5  $\mu\text{L}$  进样于气相色谱-串联质谱 (GC-MS/MS, 美国安捷伦 7890A-7000B) 待测<sup>[11]</sup>。

GC 工作参数如下。进样模式: 程序升温气化 (PTV); 进样口升温程序:  $70^{\circ}\text{C}$  保持 0.25 min, 以  $360^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升温至  $280^{\circ}\text{C}$  并维持 10 min; 色谱柱升温程序: 初始温度  $60^{\circ}\text{C}$  保持 2 min, 以  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升温至  $250^{\circ}\text{C}$ , 再以  $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升温至  $310^{\circ}\text{C}$ ; MS 条件: MS 接口、离子源和四级杆温度分别为  $280^{\circ}\text{C}$ 、 $300^{\circ}\text{C}$  和  $180^{\circ}\text{C}$ ; MS 扫描方式为多反应监测 (MRM)。PCP 的检测限 (limit of detection, LOD) 为 0.01  $\mu\text{g/L}$ , 该方法满足非职业接触人群生物监测的需求。

分别采用酶标仪 (波长: 340~750 nm; 美国 BIO-TEK) 和手持尿比重计 (Atago PAL 10-S, 日本爱拓) 测定尿肌酐含量和尿比重。

### 1.4 PCP 每日摄入量估算

根据文献报道的稳态毒物代谢动力学模型计算 PCP 的每日摄入量<sup>[9]</sup>。公式如下:  $EDI=C \times V / f \times BW$ 。其中, EDI 为 PCP 每日摄入量 [ $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ]; C 为尿液样本中 PCP 浓度 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ); V 为 24 h 尿液排出量, 学龄期儿童大约为 0.6 L; f 为 PCP 的尿中代谢系数, 为 86%; BW 为儿童体重 (kg)。

### 1.5 统计学分析

考虑到尿液稀释度, 以尿比重校正尿 PCP 浓度, 并采用对数转换获得正态分布资料; 采用频数和构成比描述分类变量的集中趋势和离散趋势; 采用几何均值 (G) 及其 95% 置信区间 (confidence interval, CI) 和百分位数描述 PCP 浓度分布情况; 应用 Mann-Whitney U 检验、Kruskal-Wallis H 检验分析 PCP 的暴露特征; 将单因素分析  $P < 0.2$  的因素纳入多元线性回归模型, 分析 PCP 暴露的可能影响因素。统计分析使用 Stata (14.0 版本), 检验水准  $\alpha = 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 人口学特征及行为习惯

在 427 名学龄期儿童中, 实际年龄为 (6.75±0.21) 岁。242 (56.7%) 名儿童为男性; 237 (55.5%) 名研究对象家庭年收入在 6 万元及以上; 33 (7.7%) 名儿童家中近期在居室中存放农药; 12 (2.8%) 名儿童近期接触过农药或其喷洒设备; 96 (22.5%) 名儿童家中饲养宠物, 如猫和狗等。Mann-Whitney U 检验发现, 女孩尿 PCP 水平高于男孩 ( $P = 0.027$ ), 家中饲养宠物儿童尿 PCP 浓度高于家中未饲养宠物的儿童 ( $P = 0.048$ )。见表 1。

### 2.2 研究人群尿 PCP 分布情况

研究人群尿 PCP 检出率为 99.1%。如表 2 所示, 未经尿肌酐、尿比重校正尿 PCP 浓度 G (95%CI) 为 0.106 (0.096~0.119)  $\mu\text{g}/\text{L}$ , 最小值和最大值分别为未检出和 6.60  $\mu\text{g}/\text{L}$ 。经尿肌酐校正和尿比重校正 PCP 浓度分别为 0.188 (0.167~0.211)  $\mu\text{g}/\text{g}$  肌酐和 0.132 (0.117~0.149)  $\mu\text{g}/\text{L}$ 。估算研究人群每日 PCP 摄入量 G (95%CI) 分别为 0.003 0 (0.002 7~0.003 4)  $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。估算每日 PCP 摄入量最大值可达 0.20  $\mu\text{g}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。

### 2.3 尿 PCP 水平在不同膳食特征中分布状况

243 (56.9%) 名儿童家庭以米类为主食; 238 (55.7%) 个家庭以面类为主食; 231 (54.1%) 个家庭中蔬菜来源是在农贸市场购买; 213 (49.8%) 名儿童生食水果前经削皮或洗净处理; 168 (39.4%) 名儿童近一个月食用鱼类在 10 次以上。非参数检验未观察到不同膳食特征之间儿童尿 PCP 浓度差异具有统计学意义。见表 3。

表 1 研究地区 427 名儿童尿五氯酚暴露特征分布

Table 1 Distributions of urinary pentachlorophenol concentrations among 427 school-age children in study area

变量 Variable	n (%)	G (95%CI)	P
性别 (Sex)			0.027
男 (Male)	242 (56.7)	0.115 (0.099~0.135)	
女 (Female)	185 (43.3)	0.157 (0.129~0.190)	
母亲学历 Maternal education			0.858
高中以下 Below high school	300 (70.3)	0.132 (0.113~0.153)	
高中及以上 High school and above	127 (29.7)	0.132 (0.107~0.164)	
家庭年收入 (万元) Family annual income (10 thousand yuan)			0.752
< 6	190 (44.5)	0.135 (0.112~0.163)	
≥ 6	237 (55.5)	0.129 (0.110~0.152)	
房屋装修时间 (年) Recent house decoration (Years)			0.178
< 5	170 (39.8)	0.146 (0.119~0.178)	
≥ 5	257 (60.2)	0.123 (0.105~0.144)	
居室是否存放农药 Pesticides stored in living room			0.567
是 (Yes)	33 (7.7)	0.109 (0.070~0.168)	
否 (No)	394 (92.3)	0.134 (0.118~0.152)	
接触农药或喷洒设备 Contacting with pesticides or spraying equipment			0.333
是 (Yes)	12 (2.8)	0.188 (0.077~0.456)	
否 (No)	415 (97.2)	0.130 (0.115~0.147)	
到农田玩耍 Playing on farmland			0.053
是 (Yes)	145 (34.0)	0.153 (0.124~0.188)	
否 (No)	282 (66.0)	0.122 (0.105~0.142)	
户外活动时间 (h) Time spent playing outdoors			0.193
< 3	240 (56.2)	0.140 (0.119~0.164)	
≥ 3	187 (43.8)	0.122 (0.101~0.148)	
饲养宠物 (猫和狗等) Owning pets (eg. cats or dogs)			0.048
是 (Yes)	96 (22.5)	0.141 (0.122~0.135)	
否 (No)	331 (77.5)	0.106 (0.083~0.135)	

表2 江苏省某县学龄期儿童五氯酚暴露水平及估算每日摄入量的分布情况 (n=427)

Table 2 Distributions of urinary pentachlorophenol concentrations and estimated daily intakes among school-age children in a county of Jiangsu Province

分类 (Item)	单位 (Unit)	G (95%CI)	最小值 (Min)	P <sub>25</sub>	P <sub>50</sub>	P <sub>75</sub>	最大值 (Max)
未校正 (Unadjusted)	μg/L	0.106 (0.096~0.119)	<LOD	0.046	0.085	0.212	6.60
尿肌酐校正 (Creatinine-adjusted)	μg/g 肌酐 (ln creatinine)	0.188 (0.167~0.211)	<LOD	0.077	0.153	0.445	4.53
尿比重校正 (Urine specific gravity-adjusted)	μg/L	0.132 (0.117~0.149)	<LOD	0.049	0.106	0.292	3.78
每日摄入量 (Estimated daily intake)	μg/ (kg·d)	0.0030 (0.0027~0.0034)	0.0005	0.0013	0.0024	0.0063	0.20

[注] G: 几何均值; CI: 置信区间; LOD: 检出限。

[Note] G: Geometric mean; CI: Confidence interval; LOD: Limit of detection.

表3 江苏省某县学龄期儿童近期膳食特征与尿五氯酚浓度分布状况 (n=427)

Table 3 Distributions of urinary pentachlorophenol concentrations based on recent dietary preferences among school-age children in a county of Jiangsu Province

变量 (Variable)	n (%)	G (95%CI)	P
米类作为主食 Rice as staple food			0.814
否 (No)	184 (43.1)	0.130 (0.108~0.157)	
是 (Yes)	243 (56.9)	0.133 (0.113~0.157)	
面类作为主食 Flour as staple food			0.348
否 (No)	238 (55.7)	0.126 (0.107~0.149)	
是 (Yes)	189 (44.3)	0.139 (0.166~0.167)	
经常吃水果 Eating fruits frequently			0.183
否 (No)	108 (25.3)	0.115 (0.090~0.145)	
是 (Yes)	319 (74.7)	0.138 (0.119~0.160)	
经常吃蔬菜 Eating vegetables frequently			0.832
否 (No)	216 (50.6)	0.131 (0.111~0.156)	
是 (Yes)	211 (49.4)	0.132 (0.111~0.158)	
蔬菜主要来源 Source of vegetables			0.837
自种 (Self-planting)	158 (37.0)	0.136 (0.111~0.169)	
农贸市场 (Agricultural market)	231 (54.1)	0.131 (0.111~0.154)	
超市购买 (Supermarket)	38 (8.9)	0.120 (0.079~0.180)	
生食水果是否削皮/洗净 Frequency of peeling/washing fruits			0.096
从不 (Never)	18 (4.2)	0.127 (0.061~0.264)	
偶尔 (Seldom)	54 (12.7)	0.202 (0.140~0.289)	
经常 (Often)	142 (33.3)	0.121 (0.099~0.148)	
每次 (Every time)	213 (49.8)	0.125 (0.105~0.149)	
近一个月食用鱼类次数 Frequency of eating fish in the last month			0.275
从不 (Never)	41 (9.6)	0.172 (0.115~0.261)	
1~	65 (15.2)	0.121 (0.092~0.158)	
3~	153 (35.8)	0.142 (0.115~0.175)	
11~	168 (39.4)	0.120 (0.097~0.146)	

## 2.4 PCP暴露的影响因素分析

多元线性回归分析结果显示 (表4), 与男孩相比, 女孩尿中PCP浓度较高 ( $P=0.013$ ), 到农田玩耍的儿童尿PCP浓度高于不到农田玩耍的儿童 ( $P=0.012$ ),

饲养宠物的家庭中儿童尿PCP水平高于未饲养宠物家庭儿童 ( $P=0.030$ )。其余因素之间研究人群尿PCP浓度差异无统计学意义。

表4 江苏省某县学龄期儿童尿五氯酚浓度影响因素的多元线性回归分析

Table 4 Multiple linear regression analysis on potential predictors of urinary pentachlorophenol concentrations among school-age children in a county of Jiangsu Province

变量 (Variable)	分类 (Category)	b	95%CI	t	P
性别 (Sex)	女 (Female)	0.135	0.029~0.242	2.503	<b>0.013</b>
到农田玩耍 Playing on farmland	是 (Yes)	0.146	0.032~0.260	2.534	<b>0.012</b>
饲养宠物 (Owning pets)	是 (Yes)	0.141	0.013~0.269	2.181	<b>0.030</b>
截距 (Intercept)		-1.163	-1.48~-0.85	-7.225	<b>&lt;0.001</b>

[注] 模型校正性别、房屋装修时间、到农田玩耍、户外活动时间、饲养宠物、经常食用水果和生食水果是否削皮/洗净。

[Note] Models are adjusted for child's sex, recent decoration, playing on farmland, time spent playing outdoors, owning pets, eating fruits frequently, and frequency of peeling/washing fruits.

## 3 讨论

PCP作为杀虫剂和防腐剂, 可在环境中持久存在。本研究采用高灵敏度的气质联用技术测定了学龄期儿童尿中PCP的浓度并评估了儿童尿中PCP的暴露负荷。结果显示研究对象尿中PCP普遍存在, 暴露水平变异程度较大, 存在个体差异。进一步分析暴露特征发现儿童性别、到农田玩耍和饲养宠物是PCP暴露的可能影响因素。

国内外儿童尿中PCP暴露数据相对较少。Hill等<sup>[12]</sup>报道美国197名儿童尿中PCP的浓度中位数为14 μg/L, 远高于其他同类研究, 可能由于PCP在该农业地区的应用造成儿童体内负荷增加所致。此后研究中报道儿童尿中浓度显著下降, 中位数范围为0.33~0.83 μg/L<sup>[13-17]</sup>。这可能与美国环境保护总署在20世纪80年代颁布的关于PCP限制的禁令有关。德国在1989年限制PCP作为杀虫剂大面积使用后, 在2003—2006第四次德国环境调查中, 儿童尿中PCP浓

度中位数低于检出限<sup>[18]</sup>，相比1990—1992年第二次德国环境调查暴露水平显著降低<sup>[19]</sup>。中国儿童尿中PCP研究数据较少，本课题组报道的儿童尿中PCP暴露水平低于发达国家儿童暴露水平，主要原因可能是我国限制了对PCP的生产和使用，该地区PCP的用量相对较少<sup>[20]</sup>。与成人数据相比，本研究地区儿童尿中PCP中位数与九个国家成人尿中PCP浓度调查中中国成人数据相近（中位数：0.08 μg/L）<sup>[9]</sup>。尽管在全球范围内PCP暴露明显下降，但是低剂量的PCP暴露仍普遍持久性存在，PCP所造成的生态环境风险和人群健康危害仍不容小觑。

按照稳态毒物代谢动力学模型估算PCP的每日摄入量最大值为0.20 μg/(kg·d)，低于美国环境保护总署综合风险信息系统中建立的5 μg/(kg·d)经口参考剂量<sup>[21]</sup>，提示与该限值相比，该地区儿童每日摄入PCP的健康风险相对较小。许多研究表明经消化道摄入膳食来源的PCP是主要的暴露途径<sup>[5, 17]</sup>。Hattemer-Frey等<sup>[22]</sup>报道蔬菜、水果和谷物中PCP暴露约占非职业人群PCP暴露总量的99.9%。因此，本研究分析了不同膳食特征之间儿童尿中PCP浓度分布情况，但差异未呈现统计学意义。

本研究显示到农田玩耍和养宠物等行为增加了儿童尿PCP水平。这些行为特征都可能增加与农药的接触机会。Morgan等<sup>[15]</sup>采集美国俄亥俄州151名2~5岁儿童48 h尿液样本分析也发现，家中饲养宠物的儿童尿中PCP含量高于家中未饲养宠物的儿童。鉴于PCP在环境中持久并普遍存在，宠物可以携带室外的环境污染物到室内，增加了儿童的接触机会。这样的假设与其他的农药研究结论一致。在一项对110名2~5岁儿童有机磷暴露的调查研究中发现，家中饲养宠物的儿童尿中有机磷代谢产物的浓度相对较高<sup>[23]</sup>。此外，本研究还发现女孩尿PCP水平高于男孩，与其他研究呈现不同的特征。Carrizo等<sup>[24]</sup>调查西班牙4岁儿童血清PCP水平发现，男孩、女孩血清PCP含量差异不具有统计学意义。此种不一致的现象可能与男孩和女孩在暴露来源上存在差异有关。

本研究在农村地区开展PCP暴露评估，采用高灵敏度的检测方法，准确评估儿童尿中PCP的暴露负荷，分析暴露特征，为敏感人群低剂量污染物暴露评估提供数据支持。本研究也存在一些局限性。首先，尽管PCP的半衰期尚不明确，但是采用随机尿液样本评估PCP暴露含量仅能够反映近期PCP的暴露情况。如果

研究关注长期、低剂量PCP暴露对敏感人群造成的潜在健康风险，建议增加采样次数。另外，本研究样本量偏小。尽管在曾经的血吸虫蔓延区域和农村地区开展PCP儿童暴露评估在现场选择上具有一定的优势，但是客观上单一中心的研究存在选择偏倚，研究结果外推受限。未来拟开展多中心、多时间点和多基质的PCP暴露评估研究，更加全面评价敏感人群PCP暴露水平和影响因素。

## 参考文献

- [1] 李迪民, 王利泉, 符应林, 等. 五氯酚钠缓释杀灭水体血吸虫尾蚴现场试验简报 [J]. 中国血吸虫病防治杂志, 1993, 5 (2) : 90.
- [2] ZHENG W, WANG X, YU H, et al. Global trends and diversity in pentachlorophenol levels in the environment and in humans : a meta-analysis [J]. Environ Sci Technol, 2011, 45 (11) : 4668-4675.
- [3] ZHENG W, YU H, WANG X, et al. Systematic review of pentachlorophenol occurrence in the environment and in humans in China : not a negligible health risk due to the re-emergence of schistosomiasis [J]. Environ Int, 2012, 42 : 105-116.
- [4] BEIRAS R, TATO T. Marine environmental risk assessment and acute water quality criterion for pentachlorophenol in coastal waters [J]. Ecotoxicology, 2018, 27 (7) : 803-808.
- [5] COOPER GS, JONES S. Pentachlorophenol and cancer risk : focusing the lens on specific chlorophenols and contaminants [J]. Environ Health Perspect, 2008, 116 (8) : 1001-1008.
- [6] 周丽新, 陈晓红, 金米聪. 五氯酚对人体的毒性及防治研究进展 [J]. 卫生研究, 2014, 43 (2) : 338-342.
- [7] SCHULZ C, BUTTE W. Revised reference value for pentachlorophenol in morning urine [J]. Int J Hyg Environ Health, 2007, 210 (6) : 741-744.
- [8] CZAPLIKA M. Sources and transformations of chlorophenols in the natural environment [J]. Sci Total Environ, 2004, 322 (1/2/3) : 21-39.
- [9] HONDA M, KANNAN K. Biomonitoring of chlorophenols in human urine from several Asian countries, Greece and the United States [J]. Environ Pollut, 2018, 232 : 487-493.
- [10] QI X, ZHENG M, WU C, et al. Urinary pyrethroid metabolites among pregnant women in an agricultural area of the

- Province of Jiangsu, China [J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2012, 215 (5) : 487-495.
- [11] LU D, FENG C, WANG D, et al. Analysis of twenty phenolic compounds in human urine : hydrochloric acid hydrolysis, solid-phase extraction based on  $K_2CO_3$ -treated silica, and gas chromatography tandem mass spectrometry [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2015, 407 (14) : 4131-4141.
- [12] HILL RH JR, TO T, HOLLER JS, et al. Residues of chlorinated phenols and phenoxy acid herbicides in the urine of Arkansas children [J]. *Arch Environ Contam Toxicol*, 1989, 18 (4) : 469-474.
- [13] MORGAN M, JONES P, SOBUS J. Short-term variability and predictors of urinary pentachlorophenol levels in Ohio preschool children [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2015, 12 (1) : 800-815.
- [14] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Fourth national report on human exposure to environmental chemicals [R]. Atlanta, GA : Centers for Disease Control and Prevention, 2018.
- [15] MORGAN M K. Predictors of urinary levels of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid, 3, 5, 6-trichloro-2-pyridinol, 3-phenoxybenzoic acid, and pentachlorophenol in 121 adults in Ohio [J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2015, 218 (5) : 479-488.
- [16] WILSON N K, CHUANG J C, MORGAN M K, et al. An observational study of the potential exposures of preschool children to pentachlorophenol, bisphenol-A, and nonylphenol at home and daycare [J]. *Environ Res*, 2007, 103 (1) : 9-20.
- [17] WILSON N K, CHUANG J C, LYU C, et al. Aggregate exposures of nine preschool children to persistent organic pollutants at day care and at home [J]. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 2003, 13 (3) : 187-202.
- [18] SEIFERT B, BECKER K, HELM D, et al. The German environmental survey 1990/1992 (GerES II) : reference concentrations of selected environmental pollutants in blood, urine, hair, house dust, drinking water and indoor air [J]. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 2000, 10 (6) : 552-565.
- [19] SCHULZ C, CONRAD A, BECKER K, et al. Twenty years of the German Environmental Survey (GerES) : human biomonitoring—temporal and spatial (West Germany/East Germany) differences in population exposure [J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2007, 210 (3/4) : 271-297.
- [20] GUO J, WU C, ZHANG J, et al. Anthropometric measures at age 3 years in associations with prenatal and postnatal exposures to chlorophenols [J]. *Chemosphere*, 2019, 228 : 204-211.
- [21] MAGE DT, ALLEN RH, GONDY G, et al. Estimating pesticide dose from urinary pesticide concentration data by creatinine correction in the third national health and nutrition examination survey (NHANES-III) [J]. *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 2004, 14 (6) : 457-465.
- [22] HATTEMER-FREY H A, TRAVIS C C. Benzo-a-pyrene : environmental partitioning and human exposure [J]. *Toxicol Ind Health*, 1991, 7 (3) : 141-157.
- [23] LU C, KNUTSON D E, FISHER-ANDERSEN J, et al. Biological monitoring survey of organophosphorus pesticide exposure among preschool children in the Seattle metropolitan area [J]. *Environ Health Persp*, 2001, 109 (3) : 299-303.
- [24] CARRIZO D, GRIMALT J O, RIBAS-FITO N, et al. Pentachlorobenzene, hexachlorobenzene, and pentachlorophenol in children's serum from industrial and rural populations after restricted use [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2008, 71 (1) : 260-266.

(英文编辑：汪源；编辑：王晓宇；校对：陈姣)