

# 动物源产品中五氯酚来源探讨及危害分析

张秀芹, 王玉晶, 李胤楠, 邱险辉, 刘 涛\*

(华测检测认证集团股份有限公司, 深圳 518101)

**摘 要:** 五氯酚(pentachlorophenol, PCP)是一种可对生物体产生复合毒性的持久性有机污染物, 也属内分泌污染物。由于其价格低、效果好, 20 世纪 30 年代以来, 在世界范围内广泛用于杀虫剂、抗菌剂和防腐剂等。随着研究的深入, 鉴于其对机体的毒害作用, 多国都已将五氯酚列为禁用物质, 我国目前除了允许木材防腐使用, 其他领域都已禁用。根据多省发布的食品安全数据显示, 经常会有动物源性产品被检出五氯酚。本文对动物源性产品中五氯酚的来源进行了分析探讨, 并阐述我国对五氯酚的相关规定及五氯酚对生物体危害的研究进展, 对预防和减少五氯酚的危害提出建议, 以期引起人们对这种慢性危害的重视, 为国家对五氯酚的管理提供参考。

**关键词:** 五氯酚; 来源; 危害

## Discussion on source and hazard analysis of pentachlorophenol in animal-derived products

ZHANG Xiu-Qin, WANG Yu-Jing, LI Yin-Nan, QIU Xian-Hui, LIU Tao\*

(Centre Testing International Group Co., Ltd., Shenzhen 518101, China)

**ABSTRACT:** Pentachlorophenol (PCP) is a kind of persistent organic pollutant which can produce compound toxicity to organisms, it's also an endocrine pollutant. It has widely used as insecticide, antibacterial agent and preservative in the worldwide in the 1930s because of its low price and good effect. With the deepening of research, due to its toxic effect on the body, many countries have listed pentachlorophenol as a prohibited substance, at present, China has banned the use of pentachlorophenol in other fields except wood preservation. According to the food safety data released by many provinces, PCP is often detected in animal-derived products. This paper analyzed and discussed the sources of pentachlorophenol in animal-derived products, and described the relevant regulations of pentachlorophenol in China and the research progress on the harm of pentachlorophenol to organism, some suggestions were put forward to prevent and reduce the harm of pentachlorophenol, in order to arouse people's attention to this chronic harm and to provide reference for national management of PCP.

**KEY WORDS:** pentachlorophenol; source; harm

## 0 引 言

五氯酚(pentachlorophenol, PCP)及其钠盐(五氯酚钠, PCP-Na)作为一种有机氯药物, 因具有杀菌、杀虫、除草及

防腐等作用, 曾在世界范围内被广泛使用<sup>[1]</sup>。在我国, PCP-Na 曾作为杀灭血吸虫中间宿主-钉螺的药物, 在长江中下游许多省市血吸虫病疫区大范围长期使用<sup>[2]</sup>。但由于其对生物体的毒性作用、环境介质中的难降解性及持久

\*通信作者: 刘涛, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品、药品、农产品及日化产品检测。E-mail: tony.liu@cti-cert.com

\*Corresponding author: LIU Tao, Master, Engineer, Center Testing International Group Co., Ltd., CTI Building, No.4, Liuxian 3rd Road, Xinan Street, BaoA District, Shenzhen 518101, China. E-mail: tony.liu@cti-cert.com

污染等特点, 20 世纪 70 年代开始, 各国陆续出台措施限制 PCP 的生产和使用。中华人民共和国农业农村部、卫生健康委员会、国家市场监督管理总局等陆续将五氯酚列为禁用物质。中华人民共和国工业和信息化部也对其生产进行了限制。国家市场监督管理总局在每年的国抽细则中, 将五氯酚列为动物源性产品的监督检验项目, 且为猪肝中的必检项目。各级市场监督管理局发布的食品质量安全数据中<sup>[3]</sup>, 经常会发现水产品、畜禽肉及猪肝等动物源产品中检出五氯酚。

本文通过对五氯酚危害进行阐述、对动物源性产品中五氯酚可能来源途径进行分析探讨, 希望能引起广大消费者对五氯酚污染情况的重视, 也希望国家标准制修订部门能够及早更新与我们日常生活息息相关的竹木制品的产品标准, 及早减少或杜绝五氯酚对人体的影响风险。

## 1 五氯酚的危害

五氯酚是持久性有机污染物 (persistent organic pollutants, POPs)<sup>[4]</sup>, 所谓 POPs, 是指通过各种环境介质 (大气、水、生物体等) 能够长距离迁移并长期存在于环境、具有长期残留性、生物蓄积性、半挥发性和高毒性、对人类健康和环境具有严重危害的天然或人工合成的有机污染物。2017 年 10 月 27 日, 世界卫生组织国际癌症研究机构公布了致癌物清单, 其中五氯酚属于一类致癌物<sup>[5]</sup>。近年来, 大量研究证明, PCP 中含有高毒性的氯化二苯并二噁英 (polychlorinated dibenzodioxins, PCDDs)、四氯化二苯并呋喃 (tetrachloro dibenzofuran, TCDFs) 等多种污染物, 特别是剧毒物四氯二苯并二噁英 (tetrachlorodibenzo-p-dioxin, TCDD)。这些物质具有强烈的致癌、致畸、致突变作用, 对生殖系统影响较大。环境介质中的 PCP 可通过呼吸、饮食或直接接触等方式进入生物体, 导致生物毒性<sup>[6-7]</sup>。研究人员通过暴露实验或摄入 PCP 后的生理反应, 对其毒性进行研究, 发现除急性毒性外, 还可对生物造成致癌性、内分泌毒性<sup>[8]</sup>、基因毒性、遗传毒性<sup>[9]</sup>等, 可认为 PCP 是一类可产生复合毒性的有机污染物。最近研究显示, PCP 可与环境中的其他污染物如纳米管等产生协同作用, 通过生理学 and 转录水平上的改变, 导致形态学毒性<sup>[10]</sup>。鉴于其强大的生物稳定性, 导致其危害性也会更强、更持久。有研究表明, 用五氯酚处理过的木材建造鸡舍, 40 年后仍会导致鸡蛋中 PCDDs 和氯代二苯并呋喃 (polychlorinated dibenzofurans, PCDFs) 等高毒物质的残留<sup>[11]</sup>。五氯酚的毒性表现在以下几方面。

### 1.1 PCP 对生殖及遗传的影响

EHRICH<sup>[12]</sup>通过动物实验证实, PCP 可抑制卵母细胞的生长发育, 导致卵母细胞发育异常等病理改变; 有研究进一步证明, 母体暴露 PCP 可导致基因表达层面发生改变,

从而导致失胎率升高<sup>[13]</sup>。研究发现, PCP 可导致染色体畸变和基因位点突变, 对胚胎和生殖细胞有致畸和致突变作用<sup>[14]</sup>。PCP 通过其代谢产物使细胞 DNA 链断裂, 产生细胞毒性作用<sup>[15]</sup>, 此外, PCP 还通过激活核酸内切酶导致产生大量的 DNA 片段等方式, 对 DNA 造成损伤<sup>[16]</sup>。

### 1.2 PCP 对内分泌功能的影响

PCP 是一种环境内分泌干扰物, 具有弱雌激素样作用。在发育期, 接触环境雌激素可对正处于发育中的生殖器官和其他具有相同激素受体的器官造成不可逆的永久性改变<sup>[17]</sup>。环境雌激素几乎可引起各种类型的雄性生殖系统发育障碍, 如睾丸萎缩、少精、无精、精子质量差等<sup>[18]</sup>。ORTON 等<sup>[19]</sup>研究表明, PCP 对雄性和雌性均有明显的拮抗作用; 蟾蜍的体外实验表明, 在 6.25  $\mu\text{g/L}$  和 62.5  $\mu\text{g/L}$  剂量下, 卵巢雌二醇和睾酮的分泌明显受到抑制, 孕酮的分泌在 62.5  $\mu\text{g/L}$  时受到抑制。近年的体外研究表明, PCP 对三碘甲状腺原氨酸与甲状腺素转运蛋白 (transthyretin, TTR) 结合具有较强的抑制作用, 50% 抑制浓度仅约 1.7  $\mu\text{g/L}$ , 其相对亲和力较高<sup>[20]</sup>。PCP 竞争性地与血液中的甲状腺素转运蛋白结合, 干扰甲状腺素 (thyroid hormones, THs) 的作用, 而 THs 在胎儿的发育尤其是脑的发育中作用尤为重要<sup>[21]</sup>。研究发现<sup>[22]</sup>, 慢性暴露于低浓度 PCP 水环境中会改变斑马鱼血浆甲状腺激素水平, 影响代谢相关基因的表达, 导致斑马鱼发育异常。受体结合试验表明, PCP 模拟天然激素与激素受体结合可能是破坏内分泌的主要途径。

### 1.3 PCP 的致癌作用

越来越多的研究表明<sup>[23-25]</sup>, PCP 的职业接触与血液肿瘤和软组织肉瘤有关。流行病学研究显示, 父母 PCP 职业暴露可致子女患癌风险。多种肿瘤的发生发展与抑癌基因 *p53* 点突变、缺失或易位导致失活高度相关<sup>[26]</sup>, 而 PCP 可能通过影响抑癌基因 *p53* 的表达量而产生致癌性<sup>[27]</sup>。JIANG 等<sup>[28]</sup>研究表明, PCP 通过影响 CYP1As 酶活及改变肝内抗氧化状态而造成肝脏毒性。郑丹等<sup>[29]</sup>通过对差异表达基因和差异表达蛋白分析证实五氯酚暴露对花鲈肝脏造成损伤。

### 1.4 PCP 对免疫功能的影响

PCP 还会影响机体免疫机能, 急性动物实验显示, 当 PCP 剂量为 100 mg/kg 体重时, 巨噬细胞功能受到抑制; 当 PCP 剂量为 25 mg/kg 体重时, 连续暴露 30 d, 实验动物 B 淋巴细胞增殖受到抑制<sup>[30]</sup>。有研究证实<sup>[31]</sup>, 当细胞连续暴露 PCP 24-48 h, 可以降低人自然杀伤细胞的细胞溶解功能。细胞实验发现<sup>[32]</sup>, 随着 PCP 暴露时间和浓度的增加, 自然杀伤细胞表面蛋白逐渐丧失表达能力, 使其失去与细胞结合的能力, 从而丧失其应有的免疫功能。

此外, PCP 在人体上也发生过急性中毒事件<sup>[33]</sup>, 临床症状主要表现为发热、大汗、烦躁及呼吸急促等, 易被误诊为呼吸道疾病而错过最佳治疗时机。

## 2 动物源产品五氯酚来源分析

目前, 针对动物源食品中五氯酚的来源问题, 大致有几种倾向, 一种是养殖环节主动投放。五氯酚曾作为杀螺剂在我国许多省有应用, 且取得过辉煌成绩, 使血吸虫得到有效控制。但研究发现其可能会对人类健康和环境产生重大不利影响, 2002 年, 农业部发布 193 号公告, 将五氯酚列入《食品动物禁用的兽药及其它化合物清单》, 停止五氯酚杀螺剂的原料药及其单方、复方制剂产品经营和使用。2011 年, 根据农办农[2011]10 号要求, 自 2011 年 1 月, 不再批准五氯酚钠的新增登记, 已批准登记的产品不再办理续展登记, 即相当于废止了五氯酚的农药登记<sup>[34]</sup>。至此, 无论是作为农药还是兽药, 市场上已不再有相关产品, 养殖业者通过正规渠道已买不到五氯酚的产品。即便通过非法渠道获得并进行主动投喂, 根据五氯酚的代谢缓慢的特点, 组织内会有很高的残留, 但各省市场监督管理局公布的检测数据似乎并不支持这种观点。对于畜禽及水产养殖业, 五氯酚药物并非具有不可替代性, 正常情况下, 没必要冒险购买及使用被国家明令禁止的药物。但由于五氯酚及其钠盐杀虫防霉效果好、价格便宜, 也不排除个别小规模个体养殖户会用五氯酚作为清塘剂, 或者一些兽药、饲料、水质改良剂或底质改良剂等投入品企业存在一些违规操作, 非法将五氯酚加入其中, 打着促生长、水质改善、预防疾病等口号销售<sup>[35]</sup>, 而导致淡水产品中五氯酚超标。近年来, 农业农村部每年组织开展水产养殖用兽药及其他投入品安全隐患排查工作<sup>[36]</sup>, 通过 2017—2019 年统计数据可看出, 在水产养殖用化学药品、水质改良剂、底质改良剂和微生态制剂中均有检出五氯酚钠<sup>[37]</sup>。

第二种倾向是通过污染的水和土壤, 经食物链蓄积于动物体内<sup>[38-39]</sup>, 造成鱼、肉、蛋、乳等动物源性食品中的阳性检出<sup>[40-41]</sup>。在 2020 年“世界食品安全日”中国主场活动上, 国务院食安办主任号召专家学者加强宣传, 帮助公众解疑释惑, 针对动物源产品中五氯酚超标原因, 有专家给出的解释即为“肉类食品中五氯酚酸钠主要源于养殖户违规使用相关兽药, 由于五氯酚酸钠具有较高的水溶性, 容易以水为载体广泛地扩散, 对水源和土壤中造成污染, 进入饲料用植物中, 通过食物链蓄积在动物体内, 残留在食品中”。这种解释理论上是可能的, 但也存在疑问: 如果饲料用植物含五氯酚, 同样会通过饲料传递到禽类产品和水产品中, 如果是这种来源, 那么市售畜禽产品及水产品, 其五氯酚检出率应该接近, 但根据各级市场监管局不定期发布的信息, 似乎并不支持这种观点。同时这种可能性目前未见饲用植物、水和土壤中关于五氯酚污染的检测数据

支撑。这也提示我们, 动物源食品中的五氯酚或许不是来源于养殖过程。

第三种倾向是外界接触材料污染所致。这是因为五氯酚可作为木材防腐剂, 用其进行防腐处理过的木材制作砧板在长期的使用过程中持续不断向外释放五氯酚酸钠, 会导致和砧板接触过的食材出现少量的五氯酚检出情况。我国是《鹿特丹公约》的缔约者, 2012 年, 《鹿特丹公约》提出五氯酚的进口决定, 我国是特定条件下同意进口的 8 个国家之一, 根据国际贸易公平原则, 不同意进口意味着不能在本国生产和使用<sup>[1]</sup>, 我国同意进口, 意味着本土可以生产。我国同时也是《关于持久性污染物的斯德哥尔摩公约》(简称《斯德哥尔摩公约》)缔约者, 该公约 2013 年 10 月 14—18 日在罗马召开第九次委员会会议, 审议五氯酚及其盐类和酯类的风险草案, 由于五氯酚及其转化产物五氯苯甲醚, 根据其固有性质, 它们经过远距离环境迁移后, 很可能对人类健康和环境产生重大不利影响, 因此需要采取全球行动<sup>[42]</sup>, 对五氯酚的限制条件是: 仅用于木材的防腐和用烟剂来防止松树落叶。但对于是否可以应用以五氯酚酸钠处理过的木材做菜板和筷子, 我国没有相关规定。菜板的产品标准目前有 3 个, 分别为 GB/T 38742—2020《竹砧板》、LY/T 2486—2015《实木菜板》和 DB35/T 1211—2019《竹菜板通用技术条件》, 3 个标准中均未对原材料本身的质量安全做相关规定, 菜板产品标准中也没有对五氯酚进行规定。另一个和我们生活息息相关的竹木产品就是筷子, 筷子的产品标准目前可查的有 6 个, 分别为 GB/T 19790.1—2005《一次性筷子 第 1 部分: 木筷》、GB/T 19790.2—2005《一次性筷子 第 2 部分: 竹筷》、GB/T 24398—2009《植物纤维一次性筷子》、DB23/ 500—1999《一次性卫生筷子卫生标准》、T/ZZB 0346—2018《工艺竹木筷》和 DB42/T 350—2011《地理标志产品 来凤漆筷》, 其中 GB/T 24398—2009 在原料辅料部分规定: 应使用无毒、无害、清洁、无污染且符合国家法规和相关标准要求的原辅料, 但在检测方法的引用中, 只有针对有机磷农药的检测方法; DB42/T 350—2011 对原料及原料处理过程都做了规定, 并在理化指标中对游离酚含量做了限量( $\leq 0.1 \text{ mg/L}$ ), 其他 4 个筷子产品标准未见有关于原辅料的要求, 理化指标也没有对五氯酚的规定。这种形式下, 导致目前市场上菜板和筷子的原料含有五氯酚的风险大大提高, 已有相关文献报道, 在市售菜板中检出五氯酚酸钠且检出率很高<sup>[43-46]</sup>, 砧板中五氯酚最高检出结果达  $233 \text{ mg/kg}$ 。本实验室在 2020 年对从农贸市场随机抽取的 20 份菜板(17 份木质, 3 份竹质)表面刮取物进行检测, 结果有 8 份样品五氯酚酸钠阳性, 均来源于木质菜板, 占总数 40%, 样品中五氯酚检测结果在  $0.415\sim 7052 \text{ }\mu\text{g/kg}$  之间。砧板中高含量的五氯酚, 极可能会对接触到的食品产生一定的迁移, 曾

议霆等<sup>[47]</sup>对 24 份黄喉进行检测, 其中 3 份检出五氯酚, 数值在 5.1~135  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 各省市监局公布食品安全监测结果中, 五氯酚的阳性样品多集中在需要用到砧板分割的大块组织, 如肝脏、猪肉、牛肉等, 且数值较小。所以不排除目前公布的畜禽产品、水产品中的五氯酚阳性样品中, 有一部分是源于被砧板污染的可能。另有研究显示, 部分食品用纸杯、纸盘、纸碗等也检出五氯酚酸钠<sup>[48-50]</sup>。随处可见的暴露风险也可能导致人体内的残留, 郭剑秋等<sup>[51]</sup>对江苏省某县 427 名儿童尿液进行 PCP 检测, 检出率 99.1%, 尿比重校正后的 PCP 均值为 0.132  $\mu\text{g}/\text{L}$ 。可见, 人们对 PCP 的暴露风险不容忽视。

### 3 结束语

根据食安通 2020 年发布的五氯酚不合格数据, 可以看出五氯酚的检出主要集中在需要分割的较大块组织, 如畜禽肉或猪肝等, 且含量都在超痕量(<0.0001%)范围内, 可初步判断有一些阳性样品确有通过污染造成的可能, 为避免对更多的商户造成误判, 建议我国相关管理机构应尽早做出相应调整。

(1) 遵循国际公约, 加强五氯酚的生产和使用的管理, 严防超范围违规使用; (2) 修订菜板及生活中常见竹木制品的产品标准, 增加对原料的限制要求, 不允许使用经五氯酚防腐处理过的竹木材进行生产。防止五氯酚长期缓慢释放对人类健康的危害; (3) 对于五氯酚阳性的动物源性产品, 对该摊位菜板的表面刮取物进行检测, 以判定是否由外源引入造成样品阳性, 避免商贩被误罚。同时对发现的竹木菜板含五氯酚的, 由市场监管部门要求其务必更换; (4) 对 PCP 污染地区, 应考虑采取适当措施, 积极消除污染, 避免或尽可能减少环境残留对人体健康的影响; (5) 科研人员积极研发无毒有效、性价比高的木材防腐剂的替代品, 争取早日废除五氯酚及其钠盐的使用。

### 参考文献

- [1] 王以燕, 袁善奎, 李富根, 等. 五氯酚钠的境内外管理概况[J]. 农药, 2014, 53(5): 379-381.  
WANG YY, YUAN SK, LI FG, *et al.* Domestic and foreign management of sodium pentachlorophenol [J]. *Agrochemicals*, 2014, 53(5): 379-381.
- [2] 黄轶昕. 我国灭螺药物研究和现场应用[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2019, 31(6): 679-684.  
HUANG YX. Research and field application of molluscicides in China [J]. *Chin J Schistosomiasis Control*, 2019, 31(6): 679-684.
- [3] 食安通. 食品抽检信息与分析 [DB/OL]. <http://www.eshian.com/sat/foodsampling> [2020-03-09].  
SHIANTONG. Food sampling information and analysis [DB/OL]. <http://www.eshian.com/sat/foodsampling> [2020-03-09].
- [4] 陈彦宏, 黄松, 陈穗, 等. 五氯酚及其钠盐的样品前处理和分析检测技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(14): 4465-4473.  
CHEN YH, HUANG S, CHEN S, *et al.* Research progress in sample pretreatment and analytical techniques for determination of pentachlorophenol and sodium penachlorophenol [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(14): 4465-4473.
- [5] 丁先锋, 方丰平, 石文超, 等. 木材中五氯苯酚的检测方法研究进展[J]. 化学分析计量, 2020, 29(1): 128-131.  
DING XF, FANG FP, SHI WC, *et al.* Research progress of the detection of pentachlorophenol in wood products [J]. *Chem Anal Meter*, 2020, 29(1): 128-131.
- [6] ZHANG X, KANG H, PENG L, *et al.* Pentachlorophenol inhibits CatSper function to compromise progesterone's action on human sperm [J]. *Chemosphere*, 2020, 259: 127493.
- [7] ERCHAO, BROCKMEIER, ERICA K, *et al.* Comparative toxicity of three phenolic compounds on the embryo of fathead minnow, *Pimephales promelas* [J]. *Aquat Toxicol*, 2018, 201: 66-72.
- [8] GERHARD I, FRICK A, MONGA B, *et al.* Pentachlorophenol exposure in women with gynecological and endocrine dysfunction [J]. *Environ Res*, 1999, 80(4): 383-388.
- [9] DIMICH-WARD H, HERTZMAN C, TESCHKE K, *et al.* Reproductive effect of paternal exposure to chlorophenol wood preservatives in the sawmill industry [J]. *Scand J Work Environ Health*, 1996, 22(4): 267-273.
- [10] DENG R, ZHU Y, HOU J, *et al.* Antagonistic toxicity of carbon nanotubes and pentachlorophenol to *Escherichia coli*: Physiological and transcriptional responses [J]. *Carbon*, 2019, 145: 658-667.
- [11] PISKORSKA-PLISZCZYNSKA J, STRUCINSKI P, MIKOLAJCZYK S, *et al.* Pentachlorophenol from an old henhouse as a dioxin source in eggs and related human exposure [J]. *Environ Pollut*, 2016, 208: 404-412.
- [12] EHRICH W. The effect of pentachlorophenol and its metabolite tetrachlorohydroquinone on cell growth and the induction of DNA damage in Chinese hamster ovary cells [J]. *Mutat Res*, 1990, 244: 299-302.
- [13] HUANG XM, HAN XM, HUANG ZY, *et al.* Maternal pentachlorophenol exposure induces developmental toxicity mediated by autophagy on pregnancy mice [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2019, 169: 829-836.
- [14] 夏勇, 董晓岚, 孟真, 等. 五氯酚钠的发育毒性和遗传毒性研究[J]. 预防医学, 2016, 28(11): 1081-1086, 1090.  
XIA Y, DONG XL, MENG Z, *et al.* A study on the development toxicity and genotoxicity induced by sodium pentachlorophenol [J]. *Prev Med*, 2016, 28(11): 1081-1086, 1090.
- [15] 马永鹏, 王燕, 朱祥伟, 等. 基于 SCGE 的五氯酚对稀有鮎鲫 DNA 损伤的研究[J]. 中国环境科学, 2010, 30(2): 269-274.  
MA YP, WANG Y, ZHU XW, *et al.* Alkaline single cell gel electrophoresis assay (SCGE) based study on DNA damage of *Gobiocypris rarus* induced by pentachlorophenol [J]. *China Environ Sci*, 2010, 30(2): 269-274.
- [16] DONG YL, ZHOU PJ, JIANG SY, *et al.* Induction of oxidative stress and apoptosis by pentachlorophenol in primary cultures of *Carassius carassius* hepatocytes [J]. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol*, 2009, 150(2): 179-185.
- [17] 刘先利, 刘彬, 邓南圣. 环境内分泌干扰物研究进展[J]. 上海环境科学, 2003, 22(1): 57-62.  
LIU XL, LIU B, DENG NS. Research progress of environmental endocrine disruptors [J]. *Shanghai Environ Sci*, 2003, 22(1): 57-62.
- [18] ROBERT B, ROBERT EC, GEORGE D. Evaluating the effect of endocrine disruptors in endocrine function during development [J]. *Environ Health Perspect*, 1999, 107: 613-618.

- [19] ORTON F, LUTZ I, KLOAS W, *et al.* Endocrine disrupting effects of herbicides and pentachlorophenol: *In vitro* and *in vivo* evidence [J]. *Environ Sci Technol*, 2009, 43(6): 2144–2150.
- [20] ISHIHARA A, NISHIYAMA N, SUGIYAMA S, *et al.* The effect of endocrine disrupting chemicals on thyroid hormone binding to Japanese quail transthyretin and thyroid hormone receptor [J]. *Gen Comp Endocrinol*, 2003, 134(1): 36–43.
- [21] KAWAGUCHI M, MOROHOSHI K, SAITA E, *et al.* Developmental exposure to pentachlorophenol affects the expression of thyroid hormone receptor beta and synapsin I in brain, resulting in thyroid function vulnerability in rats [J]. *Endocrine*, 2008, 33: 227–284.
- [22] YU LQ, ZHAO GF, FENG M, *et al.* Chronic exposure to pentachlorophenol alters thyroid hormones and thyroid hormone pathway mRNAs in zebrafish [J]. *Environ Toxicol Chem*, 2014, 33(1): 170–176.
- [23] DEMERS PA, DAVIES HW, FRIESEN MC, *et al.* Cancer and occupational exposure to pentachlorophenol and tetrachlorophenol [J]. *Cancer Causes Control*, 2006, 17(6): 749–758.
- [24] ALI R, YU CL, WU MT, *et al.* A case-control study of parental occupation, leukemia, and brain tumors in an industrial city in Taiwan [J]. *J Occup Environ Med*, 2004, 46(9): 985–992.
- [25] MCKINNEY PA, RAJI OY, VAN TONGEREN M, *et al.* The UK childhood cancer study: Maternal occupational exposures and childhood leukaemia and lymphoma [J]. *Radiat Prot Dosim*, 2008, 132(2): 232–240.
- [26] HU SR, ZHAO LY, YANG JT, *et al.* The association between polymorphism of P53 Codon72 Arg/Pro and hepatocellular carcinoma susceptibility: Evidence from a meta-analysis of 15 studies with 3704 cases [J]. *Tumor Biol*, 2014, 35(4): 3647–3656.
- [27] 夏勇, 徐彩菊, 傅剑云, 等. 五氯酚钠诱导斑马鱼体细胞 p53 基因突变的克隆测序研究[J]. *预防医学*, 2017, 29(4): 325–329, 333.
- XIA Y, XU CJ, FU JY, *et al.* Study on the effect of sodium pentachlorophenol on p53 gene mutation in zebrafish [J]. *Prev Med*, 2017, 29(4): 325–329, 333.
- [28] JIANG P, WANG J, ZHANG J, *et al.* Effects of pentachlorophenol on the detoxification system in white-rumped munia (*Lonchura striata*) [J]. *J Environ Sci*, 2016, 44: 224–234.
- [29] 郑丹, 焦海峰, 严小军, 等. 五氯苯酚暴露致花鲈(*Lateolabrax japonicus*)肝脏损伤的转录组分析[J]. *海洋与湖沼*, 2018, 49(2): 352–360.
- ZHENG D, JIAO HF, YAN XJ, *et al.* Transcriptome analysis of liver injury of *Lateolabrax japonicus* induced by pentachlorophenol exposure [J]. *Oceanologia Limnologia Sin*, 2018, 49(2): 352–360.
- [30] 魏雪涛, 尚兰琴, 蒋建军, 等. 五氯酚钠急性染毒对小鼠免疫细胞损伤影响[J]. *中国公共卫生*, 2007, (5): 597–599.
- WEI XT, SHANG LQ, JIANG JJ, *et al.* Effects of acute exposure of sodium pentachlorophenol on immune cell damage in mice [J]. *China Public Health*, 2007, (5): 597–599.
- [31] NNODU U, WHALEN MM. Pentachlorophenol decreases ATP levels in human natural killer cells [J]. *J Appl Toxicol*, 2008, 28(8): 1016–1020.
- [32] HURD T, WALKER J, WHALEN MM. Pentachlorophenol decreases tumor-cell-binding capacity and cell-surface protein expression of human natural killer cells [J]. *J Appl Toxicol*, 2012, 32(8): 627–634.
- [33] 曾艳. 2例五氯酚钠中毒患者的急救与护理[J]. *当代护士*, 2020, 27(3): 117–119.
- ZENG Y. First aid and nursing care of 2 patients with sodium pentachlorophenol poisoning [J]. *Contemp Nurse*, 2020, 27(3): 117–119.
- [34] 中华人民共和国农业农村部. 农办农[2011]10号 第八届全国农药登记评审委员会第八次全体会议纪要 [EB/OL]. [2011-12-15]. [Http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201102/t20110224\\_1830684.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201102/t20110224_1830684.htm) [2021-03-09].
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Nongong [2011] No.10 Minutes of the eighth plenary meeting of the eighth national pesticide registration review committee [EB/OL]. [2011-12-15]. [Http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201102/t20110224\\_1830684.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201102/t20110224_1830684.htm) [2021-03-09].
- [35] 李学才. 加强水产非药品管理促进水产养殖业健康发展[J]. *安徽农学通报*, 2019, 25(5): 63–64, 76.
- LI XC. Promoting healthy development of aquaculture industry by strengthening non-pharmaceutical management [J]. *Anhui Agric Sci Bull*, 2019, 25(5): 63–64, 76.
- [36] 曾昊. 农业农村部启动2019年国家产地水产品兽药残留监控等三项计划[J]. *中国水产*, 2019, (4): 13.
- ZENG H. Ministry of Agriculture and Rural Affairs launched three plans for monitoring veterinary drug residues in national aquatic products in 2019 [J]. *China Fish*, 2019, (4): 13.
- [37] 任源远, 韩刚, 曾昊, 等. 我国水产养殖用兽药及其他投入品安全隐患排查概况及思考[J]. *中国渔业质量标准*, 2020, 10(5): 7–11.
- REN YY, HAN G, ZENG H, *et al.* Investigation and thinking of veterinary drugs and other inputs for aquaculture in China [J]. *Fish Qual Stand China*, 2020, 10(5): 7–11.
- [38] 余晋霞, 郭婧怡, 高宇, 等. 五氯酚毒理学研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(14): 1245–1250.
- YU JX, GUO JY, GAO Y, *et al.* Progress in toxicology of pentachlorophenol [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(14): 1245–1250.
- [39] 张碧波, 王贤芳, 冉启洋, 等. 9种植物及其8种组合对五氯酚污染土壤的修复效果[J]. *湖南农业科学*, 2020, (1): 33–38.
- ZHANG BB, WANG XF, RAN QY, *et al.* Remediation effects of eight combinations of nine plants on soil contaminated by pentachlorophenol [J]. *Hunan Agric Sci*, 2020, (1): 33–38.
- [40] 田春霞, 金绍强, 朱炳祺, 等. 超高效液相色谱-电喷雾串联质谱测定动物源食品中五氯酚的残留量[J]. *分析试验室*, 2019, 38(4): 438–441.
- TIAN CX, JIN SQ, ZHU BQ, *et al.* Determination of pentachlorophenol residues in animal food by ultra performance liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Anal Lab*, 2019, 38(4): 438–441.
- [41] 王连珠, 方恩华, 王彩娟, 等. QuEChERS-超高效液相色谱-串联质谱法测定动物源食品中痕量五氯酚及其钠盐[J]. *色谱*, 2018, 36(6): 518–522.
- WANG LZ, FANG EH, WANG CJ, *et al.* Determination of trace pentachlorophenol and its sodium salts in animal food by QuEChERS-ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Chromatogr*, 2018, 36(6): 518–522.
- [42] 联合国环境署. 审议关于五氯苯酚及其盐类和酯类的风险简介草案 [C]. 持久性有机污染物(斯德哥尔摩公约)审查委员会第九次会议, 2013.
- United Nations Environment Programme. Consideration of a draft risk brief on pentachlorophenol and its salts and esters [C]. The 9th Meeting of

- the Review Committee on Persistent Organic Pollutants (Stockholm Convention), 2013.
- [43] 李启, 徐峻卿, 纪律. 液液萃取-超高效液相色谱-串联质谱法测定砧板中五氯酚钠[J]. 中国食品卫生杂志, 2019, 31(3): 236-239.
- LI Q, XU JQ, JI L. Determination of sodium pentachlorophenol in chopping board by liquid-liquid extraction-ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Food Hyg, 2019, 31(3): 236-239.
- [44] 袁娅, 周颖, 熊丽, 等. 江西省食品接触用纸制品和竹木制品中五氯酚的污染状况调查[J]. 现代预防医学, 2021, 48(14): 2538-2541.
- YUAN Y, ZHOU Y, XIONG L, *et al.* Investigation on the pollution of pentachlorophenol in paper products and bamboo and wood products for food processing in Jiangxi province [J]. Mod Prev Med, 2021, 48(14): 2538-2541.
- [45] 兰红军, 吴雪梅, 冯耀基, 等. 漩涡辅助-柱前衍生-气相色谱串联质谱测定木砧板及木筷子中的五氯酚[J]. 中国食品卫生杂志, 2019, 31(3): 231-236.
- LAN HJ, WU XM, FENG YJ, *et al.* Determination of pentachlorophenol in wood chopping board and wood chopsticks by vortex-assisted-pre-column derivation-gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Food Hyg, 2019, 31(3): 231-236.
- [46] 王晶, 杨珊, 王学忠, 等. 2017—2019 年普洱市食品中化学污染物监测结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(5): 2043-2048.
- WANG J, YANG S, WANG XZ, *et al.* Monitoring results analysis of chemical pollutants in food in Pu'er city from 2017 to 2019 [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(5): 2043-2048.
- [47] 曾议霆, 廖俊林, 杨春梅, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定黄喉中五氯酚酸钠的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(9): 3709-3714.
- ZENG YT, LIAO JL, YANG CM, *et al.* Determination of sodium pentachlorophenolate in yellow throat by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(9): 3709-3714.
- [48] 杨长晓, 张坤, 钟海洋. 固相萃取-气相色谱-串联质谱内标法测定一次性食品用纸制品中五氯酚残留[J]. 现代预防医学, 2021, 48(1): 144-147.
- YANG CX, ZHANG K, ZHONG HY. Determination of pentachlorophenol residues in disposable food paper products by solid phase extraction coupled with gas chromatography-tandem mass spectrometry with internal standard method [J]. Mod Prev Med, 2021, 48(1): 144-147.
- [49] 张志荣, 张来颖, 王玉江, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定食品用纸制品中氯本分类化合物残留量[J]. 中国食品卫生杂志, 2019, 31(3): 226-230.
- ZHANG ZR, ZHANG LY, WANG YJ, *et al.* Determination of residual chlorinated compounds in food paper products by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Food Hyg, 2019, 31(3): 226-230.
- [50] 王姣, 朱吉凯, 张蕾, 等. 除草剂五氯酚钠对环境卫生污染中食品用纸制品的分析测试研究[J]. 卫生监督管理, 2020, 17(17): 165-167.
- WANG J, ZHU JK, ZHANG L, *et al.* Study on the determination of sodium pentachlorophenol for food paper products in environmental health pollution [J]. Health Superv Manage, 2020, 17(17): 165-167.
- [51] 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 level and influencing factors of pentachlorophenol in school-age children in a county of Jiangsu province [J]. J Environ Occup Med, 2019, 36(9): 797-802.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

## 作者简介



张秀芹, 博士, 正高级兽医师, 主要研究方向为食品及食用农产品质量安全检测。  
E-mail: 13609839503@163.com



刘涛, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品、药品、农产品及日化产品检测。  
E-mail: tony.liu@cti-cert.com