

· 综述 ·

# 三氯生的环境浓度、人群暴露及健康风险研究进展

谢华森<sup>1</sup>, 宋杨<sup>1</sup>, 王晓峰<sup>2</sup>, 陈志健<sup>2</sup>, 徐沛维<sup>2</sup> 综述; 楼晓明<sup>2</sup> 审校

1. 杭州师范大学医学部, 浙江 杭州 311121; 2. 浙江省疾病预防控制中心环境与健康所

**摘要:** 三氯生 (TCS) 广泛应用于各类个人护理用品, 是生活中常见的环境内分泌干扰物之一。TCS在水、土壤和空气等环境介质中均有检出, 其环境暴露水平随着消费量的增加而升高。环境中的TCS通过饮食和饮水等途径进入人体, 但尚无充分的研究证据表明TCS暴露会导致不良健康效应。本文总结了近年来TCS环境浓度、人群暴露及健康风险研究进展。

**关键词:** 三氯生; 环境浓度; 人群暴露; 健康风险

**中图分类号:** R12 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-5087 (2021) 10-1013-04

## Research progress on environmental concentration levels, population exposure and health risk of triclosan

XIE Huasen\*, SONG Yang, WANG Xiaofeng, CHEN Zhijian, XU Peiwei, LOU Xiaoming

\*Division of Health Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou, Zhejiang 311121, China

**Abstract:** Triclosan, widely used in various personal care products, is one of the most common environmental endocrine disruptors in our life. It can be detected from water, soil and dust, and its environmental exposure level increased with consumption. Human body are exposed to triclosan through food and water, but the evidence that triclosan exposure leads to adverse health effects is not sufficient. This paper summarizes the progress of studies related to environmental concentration, population exposure and health risks of triclosan in recent years.

**Keywords:** triclosan; environmental concentration; population exposure; health risk

近年来, 药物和个人护理用品 (pharmaceuticals and personal care products, PPCPs) 大量使用以及废弃 PPCPs 不合理处置和生产污水处理工艺不完善导致的环境 PPCPs 污染引起全球关注<sup>[1-2]</sup>。三氯生 (triclosan, TCS) 是一种人工合成的广谱抗菌剂, 广泛应用于肥皂、牙膏、漱口水和消毒洗手液等个人护理产品, 也用于纺织品的消毒和抗菌处理<sup>[3]</sup>。TCS 是一种环境内分泌干扰物, 对人体具有潜在健康危害<sup>[4]</sup>。本文就 TCS 的环境浓度、人群暴露以及 TCS 暴露的健康风险进行综述。

### 1 TCS 的环境暴露

我国是 TCS 生产和消费大国, 每年消费的 TCS 中约有 66% 被排放至环境中<sup>[5]</sup>。随着 TCS 消费量不

断增加, 其环境暴露呈上升趋势<sup>[6]</sup>, 在水环境、土壤和室内粉尘等多种介质中均能检出 TCS。

**1.1 水体 TCS 暴露** 由于目前的污水处理工艺无法完全去除 TCS, 剩余的 TCS 经由处理厂排放至地表水中。地表水中的 TCS 浓度与水文特征、周边地区 TCS 的生产消费、污水处理厂的处理和排放等因素相关, 因此不同地区 TCS 浓度差异较大。LI 等<sup>[7]</sup> 研究显示, 松花江哈尔滨段的 TCS 浓度为 (1.1±0.47) ~ (4.8±0.35) ng/L。王明泉等<sup>[8]</sup> 于 2013—2014 年对南水北调山东受水区 19 个水源地的调查发现, 其中 7 个水源地检出 TCS, 浓度为 0.6~9.0 ng/L。MA 等<sup>[9]</sup> 于 2015 年 3—9 月采集长江中游 120 个地表水样品, TCS 检出率为 98.3%, 几何均数浓度为 1.90 ng/L。珠江水系东江流域水样中 TCS 检出率高于 95%, TCS 最高浓度达 168 ng/L<sup>[10]</sup>。HUANG 等<sup>[6]</sup> 根据长江、黄河等主要河流的 TCS 浓度估算出 2008 年中国河流系统中 TCS 平均浓度为 46.45 ng/L。

**1.2 土壤 TCS 暴露** LIU 等<sup>[11]</sup> 对北京市东南郊再

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2021.10.009

作者简介: 谢华森, 硕士在读

通信作者: 楼晓明, E-mail: xmlou@cdc.zj.cn

生废水农业灌溉系统的研究发现,污水处理厂输出的再生废水中 TCS 浓度为 15.93~26.23 ng/L,灌溉区土壤中 TCS 浓度为 20.22~28.13  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; TCS 的半衰期 (15.68 d)<sup>[12]</sup> 和疏水性 (正辛醇水分配系数为 4.8)<sup>[13]</sup> 导致其容易被土壤吸附。FUCHSMAN 等<sup>[14]</sup> 对美国加利福尼亚州、亚利桑那州和宾夕法尼亚州共 302 片农田的相关数据进行分析,估算出表层 30 cm 土壤中 TCS 浓度为 26~340  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,并推测 TCS 的主要来源是污水处理厂无害化处理后用于土壤施肥的活性污泥。

**1.3 空气 TCS 暴露** CHEN 等<sup>[15]</sup> 研究显示,体育馆和住宅的室内空气尘埃中 TCS 中位浓度为 390 ng/g,且体育馆空气尘埃中 TCS 含量明显高于住宅。ZHU 等<sup>[16]</sup> 分别于 2017 年 1 月、2018 年 1 月和 2019 年 1 月在中国华北、东北、华东、华南、西南和西北地区采集室内尘埃样本 289 份, TCS 检出率为 100%,几何均数浓度为 80.0 ng/g 干重,估计中国人群每日从室内尘埃摄入的 TCS 和三氯卡班合计量为 0.044~0.550 ng/kg 体重。

## 2 TCS 的人群暴露

废水中 TCS 主要流入地表水和土壤,可在水产品和农产品中积累,通过食物和饮水途径进入人体<sup>[6]</sup>。有研究发现,上海市市售的草鱼和辽河鱼样品中 TCS 浓度分别为 8.14 和 20.75 ng/g 干重<sup>[17]</sup>。LIU 等<sup>[11]</sup> 评估成年人每日从茄子、豆角、黄瓜和小麦中摄入 TCS 的量分别为 0.009、0.074、0.264 和 4.811 ng/kg 体重。LI 等<sup>[18]</sup> 评估广州市成年人每日通过瓶装水和自来水摄入的 TCS 量分别为 7 和 10 ng。但目前仍缺乏环境 TCS 导致人体暴露的剂量数据<sup>[6]</sup>。

TCS 在各年龄段人群的生物样品中均能检出。2009—2012 年江苏省射阳县出生队列研究中,377 对母亲及其 3 岁幼儿的尿液 TCS 检出率分别为 100% 和 99.5%,中位浓度为 0.65 和 0.44  $\mu\text{g}/\text{L}$ <sup>[19]</sup>。19~82 岁人群尿液 TCS 检出率为 80% (0.36  $\mu\text{g}/\text{L}$ ),趾甲为 69% (5.67  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ),指甲为 79% (13.57  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )<sup>[20]</sup>。

不同国家的人群 TCS 暴露水平有所不同。2009 年韩国一项调查结果显示,约 92.6% 的韩国成年人尿液 TCS 浓度高于 0.05  $\mu\text{g}/\text{L}$ ,人群尿液 TCS 中位浓度为 1.53  $\mu\text{g}/\text{L}$ <sup>[21]</sup>; 2015—2017 年,韩国成年人尿液 TCS 的中位浓度为 0.1  $\mu\text{g}/\text{L}$ <sup>[22]</sup>。美国国家健康和营养调查 (National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES) 结果显示,美国人群尿液 TCS 的中位浓度高于 10  $\mu\text{g}/\text{L}$ ,同性别 19 岁以上组

的尿液 TCS 水平均高于 19 岁以下组,提示随着年龄增长和 TCS 产品使用量增加,人群 TCS 暴露水平呈上升趋势<sup>[23-24]</sup>。美国人群的 TCS 暴露水平高于中国和韩国。

## 3 TCS 暴露的健康风险

**3.1 TCS 与神经行为发育** PHILIPPAT 等<sup>[25]</sup> 的研究结果显示,母亲产前 TCS 暴露水平与法国儿童 3 岁时的关系问题评分升高相关 ( $RR=1.11$ , 95% $CI$ : 1.03~1.20),与 5 岁时的多动症评分升高相关 ( $RR=1.08$ , 95% $CI$ : 1.01~1.14)。JACKSON - BROWNE 等<sup>[26]</sup> 观察到儿童 8 岁时认知分数的下降与产妇产时的尿液 TCS 浓度相关,而与孕中、晚期尿液 TCS 浓度并未发现关联,但该研究无法排除妊娠期间 TCS 变化导致错误估计 TCS 暴露程度的可能性。JIANG 等<sup>[27]</sup> 未发现产前总 TCS 暴露与婴幼儿精神运动发育指数和精神发育指数的相关性。

**3.2 TCS 与妊娠期糖尿病** FISHER 等<sup>[28]</sup> 研究发现,妊娠早期接触 TCS 可能降低妊娠糖尿病的患病风险 ( $OR=0.54$ , 95% $CI$ : 0.34~0.86)。然而,SHA-PIRO 等<sup>[29]</sup>、OUYANG 等<sup>[30]</sup> 的研究未发现尿液 TCS 浓度与妊娠糖尿病之间具有显著相关性。上述研究以单一时点的 TCS 浓度衡量暴露水平,无法反映妊娠期间 TCS 的真实暴露情况,且未考虑 TCS 与其他化学物质暴露的潜在联合效应,因此将研究结果外推至其他人群需谨慎。

**3.3 TCS 与甲状腺功能** DERAKHSHAN 等<sup>[31]</sup> 对 1 996 名孕早期孕妇的研究显示,尿液 TCS 浓度与血清甲状腺素、促甲状腺素等甲状腺功能标志物之间无明显相关性。LEY 等<sup>[32]</sup> 研究显示,使用含 TCS 成分的洗护产品与甲状腺功能指标变化没有关联,提示洗护产品中的 TCS 不会影响孕妇的甲状腺功能水平,但无法排除 TCS 暴露水平过低未引起效应的可能。

**3.4 TCS 与生殖健康** SCINICARIELLO 等<sup>[33]</sup> 未发现美国 NHANES 中 19 岁以下男性人群的尿液 TCS 浓度与血清睾酮水平之间的关联。CHEN 等<sup>[34]</sup> 对 877 例特发性不育男性病例和 713 例正常男性进行病例对照研究,并未发现尿液 TCS 浓度与精子浓度、精液体积、每次射精精子数等精液参数的关联,提示 TCS 暴露不会引起男性特发性不育。

## 4 结论

TCS 在水、土壤和空气等环境介质普遍能检出,不同地区 TCS 的环境浓度存在差异,环境 TCS 可能

通过生活用水、水产品和农作物等途径进入人体。人群 TCS 暴露涉及人群广, 但研究尚未发现 TCS 暴露导致健康风险的充分证据, 可能与 TCS 暴露水平低有关<sup>[32]</sup>。此外, 相关研究设计也存在局限性, 例如单个时点测得的 TCS 暴露水平无法反映一段时间内的平均暴露水平<sup>[26, 28-30]</sup>, 无法有效控制其他化学物质暴露的影响等<sup>[28-29]</sup>。持续的暴露会导致风险积累, TCS 的环境和人群暴露情况仍需长期关注, 并通过更多标准一致、设计严谨的研究获取更加可靠的证据。对于已经存在的 TCS 暴露, 应制定合理有效的管理方案, 降低潜在的健康风险。

### 参考文献

- [1] EBELE A J, ABDALLAH M A E, HARRAD S. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment [J]. *Emerg Contam*, 2017, 3 (1): 1-16.
- [2] 任丙南, 耿静. 三亚市水体中 PPCPs 的污染水平、分布特征及生态风险评估 [J/OL]. *环境科学* (2021-04-16) [2021-06-14]. <https://doi.org/10.13227/j.hjkk.202102031>.
- [3] 姚思睿, 魏然, 倪进治, 等. 福州内河沉积物中三氯生和甲基三氯生的含量、来源及其生态风险 [J]. *环境科学学报*, 2015, 35 (8): 2519-2525.
- [4] JAMES C L, BOFFETTA P, WARREN G F, et al. Critical comments on the WHO-UNEP State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals-2012 [J]. *Regul Toxicol Pharm*, 2014, 69 (1): 22-40.
- [5] ZHANG Q Q, YING G G, CHEN Z F, et al. Basin-scale emission and multimedia fate of triclosan in whole China [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2015, 22: 10130-10143.
- [6] HUANG C L, MA H W, YU C P. Substance flow analysis and assessment of environmental exposure potential for triclosan in mainland China [J]. *Sci Total Environ*, 2014, 499: 265-275.
- [7] LI W L, ZHANG Z F, SPARHAM C, et al. Validation of sampling techniques and SPE-UPLC/MS/MS for home and personal care chemicals in the Songhua Catchment, Northeast China [J/OL]. *Sci Total Environ*, 2020, 707 (2020-03-10) [2021-06-14]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136038>.
- [8] 王明泉, 李圭白, 贾瑞宝, 等. 南水北调山东受水区水源水环境激素污染特性 [J]. *中国给水排水*, 2015, 31 (23): 69-71.
- [9] MA X Q, WAN Y J, WU M Y, et al. Occurrence of benzophenones, parabens and triclosan in the Yangtze River of China, and the implications for human exposure [J]. *Chemosphere*, 2018, 213: 517-525.
- [10] 许秋瑾, 应光国, 夏青, 等. 洗涤剂对水环境的风险及防控对策建议 [J]. *环境工程技术学报*, 2019, 9 (6): 775-780.
- [11] LIU X J, LIANG C Z, LIU X H, et al. Occurrence and human health risk assessment of pharmaceuticals and personal care products in real agricultural systems with long-term reclaimed wastewater irrigation in Beijing, China [J/OL]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2020, 190 (2020-03-01) [2021-06-14]. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110022>.
- [12] XU J, WU L, CHANG A C. Degradation and adsorption of selected pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in agricultural soils [J]. *Chemosphere*, 2009, 77 (10): 1299-1305.
- [13] 张立娜, 宫晓双, 安婧, 等. 三氯生的环境残留、降解代谢及其潜在生态风险 [J]. *应用生态学报*, 2018, 29 (9): 3139-3146.
- [14] FUCHSMAN P, LYNDALL J, BOCK M, et al. Terrestrial ecological risk evaluation for triclosan in land-applied biosolids [J]. *Integr Environ Assess Manag*, 2010, 6 (3): 405-418.
- [15] CHEN J, HARTMANN E M, KLINE J, et al. Assessment of human exposure to triclocarban, triclosan and five parabens in U.S. indoor dust using dispersive solid phase extraction followed by liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *J Hazard Mater*, 2018, 360: 623-630.
- [16] ZHU Q Q, WANG M, JIA J B, et al. Occurrence, distribution, and human exposure of several endocrine-disrupting chemicals in indoor dust: a nationwide study [J]. *Environ Sci Technol*, 2020, 54 (18): 11333-11343.
- [17] 郑柯文, 李寒, 王昭, 等. 气相色谱/质谱法同时检测鱼肉样品中三氯生及其甲基代谢产物 [J]. *上海大学学报 (自然科学版)*, 2013, 19 (4): 354-357, 367.
- [18] LI X, YING G G, SU H C, et al. Simultaneous determination and assessment of 4-nonylphenol, bisphenol A and triclosan in tap water, bottled water and baby bottles [J]. *Environ Int*, 2010, 36 (6): 557-562.
- [19] GUO J Q, WU C H, ZHANG J M, et al. Early life triclosan exposure and neurodevelopment of children at 3 years in a prospective birth cohort [J/OL]. *Int J Hyg Environ Health*, 2020, 224 [2021-06-14]. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113427>.
- [20] YIN J, WEI L, SHI Y, et al. Chinese population exposure to triclosan and triclocarban as measured via human urine and nails [J]. *Environ Geochem Health*, 2016, 38 (5): 1125-1135.
- [21] KIM K, PARK H, YANG W H, et al. Urinary concentrations of bisphenol A and triclosan and associations with demographic factors in the Korean population [J]. *Environ Res*, 2011, 111 (8): 1280-1285.
- [22] LIM S. The associations between personal care products use and urinary concentrations of phthalates, parabens, and triclosan in various age groups: the Korean National Environmental Health Survey Cycle 3 2015-2017 [J/OL]. *Sci Total Environ*, 2020, 742 (2020-11-10) [2021-06-14]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140640>.
- [23] LI S X, ZHAO J Y, WANG G D, et al. Urinary triclosan concentrations are inversely associated with body mass index and waist circumference in the US general population: experience in NHANES 2003-2010 [J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2015, 218 (4): 401-406.
- [24] KOEPE E S, FERGUSON K K, COLACINO J A, et al. Relationship between urinary triclosan and paraben concentrations and serum thyroid measures in NHANES 2007-2008 [J]. *Sci Total Environ*, 2013, 445/446: 299-305.

- [25] PHILIPPAT C, NAKIWALA D, CALAFAT A M, et al. Prenatal exposure to nonpersistent endocrine disruptors and behavior in boys at 3 and 5 years [J/OL]. *Environ Health Perspect*, 2017, 125 (2017-09-15) [2021-06-14]. <https://doi.org/10.1289/EHP1314>.
- [26] JACKSON-BROWNE M S, PAPANDONATOS G D, CHEN A M, et al. Identifying vulnerable periods of neurotoxicity to triclosan exposure in children [J/OL]. *Environ Health Perspect*, 2018, 126 (2018-05-02) [2021-06-14]. <https://doi.org/10.1289/EHP2777>.
- [27] JIANG Y Q, ZHAO H Z, XIA W, et al. Prenatal exposure to benzophenones, parabens and triclosan and neurocognitive development at 2 years [J]. *Environ Int*, 2019, 126: 413-421.
- [28] FISHER B G, HANNE F, ANNA-MARIA A, et al. Serum phthalate and triclosan levels have opposing associations with risk factors for gestational diabetes mellitus [J/OL]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2018, 9 (2018-03-13) [2021-06-14]. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00099>.
- [29] SHAPIRO G D, ARBUCKLE T E, ASHLEY-MARTIN J, et al. Associations between maternal triclosan concentrations in early pregnancy and gestational diabetes mellitus, impaired glucose tolerance, gestational weight gain and fetal markers of metabolic function [J]. *Environ Res*, 2018, 161: 554-561.
- [30] OUYANG F X, TANG N, ZHANG H J, et al. Maternal urinary triclosan level, gestational diabetes mellitus and birth weight in Chinese women [J]. *Sci Total Environ*, 2018, 626: 451-457.
- [31] DERAKHSHAN A, SHU H, PEETERS R P, et al. Association of urinary bisphenols and triclosan with thyroid function during early pregnancy [J/OL]. *Environ Int*, 2019, 133 [2021-06-14]. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105123>.
- [32] LEY C, PISCHEL L, PARSONNET J. Triclosan and triclocarban exposure and thyroid function during pregnancy—a randomized intervention [J]. *Reprod Toxicol*, 2017, 74: 143-149.
- [33] SCINICARIELLO F, BUSER M C. Serum testosterone concentrations and urinary bisphenol A, benzophenone-3, triclosan, and paraben levels in male and female children and adolescents: NHANES 2011-2012 [J]. *Environ Health Perspect*, 2016, 124 (12): 1898-1904.
- [34] CHEN M J, TANG R, FU G, et al. Association of exposure to phenols and idiopathic male infertility [J]. *J Hazard Mater*, 2013, 250/251: 115-121.

收稿日期: 2021-05-06 修回日期: 2021-06-14 本文编辑: 徐文璐

## (上接第 1012 页)

- [3] 宁永鑫, 段晓川. 福建省基层卫生人才队伍建设现状问题及对策建议 [J]. *中国人事科学*, 2020 (7): 37-41.
- [4] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. “十三五”全国卫生计生人才发展规划 [Z]. 2017: 1-2.
- [5] 浙江省机构编制委员会办公室, 浙江省财政厅, 浙江省卫生和计划生育委员会. 关于印发浙江省各级疾病预防控制中心机构编制标准的通知 [Z]. 2017: 4-6.
- [6] 中华人民共和国中央机构编制委员会办公室, 财政部, 国家卫生和计划生育委员会. 关于印发疾病预防控制中心机构编制标准指导意见的通知 [Z]. 2014: 4-6.
- [7] 朱佳剑. 南通市通州区加强基层卫生人才队伍建设的实践与思考 [J]. *江苏卫生事业管理*, 2018, 29 (8): 897-899.
- [8] 孙轶楠. 医药卫生科技人才现状分析 [J]. *中国科技资源导刊*, 2019, 51 (3): 102-109.
- [9] 彭颖. 长沙市基层卫生人才队伍建设现状与建议 [J]. *中国医药导报*, 2019, 16 (26): 177-185.
- [10] 祝嫦娥, 陈昭蓉, 周丹丹, 等. 基层卫生人才队伍建设路径探索 [J]. *医学与社会*, 2019, 32 (9): 24-51.
- [11] 李娜, 张人杰, 邢宇航. 浙江省各级疾病预防控制中心人力资源发展研究 [J]. *预防医学*, 2019, 31 (1): 10-14.
- [12] 张光鹏. 我国基层卫生人才队伍建设的进展与挑战 [J]. *中国卫生政策研究*, 2012, 5 (10): 39-43.
- [13] 刘碧瑶, 赵燕荣, 戚小华, 等. 浙江省卫生人力资源配置及公平性研究 [J]. *预防医学*, 2017, 29 (6): 541-544.
- [14] 朱天荣. 基层医疗卫生人才现状分析及对策 [J]. *教育现代化*, 2016 (36): 222-224.

收稿日期: 2021-05-26 修回日期: 2021-08-07 本文编辑: 徐文璐