

广州市传统农业生产地区 284 名居民五氯酚内 暴露水平及影响因素

张玉华¹, 王燕燕¹, 曾锦衡¹, 刘览¹, 李燕¹, 甘平胜², 张维蔚¹

1. 广州市疾病预防控制中心(广州市卫生监督所)食品安全与营养部, 广东广州 510440;

2. 广州市疾病预防控制中心(广州市卫生监督所)理化检验部, 广东广州 510440

摘要:目的 评估广州市传统农业生产地区居民五氯酚内暴露水平, 并分析其可能的影响因素。方法 2023 年 6—8 月, 在广州市传统农业生产地区某镇采用二阶段随机抽样方法抽取村/居委和居民户, 将家中家庭所有 6 岁以上符合要求的常住居民作为研究对象, 开展问卷调查、体格检查和尿样收集, 采用顶空固相微萃取-气相色谱质谱法检测尿中五氯酚浓度, 评价居民暴露五氯酚的健康风险, 并采用多元线性回归模型分析尿五氯酚暴露水平的可能影响因素。结果 本研究实际有效样本量为 284 人, 年龄在 7~85 岁之间, 该人群尿中五氯酚的检出率为 92.3%(262/284), 检测值范围为未检出~18.010 $\mu\text{g/L}$, 未经肌酐校正和经肌酐校正的尿五氯酚浓度的中位数分别为 0.625 $\mu\text{g/L}$ 和 0.611 $\mu\text{g/g}$ 肌酐。居民五氯酚每日估计摄入量中位数为 0.013 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$, 最大量为 0.735 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$, 低于美国环境保护署制定的参考剂量 5 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$ 。文化程度低(GM 比值=0.549, 95% CI :0.339~0.890)、户外活动时间长(GM 比值=1.393, 95% CI :1.005~1.931)和家中饲养宠物(GM 比值=0.674, 95% CI :0.457~0.995)的居民尿五氯酚水平较高, 偏瘦(GM 比值=0.758, 95% CI :0.602~0.953)的居民尿五氯酚水平较低。结论 广州市传统农业生产地区 284 名居民普遍暴露于五氯酚, 但内暴露水平对居民健康造成的风险较低, 文化程度、BMI、户外活动时间 and 家中饲养宠物是尿五氯酚暴露水平的影响因素。

关键词: 五氯酚; 内暴露; 尿液; 影响因素; 暴露评估

中图分类号: R12; R114 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2025)17-3136-06

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202504179

Exposure levels and influencing factors of pentachlorophenol among 284 residents in traditional agricultural production areas of Guangzhou

ZHANG Yu-hua*, WANG Yan-yan, ZENG Jin-heng, LIU Lan, LI Yan, GAN Ping-sheng, ZHANG Wei-wei

*Department of Food Safety and Nutrition, Guangzhou Center for Disease Control and Prevention (Guangzhou Health Supervision institute), Guangzhou, Guangdong 510440, China

Abstract: Objective To assess the internal exposure level of pentachlorophenol (PCP) among residents of traditional agricultural production areas in Guangzhou and analyze its possible influencing factors. **Methods** From June to August 2023, a two-stage random sampling method was used to select village/neighborhood committees and households in a town in a traditional agricultural production area of Guangzhou. All eligible permanent residents older than 6 years from the selected households were selected as the research subjects. Questionnaire survey, physical examination and urine sample collection were carried out on a household basis. The concentration of PCP in urine was detected by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography mass spectrometry, and the health risk of residents exposed to PCP was evaluated. Multiple linear regression model was used to analyze the possible influencing factors of urinary PCP exposure. **Results** The actual effective sample size of this study was 284, aged 7-85 years. The detection rate of PCP in urine was 92.3% (262/284), and the detection value ranged from <LOD to 18.010 $\mu\text{g/L}$. The median urinary concentrations of pentachlorophenol for non-creatinine-adjusted and creatinine-adjusted were 0.625 $\mu\text{g/L}$ and 0.611 $\mu\text{g/g}$ creatinine, respectively. The median exposure of residents to PCP based on creatinine-corrected urinary PCP concentrations was 0.013 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$ and the maximum exposure was 0.735 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$, lower than the reference dose of 5 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$ established by the U.S. Environmental Protection Agency. Multiple regression analysis found higher urinary PCP exposure in residents with low education (GM ratio=0.549, 95% CI : 0.339-0.890), long outdoor activities (GM ratio=1.393, 95% CI : 1.005-1.931) and pets at home (GM

基金项目: 广州市科技计划项目(2023A03J0935); 广州市医学重点学科建设项目(2025-2027-12)

作者简介: 张玉华(1988—), 女, 硕士, 副主任医师, 研究方向: 营养与食品安全

通信作者: 张维蔚, E-mail: 249726849@qq.com; 甘平胜, E-mail: 332826546@qq.com; 张维蔚与甘平胜为共同通信作者

ratio=0.674, 95% CI: 0.457–0.995), and lower urinary PCP levels were in residents with low BMI (*GM* ratio=0.758, 95% CI: 0.602–0.953). **Conclusion** The 284 residents in traditional agricultural production areas of Guangzhou were generally exposed to PCP, but the level of internal exposure posed an acceptable risk to their health. Educational level, BMI, outdoor activity time, and keeping pets at home were factors that affected the level of urinary PCP exposure.

Keywords: Pentachlorophenol; Internal exposure; Urine; Influencing factors; Exposure assessment

五氯酚(pentachlorophenol)及其钠盐曾在全球范围被广泛用作杀虫剂、木材防腐剂、杀菌剂^[1],在我国主要用于杀灭血吸虫的中间宿主钉螺。五氯酚及其钠盐化学性质稳定,使用后不易降解,是重要的环境污染物质,可通过食物链进入动物体内,残留于食品中,最终进入人体。五氯酚可引起急性和慢性中毒,干扰内分泌和生长发育,具有遗传毒性、生殖发育毒性、致畸性和致癌性^[2-3],国际癌症机构将其列为 1 类致癌物^[1]。20 世纪 80 年代起,各国陆续出台措施限制五氯酚的生产和使用。我国农业农村部、卫生健康委等先后发布公告,明确将五氯酚列为食用动物中的禁用药物。

虽然许多国家已禁止使用五氯酚,但是由于其残留效应的存在,在全球环境和人体生物样本中仍普遍存在^[4-8],其潜在而持久的慢性毒作用对后代的发展会产生深远的影响。传统农业生产地区由于使用五氯酚清塘、灭螺等,环境本底值可能较高。因此,本研究选取广州市传统农业生产地区某镇,以当地常住居民为研究对象,测定尿五氯酚含量,评估居民五氯酚的暴露风险,并探讨居民五氯酚内暴露水平的影响因素,为预防五氯酚暴露、保护居民健康提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象 2023 年 6—8 月,以广州市传统农业生产地区某镇为调查点,采用二阶段随机抽样方法抽取村/居委和居民户,将抽中家庭所有符合要求的人群作为研究对象。研究对象的纳入标准:(1)在当地连续居住 1 年及以上的 6 岁以上居民;(2)无严重的肝、肾等重要脏器疾病或近期末服用影响肝肾代谢药物,无恶性肿瘤等严重消耗性疾病,调查期间不在急性传染病发病期;(3)非五氯酚相关行业或职业暴露人群;(4)能配合独立完成或在家人的配合下完成问卷调查和样本采集的人群。以户为单位开展问卷调查、体格检查和尿样收集。本研究通过广州市疾病预防控制中心伦理委员会审核(审批件编号:GZCDC-ECHR-2022P0049),所有被调查者在正式参与本调查之前,均需阅读并签署书面知情同意书。

1.2 问卷调查 采用标准化问卷对调查对象进行现场面对面问卷调查,对于 <12 岁的儿童和 ≥75 岁的老人,由其成年家庭成员代为回答或协助回答。参考国内外其他相关研究提供的线索^[7,9],结合本课题组先

前的五氯酚膳食暴露评估结果^[10],调查问卷主要包括个人基本情况、生活行为方式和膳食摄入情况等,其中,膳食摄入情况重点关注五氯酚检出较高的食品类别,包括畜肉、禽肉、鱼类、软体动物、动物内脏等;同时现场测量调查对象的身高、体重。

为保障调查质量,调查前组织相关专家讨论确定问卷内容,并进行预调查;所有调查员经过集中培训,并考核合格后方可开展调查;问卷录入时采取双人录入,确保数据的准确。

1.3 尿样收集和检测 采集调查对象随机尿 10 ml,混匀分装后用冰袋避光运送,当天送往实验室,放置于 -80℃ 冰箱储存。

采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱质谱法(SPME-GC-MS/MS)测定尿中五氯酚:将尿液解冻,取 2 ml 尿液置入 15 ml 顶空瓶中,加入 10 mol/L 硫酸 100 μl,盖好瓶盖,摇匀,SPME 于 60℃ 萃取 30 min,GC-MS/MS 测定。仪器:7890B-7000C 气相色谱-三重串联四级杆质谱联用仪(美国 Agilent 公司)。气相色谱条件:色谱柱 HP-5MS (15 m × 0.25 mm × 250 μm),载气:氦气;柱流速 1.0 ml/min;分流比 5:1;进样口温度 250℃;程序升温:100℃ 保持 2 min、以 20℃/min 的升温速率升至 260℃,保持 6 min。质谱条件:溶剂延迟 5 min;接口温度 280℃;离子源温度 300℃;EI 源;扫描模式为多反应监测(MRM)。每批样品检测过程中,取两个样品分别加标 5.0 μg/L、10.0 μg/L,回收率为 86.7% ~ 103%,定量限 1 μg/L。

采用超高效液相色谱-串联质谱法(UPLC-MS/MS)测定尿中肌酐的浓度,采用平行双样、加标回收及精密度评估确保实验结果的准确性和可靠性。

1.4 五氯酚暴露水平评估 尿中五氯酚浓度受饮水、尿量、体力活动等因素的影响,因此,根据肌酐校正的五氯酚内暴露水平采用简单的毒代动力学模型对居民五氯酚每日暴露量(estimated daily intake, EDI)进行估计^[9,11]:

$$EDI = \frac{C_{uc} \times F_{cre}}{f \times BW}$$

式中, C_{uc} 为肌酐校正后的尿五氯酚浓度(μg/g 肌酐),计算方法为尿液中五氯酚的测定浓度(μg/L)/肌酐浓度(mg/L) × 1 000; F_{cre} 为每日肌酐排出量(g/day), f 为五氯酚的尿中代谢系数 0.86, BW 为调查

对象的体重(kg)。

每日肌酐排出量的计算公式^[12]:

$$F_{cre} = (266.16 - 47.71 \times \text{sex} - 2.33 \times \text{BMI} + 0.66 \times \text{age} - 0.017 \times \text{age}^2) \times \text{BW} \times 1.13e^{-4}$$

式中,男性 sex 为 0,女性为 1;age 是调查对象的年龄,BMI 是体质指数 (kg/m²),BW 是体重(kg);1.13e⁻⁴ 是每微摩尔肌酐的质量(g/μmol)。

1.5 数据处理和统计分析 尿液样品中的五氯酚浓度用肌酐值进行校正,校正后的浓度表示为 μg/g 肌酐,小于检出限 (limit of detection, LOD) 的数值用 LOD/2 替代。使用 R 软件进行统计学分析。居民尿五氯酚浓度分布采用几何均值(GM)及其 95%置信区间(95%CI)和百分位数描述;两组间差异分析采用 MannWhitney U 检验,多组间差异分析采用 Kruskal-Wallis H 检验;五氯酚浓度呈非正态分布,采用自然对数转换后作为因变量纳入模型进行分析,计算出的 β 值及其 95%CI 进行指数转换,代表自变量每变化一个单位后五氯酚水平几何均数比值的变化。将单因素分析 P<0.2 的因素纳入多元线性回归模型,分析五氯酚暴露的可能影响因素,检验水准 α=0.05。

2 结果

2.1 一般情况 本研究共调查常住居民 311 人,其

中 27 人的相关记录缺失或错误,实际有效样本量为 284 人,有效率为 91.31%。284 名调查对象中,男性 134 人(47.2%),女性 150 人(52.8%);7~17 岁 22 人(7.7%),18~64 岁 117 人(41.2%),65~85 岁 145 人(51.1%);160 人(56.3%)务农,124 人(43.7%)不务农;242 人(85.2%)学历为高中以下,42 人(14.8%)学历为高中及以上;242 人(85.2%)家庭人均年收入在 12 000 元以下,42 人(14.8%)家庭人均年收入在 12 000 元以上;31 人(10.9%)偏瘦,138 人(48.6%)体重正常,115 人(40.5%)超重肥胖(BMI 判定标准参考《中国居民膳食指南(2022)》^[13])。

2.2 尿中五氯酚浓度及暴露量评估 284 个调查对象尿中五氯酚的检出率为 92.3%(262/284),检测值范围为未检出~18.010 μg/L,尿中五氯酚浓度 GM(95%CI)为 0.558 (0.479~0.650)μg/L,中位数为 0.625 μg/L。经肌酐校正后尿五氯酚浓度 GM(95%CI)为 0.586 (0.502~0.683)μg/g 肌酐,中位数为 0.611 μg/g 肌酐。根据肌酐校正尿五氯酚浓度估算的居民五氯酚暴露量 GM(95%CI)为 0.012(0.011~0.015) μg/(kg·BW·d),中位数为 0.013 μg/(kg·BW·d),最大值为 0.735 μg/(kg·BW·d)。见表 1。

表 1 广州市 284 名传统农业生产地区居民尿五氯酚浓度及估计摄入量

指标 / 单位	GM(95%CI)	范围	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	P ₉₅
尿五氯酚浓度(未经肌酐校正,μg/L)	0.558(0.479~0.65)	<LOD~18.010	0.214	0.625	1.383	4.660
尿五氯酚浓度(经肌酐校正,μg/g 肌酐)	0.586(0.502~0.683)	<LOD~24.269	0.261	0.603	1.091	4.700
EDI[μg/(kg·BW·d)]	0.013(0.011~0.015)	0.000 4~0.735	0.006	0.013	0.030	0.098

2.3 尿五氯酚浓度分布 用 MannWhitney U 检验或 Kruskal-Wallis H 检验对五氯酚浓度进行组间差异比较,结果显示,年龄、是否务农、文化程度、家庭人均年收入、BMI、户外活动时间、接触农药、家中饲养宠物、

砧板材质、每天在家用餐次数、经常食用水果(每周大于三次)、畜禽内脏食用频次为潜在影响因素 (P<0.20)。见表 2。

表 2 尿五氯酚浓度在不同人群间的浓度分布

Table 2 Urinary concentrations of PCP in subpopulations

变量	类别	人数(%)	GM(95%CI)	W/H ¹	P 值
性别	男	134(47.2)	0.540(0.431~0.678)	9.305.500	0.325
	女	150(52.8)	0.630(0.511~0.777)		
年龄(岁)	7~17	22(7.7)	0.533(0.299~0.950)	9.044	0.011
	18~64	117(41.2)	0.423(0.328~0.544)		
	65~85	145(51.1)	0.774(0.637~0.941)		
	是否务农	否	124(43.7)		
是	160(56.3)	0.745(0.618~0.898)			
文化程度	高中以下	242(85.2)	0.661(0.564~0.775)	11.724	0.001
	高中及以上	42(14.8)	0.285(0.18~0.451)		
家庭人均年收入(元)	<12 000	242(85.2)	0.633(0.543~0.74)	5.756.000	0.156
	≥12 000	42(14.8)	0.374(0.222~0.629)		

(续表)

变量	类别	人数(%)	GM(95%CI)	W/H ¹	P 值
BMI	偏瘦	31(10.9)	0.461(0.263 ~ 0.808)	9.924	0.009
	正常	138(48.6)	0.752(0.615 ~ 0.918)		
	超重肥胖	115(40.5)	0.462(0.362 ~ 0.591)		
户外活动时间(h)	<3	141(49.6)	0.469(0.378 ~ 0.583)	7 909.500	0.002
	≥3	143(50.4)	0.728(0.588 ~ 0.901)		
接触农药	是	87(30.6)	0.784(0.608 ~ 1.013)	9 970.000	0.023
	否	197(67.4)	0.514(0.426 ~ 0.621)		
家中饲养宠物	是	59(20.8)	0.840(0.630 ~ 1.119)	7 926.500	0.012
	否	225(79.2)	0.534(0.447 ~ 0.637)		
砧板材质	木质	272(95.8)	0.601(0.514 ~ 0.703)	2 046.000	0.131
	其他	12(4.2)	0.327(0.152 ~ 0.7)		
每天在家用餐次数	≤1	15(5.3)	0.227(0.101 ~ 0.508)	1 339.000	0.031
	>1	268(94.7)	0.623(0.535 ~ 0.727)		
经常食用新鲜蔬菜(每周大于三次)	是	281(99.3)	0.590(0.506 ~ 0.689)	309.000	0.801
	否	2(0.7)	0.688(0.423 ~ 1.119)		
经常食用水果(每周大于三次)	是	204(72.1)	0.547(0.454 ~ 0.658)	7 155.000	0.160
	否	79(27.9)	0.721(0.55 ~ 0.945)		
鸡肉食用频次(次/月)	≤3	162(57.2)	0.594(0.497 ~ 0.711)	9 709.000	0.987
	>3	121(42.8)	0.586(0.448 ~ 0.767)		
牛羊肉食用频次(次/月)	≤3	262(92.6)	0.594(0.508 ~ 0.695)	2 649.000	0.799
	>3	21(7.4)	0.549(0.269 ~ 1.120)		
鱼类食用频次(次/月)	≤3	98(34.6)	0.583(0.448 ~ 0.759)	8 849.000	0.798
	>3	185(65.4)	0.595(0.492 ~ 0.719)		
畜禽内脏食用频次(次/月)	≤3	271(95.8)	0.613(0.526 ~ 0.714)	2 032.000	0.136
	>3	12(4.2)	0.262(0.094 ~ 0.729)		
软体类食用频次(次/月)	≤3	280(98.9)	0.586(0.502 ~ 0.683)	302.000	0.407
	>3	3(1.1)	1.310(0.180 ~ 9.531)		

注:W 为两样本秩和检验(Mann Whitney U test)的统计量;H 为多组样本秩和检验(Kruskal-Wallis test)的统计量。

2.4 尿五氯酚浓度的影响因素 将 $P < 0.20$ 的因素纳入多元线性回归模型,因变量取自然对数,最后对回归分析获得的 β 和置信区间取指数,获得几何均数的比值。自变量赋值情况见表 3。多元线性回归模型符合正态性(使用 Shapiro-Wilk normality test 进行检验, $W=0.994, P=0.342$)和方差齐性(使用 Studentized Breusch-Pagan test 进行检验, $BP=21.460, P=0.257$),各变量的广义方差膨胀系数均小于 10,表明不存在多重共线性,模型拟合良好。

结果显示,文化程度、BMI、户外活动时间和家中饲养宠物可能对居民尿中五氯酚暴露水平有影响。高中及以上文化程度居民的尿五氯酚含量低于高中以下文化水平的居民,BMI 提示偏瘦的居民尿五氯酚含量低于 BMI 正常的居民,户外活动时间 ≥ 3 h 的居民尿五氯酚浓度大于户外活动时间 < 3 h 的居民,家中不饲养宠物的居民尿五氯酚含量低于家中饲养宠物的居民。见表 4。

3 讨论

表 3 自变量赋值表

Table 3 Independent variable assignment table

自变量	赋值方式
年龄(岁)	1=18 ~ 64, 2=7 ~ 17, 3=65 ~ 85
是否务农	0=否, 1=是
文化程度	0=高中以下, 1=高中及以上
家庭人均年收入(元)	0= $< 12\ 000$, 1= $\geq 12\ 000$
BMI	1=正常, 2=偏瘦, 3=超重肥胖
户外活动时间(h)	0= < 3 , 1= ≥ 3
接触农药	0=是, 1=否
家中饲养宠物	0=是, 1=否
砧板材质	0=木质, 1=其他
每天在家用餐次数	0= ≤ 1 , 1= > 1
经常食用新鲜水果(每周大于三次)	0=否, 1=是
畜禽内脏食用频次(次/月)	0= ≤ 3 , 1= > 3

五氯酚是一种较难降解的持久性有机污染物,虽然已在多国限制使用或禁用,但由于其在环境中广泛存在,对人群健康构成了威胁。本研究选取的广州市传统农业生产地区某镇,因其曾使用过五氯酚钠灭螺或清洁鱼塘等,导致五氯酚环境本底值可能较高。当

表 4 广州市传统农业生产地区 284 名居民尿五氯酚浓度的影响因素

Table 4 Influencing factors of urinary PCP concentration in 284 residents of traditional agricultural production areas in Guangzhou

变量	分类	GM 比值(95%CI)	t 值	P 值
截距(Intercept)		0.853(0.21 ~ 3.469)	-0.223	0.823
年龄(岁, ref: 18 ~ 64)	7 ~ 17	1.340(0.901 ~ 1.992)	1.452	0.148
	65 ~ 85	1.432(0.610 ~ 3.360)	0.828	0.408
是否务农(ref: 否)	是	1.056(0.645 ~ 1.726)	0.216	0.829
文化程度(ref: 高中以下)	高中及以上	0.549(0.339 ~ 0.890)	-2.449	0.015
家庭人均年收入(元, ref: <12 000)	≥12 000	0.969(0.591 ~ 1.589)	-0.126	0.900
BMI(ref: 正常)	偏瘦	0.758(0.602 ~ 0.953)	-2.377	0.018
	超重肥胖	1.131(0.710 ~ 1.802)	0.521	0.603
户外活动时间(h, ref: <3)	≥3	1.393(1.005 ~ 1.931)	1.998	0.047
接触农药(ref: 是)	否	0.749(0.498 ~ 1.129)	-1.387	0.167
家中饲养宠物(ref: 是)	否	0.674(0.457 ~ 0.995)	-1.995	0.047
砧板材质(ref: 木质)	其他	0.599(0.279 ~ 1.287)	-1.319	0.188
每天在家用餐次数(ref: ≤1)	>1	1.466(0.687 ~ 3.13)	0.993	0.322
经常食用新鲜水果(每周大于三次, ref: 否)	是	1.131(0.799 ~ 1.602)	0.695	0.488
畜禽内脏食用频次(次/月, ref: ≤3)	>3	0.460(0.207 ~ 1.021)	-1.918	0.056

地呈现典型的传统农业地区人口特征——户籍中青年人口外流, 老龄人口留守照顾幼儿及儿童, 因而本研究调查人群年龄跨度大且各年龄比例不均衡, 但该比例符合调查地区的人群特征, 也能一定程度上反映同类地区的情况。调查显示当地 7 ~ 85 岁常住居民尿五氯酚检出率为 92.3%, 和上海^[7]、武汉^[14]、合肥^[15]等国内其他城市的检出率相当, 提示人群五氯酚暴露普遍存在。调查人群尿五氯酚浓度中位数为 0.625 $\mu\text{g/L}$, 经肌酐校正后尿五氯酚浓度中位数为 0.611 $\mu\text{g/g}$ 肌酐, 高于以上地区普通人群的检出值, 亦高于美国、德国、日本等其他国外人群^[16-18], 提示该人群五氯酚暴露水平较高。

根据尿五氯酚浓度(经肌酐校正)估算的广州市传统农业生产地区 284 名居民人体五氯酚摄入量(EDI) 中位数为 0.013 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$, 最大值为 0.735 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$, 均低于美国环保署(Environmental Protection Agency, EPA) 制定的参考剂量 5 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d})$ ^[19], 说明该人群五氯酚暴露的健康风险较低。

尿液中的五氯酚可来源于多种途径, 包括饮用水、土壤和空气中的残留, 通过食物链进入动物性食品中的五氯酚残留, 及职业暴露等。尽管膳食暴露是非职业人群五氯酚暴露的主要来源, 但本研究多元回归分析结果并未发现膳食暴露于五氯酚含量较高的动物性食品是尿五氯酚浓度的影响因素, 在既往的国内外研究中, 郭剑秋等^[9]对儿童尿五氯酚的影响因素进行分析, 未发现膳食特征和尿五氯酚暴露水平的关系; 张明焯等^[20]的研究发现, 蔬菜摄入频率高的人群血清五氯酚水平高。本研究多元线性回归结果提示,

文化程度、BMI、户外活动时间和家中饲养宠物是尿五氯酚暴露水平的影响因素。人口学因素如文化程度对五氯酚的暴露水平有显著影响, 这可能与社会学因素有关, 其他研究也有类似的发现^[7]。户外活动时间长和家中饲养宠物均会增加居民暴露于五氯酚的风险, 这与国内外类似研究结论相符^[9,21], 可能由于调查所在的传统农业生产地区居民住所周边即是农田或水塘, 且养狗的住户较多, 户外活动和宠物从室外带入环境污染物会增加居民接触五氯酚的机会, 从而增加居民的暴露水平。BMI 偏低的人群尿五氯酚含量较低, 初步分析可能的原因有: BMI 低的人群可能基础代谢率较高, 肝脏代谢速度更快, 导致尿中五氯酚原形减少; BMI 低的人群可能摄入高脂食物的量较少, 五氯酚暴露量较低。

本研究存在一定的局限性。一是, 单次随机尿样的暴露评估无法准确量化 24 h 内人群五氯酚的暴露水平; 二是, 本研究仅在广州市某一传统农业生产地区开展调查, 且样本量较小, 调查人群年龄跨度大, 因此研究结论仅适用于背景相似的地区, 外推程度有限; 此外, 本次研究为居民内暴露状况的现况调查, 缺乏历史暴露数据, 难以纵向比较五氯酚的长期健康效应。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] IARC. Pentachlorophenol and some related compounds: IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, volume 117 [EB/OL]. [2025-06-29]. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Pentachlorophenol-And-Some-Related-Compounds-2019>.

- [2] 张秀芹,王玉晶,李胤楠,等. 动物源产品中五氯酚来源探讨及危害分析 [J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(19): 7840-7845.
Zhang XQ, Wang YJ, Li YN, et al. Discussion on source and hazard analysis of pentachlorophenol in animal-derived products[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(19): 7840-7845.(In Chinese)
- [3] Huo YT, Wan YJ, Huang QZ, et al. Pentachlorophenol exposure in early pregnancy and gestational diabetes mellitus: A nested case-control study [J]. Science of the Total Environment, 2022, 831: 154889.
- [4] 晏筱阳. 浙江省沿海五氯酚污染物分布及风险评估研究[D]. 舟山:浙江海洋大学, 2024.
Yan XY. Distribution and risk assessment of pentachlorophenol pollutants in coastal Zhejiang province [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2024.(In Chinese)
- [5] 刘坤,王淑婷,李伟红,等. 我国畜肉产品主要药物风险因素分析及控制[J]. 农产品质量与安全, 2022(4): 85-90.
Liu K, Wang ST, Li WH, et al. Analysis and control of main drug risk factors in livestock and meat products in China[J]. Quality and Safety of Agro-Products, 2022(4): 85-90.(In Chinese)
- [6] 刘绮琪,张维蔚,李燕,等. 2017-2021 年广州市市售鲜活淡水鱼禁用兽药检出情况分析 [J]. 现代预防医学, 2024, 51(7): 1314-1319.
Liu QQ, Zhang WW, Li Y, et al. Analysis on the detection of banned veterinary drugs in freshwater fish sold in Guangzhou from 2017 to 2021 [J]. Modern Preventive Medicine, 2024, 51(7): 1314-1319.(In Chinese)
- [7] 谈亚姣,杜志远,钱杰峰,等. 上海市社区人群五氯酚内暴露特征与甲状腺激素的关联 [J]. 上海预防医学, 2024, 36(8): 746-752.
Tan YJ, Du ZY, Qian JF, et al. Association between internal pentachlorophenol exposure characteristics and thyroid hormone indices in a community population in Shanghai, China [J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2024, 36(8): 746-752.(In Chinese)
- [8] Han MK, Ma AJ, Dong Z, et al. Organochlorine pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons in serum of Beijing population: Exposure and health risk assessment [J]. Science of the Total Environment, 2023, 860: 160358.
- [9] 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.
Guo JQ, Wang Z, Zhang JM, 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.(In Chinese)
- [10] Zhang YH, Mhunu F, Zhang WW, et al. Probabilistic risk assessment of dietary exposure to pentachlorophenol in Guangzhou, China [J]. Food Additives & Contaminants: Part A, 2023, 40(2): 262-270.
- [11] Guo Y, Weck J, Sundaram R, et al. Urinary concentrations of phthalates in couples planning pregnancy and its association with 8-Hydroxy-2'-deoxyguanosine, a biomarker of oxidative stress: longitudinal investigation of fertility and the environment study [J]. Environmental Science & Technology, 2014, 48(16): 9804-9811.
- [12] Ogna VF, Ogna A, Vuistiner P, et al. New anthropometry-based age and sex-specific reference values for urinary 24-hour creatinine excretion based on the adult Swiss population [J]. BMC Medicine, 2015, 13: 1-10.
- [13] 中国营养学会. 中国居民膳食指南-2022[M]. 北京:人民卫生出版社, 2022.
Chinese Nutrition Society. Dietary guidelines for Chinese residents (2022) [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2022. (In Chinese)
- [14] Sun YF, Liu Z, Xia W, et al. Urinary pentachlorophenol in general population of central China: reproducibility, predictors, and associations with oxidative stress biomarkers [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2023, 30(13): 37598-37606.
- [15] Yang WJ, Wu HB, Zhang C, et al. Exposure to 2,4-dichlorophenol, 2,4,6-trichlorophenol, pentachlorophenol and risk of thyroid cancer: a case-control study in China [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2021, 28(43): 61329-61343.
- [16] Honda M, Kannan K. Biomonitoring of chlorophenols in human urine from several Asian countries, Greece and the United States [J]. Environmental Pollution, 2017, 232: 487-493.
- [17] Deering K, Spiegel E, Quaisser C, et al. Exposure assessment of toxic metals and organochlorine pesticides among employees of a Natural History Museum [J]. Environmental Research, 2020, 184: 109271.
- [18] Schmieid-Tobies MIH, Murawski A, Schmidt L, et al. Pentachlorophenol and nine other chlorophenols in urine of children and adolescents in Germany-Human biomonitoring results of the German Environmental Survey 2014-2017 (GerES V) [J]. Environmental Research, 2021, 196: 110958.
- [19] Agency for Toxic Substances and Disease Registry(ATSDR). Toxicological profile for pentachlorophenol [EB/OL]. [2025-06-28]. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp51-p.pdf>.
- [20] 张明烨,曹衍,李想,等. 人血清中 97 种典型化学污染物暴露特征及健康风险评估[J]. 色谱, 2024, 42(2): 217-223.
Zhang MY, Cao Y, Li X, et al. Exposure characteristics and health risk assessment of 97 typical chemical pollutants in human serum [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2024, 42(2): 217-223. (In Chinese)
- [21] Rodzaj W, Wileńska M, Klimowska A, et al. Concentrations of urinary biomarkers and predictors of exposure to pyrethroid insecticides in young, Polish, urban-dwelling men [J]. Science of the Total Environment, 2021, 773: 145666.

收稿日期:2025-04-14