

# 气相色谱-质谱法测定食品用纸制品中五氯酚含量

云 鹏, 刘印平\*, 路 杨, 陈福尊, 王丽英

(河北省疾病预防控制中心, 石家庄 050021)

**摘 要: 目的** 建立气相色谱-质谱法测定食品用纸制品中五氯酚含量的分析方法, 了解食品用纸制品中五氯酚的残留状况。**方法** 纸制品试样加入 2,4,6-三溴酚内标后, 经液-液萃取, SLC 柱净化, 乙酸酐-吡啶溶液衍生后, 采用气相色谱-质谱法测定, 内标法定量。**结果** 在 50 ~ 1000 ng 范围内, 相关系数均>0.9995。方法的检出限为 0.008 mg/kg, 定量限为 0.025 mg/kg。加标回收率为 89.3%~109.8%, 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)分别为 3.2%、8.6%和 4.4%。106 份市售纸制品中, 8 份样品检出五氯酚, 阳性率为 7.5%, 含量范围为 0.011~0.045 mg/kg, 阳性样品五氯酚含量的平均值为 0.027 mg/kg。**结论** 该方法灵敏度较高, 精密度好, 适用于纸制品中五氯酚的准确定量检测。检测数据表明, 食品用纸制品中五氯酚风险较小。

**关键词:** 五氯酚; 食品用纸制品; 衍生; 内标法; 气相色谱-质谱法

## Determination of pentachlorophenol by gas chromatography mass spectrometry in paper packaging materials for foodstuffs

YUN Peng, LIU Yin-Ping\*, LU Yang, CHEN Fu-Zun, WANG Li-Ying

(Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shijiazhuang 050021, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish an analytical method for the determination of pentachlorophenol in food paper products by gas chromatography-mass spectrometry. **Methods** After adding 2,4,6-tribromophenol internal standard to paper products, the samples were extracted by liquid-liquid extraction, purified by SLC column, and derivatized by acetic anhydride pyridine solution. The samples were determined by gas chromatography-mass spectrometry, and quantified by internal standard method. **Results** The correlation coefficients were over 0.9995 in the range of 50–1000 ng. The limit of detection was 0.008 mg/kg and the limit of quantification was 0.025 mg/kg. The recoveries were 89.3%–109.8%, and the relative standard deviations (RSDs) were 3.2%, 8.6% and 4.4%, respectively. Pentachlorophenol was detected in 8 samples of 106 paper products, and the positive rate was 7.5%. The content range was 0.011–0.045 mg/kg, and the average content of pentachlorophenol was 0.027 mg/kg. **Conclusion** The method has high sensitivity and good precision, and is suitable for the accurate quantification of pentachlorophenol in paper products. The test data showed that the risk of pentachlorophenol in food paper products was low.

**KEY WORDS:** pentachlorophenol; paper packaging materials for foodstuffs; derivatization; internal standard method; gas chromatography mass spectrometry

\*通信作者: 刘印平, 副主任技师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: liuyinping0930@163.com

\*Corresponding author: LIU Yin-Ping, Associate Chief Technician, Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shijiazhuang 050021, China. E-mail: liuyinping0930@163.com

## 0 引言

五氯酚(pentachlorophenol, PCP)作为一种广谱、高效、价廉的杀菌剂、杀虫剂和除草剂,曾长期在世界范围内使用。在我国,PCP被长期用于消灭寄生血吸虫的钉螺,由此产生了地下水污染等多种环境问题,也曾用于木材、纸浆及纸制品的防腐。我国是世界上五氯酚最大的生产和消费国,五氯酚及其钠盐年产量占全球产量的 1/5。五氯酚具有较高的蓄积作用,在高有机质含量的酸性土壤或沉积物上具有很高的吸附性,强烈的吸附在土壤上<sup>[1]</sup>,土壤和水体中的五氯酚能通过生物富集作用进入动植物体内,并进一步经食物链产生生物放大作用<sup>[2-3]</sup>。研究证实,五氯酚具有多种毒性作用,能引起急性和慢性中毒,干扰甲状腺功能和生长发育,影响激素合成和释放诱发遗传物质损伤和致癌作用<sup>[4]</sup>。因而人体通过饮水和食物摄入高水平五氯酚的健康风险不容忽视。基于五氯酚对人群健康的潜在风险,国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)将五氯酚判定为“2B”类致癌物<sup>[5-6]</sup>。

纸质食品包装材料直接与食品接触,纸品中的有毒有害物质会迁移进入到食品中<sup>[7-8]</sup>。加之一次性纸杯、外卖纸碗等纸制包装材料迎合了现代人追求高质量的生活要求,更被赋予“绿色包装”的称号,我国纸质食品包装材料的用量惊人,有无限的市场前景。因此,为保护消费者的身体健康,必须对纸质食品包装材料中的有毒有害物质进行严密监控。纸制品中的有毒有害物质主要来源于制浆造纸工业的含氯漂白过程,及防腐剂、稳定剂等添加剂和辅助材料的使用<sup>[9]</sup>。五氯酚曾被广泛用作木材原料的防腐剂,因此纸制品中可能残留有五氯酚。许多国家对五氯酚的使用提出了严格的限制。德国化学品法令(1989年12月实施)中要求五氯酚的含量不能超过 5 mg/kg,欧盟 Resolution ResAP(2002)指令规定食品包装纸的水抽提液中五氯酚含量不得超过 0.15 mg/kg<sup>[9-11]</sup>。目前我国与食品用纸制品相关的标准主要有 GB 4806.1—2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品通用安全要求》<sup>[12]</sup>、GB 4806.8—2016《食品安全国家标准 食品接触用纸和纸板材料及制品》<sup>[13]</sup>、GB 9685—2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品添加剂使用标准》<sup>[14]</sup>、GB 31603—2015《食品接触材料及制品生产卫生规范》<sup>[15]</sup>,但均未对五氯酚作出相关要求。因此,开展食品用纸制品中五氯酚相关检测很有必要。

目前,相关研究多集中在动物源性食品(鱼、肉、乳、蛋等)及水环境中五氯酚及其钠盐的检测。方法多采用固相萃取净化样品,结合液相色谱-三重四极杆串联质谱技术(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)、液相色谱法或国标方法中的气相色谱-质谱联用

技术<sup>[16-19]</sup>。目前,纸制品中五氯酚及其钠盐常用的检测方法有超高效液相色谱-串联质谱(ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, UPLC-MS/MS)法<sup>[20-21]</sup>、气相色谱法<sup>[22]</sup>、气相色谱-质谱法(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)<sup>[23]</sup>。UPLC-MS/MS灵敏度高、前处理简单,但仪器昂贵、维护和使用成本较高。气相色谱法灵敏度低,利用保留时间定性,抗干扰能力弱、易出现假阳性<sup>[24]</sup>。本研究参照《2018年国家食品污染和有害因素监测工作手册 食品用纸制品、竹木砧板及筷子中五氯酚测定的标准操作程序》<sup>[25]</sup>,并对前处理方法进行优化。样品经乙腈超声离心提取后,通过 SLC 型固相萃取柱进行净化处理,乙酸酐-吡啶溶液衍生化,采用 GC-MS 对五氯酚含量进行分析检测。本研究还对河北省市售食品用纸制品中的五氯酚污染状况进行了摸底调查,以发现隐藏的食品安全问题,对未来食品用纸制品中的五氯酚的安全监管提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 样品

本次监测采集河北省市售用于接触食品的纸袋、纸碗、纸杯、纸碟、纸盘、食品垫纸共计 106 份,详见表 1。从商店(超市、便利店、专营店)、农贸市场、网店各采集 42 份、33 份、31 份,定型包装样品 62 份、散装样品 44 份。

表 1 不同类型食品用纸制品数量  
Table 1 Quantities of different types of paper packaging materials for foodstuffs

样品类型	采样地点类型	包装类型
纸袋	11 商店(超市、便利店、专营店)	42 定型包装 62
纸盒	18 农贸市场	33 散装 44
纸杯	39 网店	31
纸碟	10	
纸盘	16	
食品垫纸	10	

#### 1.1.2 仪器

DSQII型气相色谱质谱仪(美国 Thermo 公司); DB-5 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm, 美国安捷伦科技有限公司); JJ600 电子天平(常熟市双杰测试仪器厂); KQ-600 E 型超声仪(昆山市超声仪器有限公司); 3-30K 高速台式离心机(美国 Sigma 公司); N-EVAP 112 氮吹仪(美国 Organomation 公司); SLC 固相萃取柱(500 mg/6 mL)(美

国 Waters 公司); 101-2AB 电热恒温鼓风干燥箱(天津市泰斯特仪器有限公司)。

### 1.1.3 试剂及标准溶液

乙腈、二氯甲烷、正己烷、丙酮、乙酸乙酯、无水硫酸钠(色谱纯, 德国默克公司); 五氯酚标准储备液(100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 农业部环境保护科研监测所); 2,4,6-三溴酚内标储备液(2000  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 上海安谱公司); 提取试剂: 乙酸乙酯:正己烷=1:9(V:V)衍生试剂: 乙酸酐:吡啶=1:1(V:V), 实验所用水均为屈臣氏蒸馏水。

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 气相色谱条件

载气: 高纯氮(纯度 $\geq 99.999$ ), 载气流量: 1.0 mL/min; 进样口温度: 230  $^{\circ}\text{C}$ , 进样量: 1  $\mu\text{L}$ , 不分流; 升温程序: 初始柱温: 80  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 2 min, 以 10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升温至 250  $^{\circ}\text{C}$ , 后运行温度 290  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 5 min。

### 1.2.2 质谱条件

接口温度: 280  $^{\circ}\text{C}$ ; 离子源温度: 230  $^{\circ}\text{C}$ ; 电离方式: 电子轰击源(electron impact ion source, EI), 70 eV; 监测方式: 选择离子监测(selected ion monitoring, SIM)。监测离子条件如表 2 所示。

表 2 五氯酚监测离子  
Table 2 Monitoring ions of pentachlorophenol

保留时间/min	化合物	定性离子	定量离子
14.85	五氯苯乙酸酯 (五氯酚)	264、268、308	268
14.04	内标物 2,4,6-三 溴苯乙酸酯 (2,4,6-三溴酚)	328、332	330

### 1.2.3 样品前处理

#### (1) 样品提取:

纸质样品展开成平板状, 取多张样品用剪刀剪成纸条。将纸条全部转移至高速粉碎机中粉碎, 称取 2.0 g(准确到 0.01 g)粉碎好的样品于 50 mL 具塞玻璃刻度试管, 加入 50  $\mu\text{L}$  内标液 2,4,6-三溴酚(10.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )、20 mL 水, 60  $^{\circ}\text{C}$  超声提取 10 min, 再加入 5 mL 三氯乙酸溶液(5%), 进一步超声提取 5 min。取出冷却后加入 15 mL 提取试剂, 振荡提取 2 min, 10000 r/min 离心 4 min, 吸出上层有机相氮气吹干, 加入 1 mL 乙腈溶解, 高速离心后, 乙腈相待净化。

#### (2) 净化:

取 SLC 柱, 管内加 1.0 g 无水硫酸钠, 先用 5 mL 乙腈活化柱子, 然后吸取上述乙腈相加到柱子上并收集, 待样品过柱后再用 5 mL 乙腈洗脱并一起收集, 洗脱液在

60  $^{\circ}\text{C}$  下用氮吹仪吹至 1.0 mL 左右。

#### (3) 衍生:

加衍生试剂 0.3 mL, 密封, 于 60  $^{\circ}\text{C}$  烘箱中反应 15 min, 取出冷却, 加 0.5 mL 正己烷、2.0 mL 碳酸钾溶液(0.2 mol/L), 充分混匀提取, 5000 r/min 离心 2 min, 取上层有机相进行 GC-MS 分析。

### 1.2.4 标准曲线绘制

将五氯酚标准溶液, 用正己烷稀释, 配制成一定浓度的标准储备液。

将以上各标准储备液进一步稀释, 配成混合标准溶液(50、100、200、500、1000 ng), 其中内标 2,4,6-三溴酚的浓度为 500 ng。同样品衍生、提取、上机测定, 根据内标法计算五氯酚标准曲线及样品中五氯酚的含量。样品中五氯酚含量的计算方法为:  $X=c/(m \times 1000)$ , 式中  $X$  为样品中五氯酚含量, mg/kg;  $c$  为测定液中五氯酚含量, ng;  $m$  为取样量, g。

## 2 结果与分析

### 2.1 方法的优化

本研究参照《2018 年国家食品污染和有害因素监测工作手册 食品用纸制品、竹木砧板及筷子中五氯酚测定的标准操作程序》, 并对方法的前处理进行了优化。食品用纸样品经乙腈超声离心提取后, 通过 SLC 型固相萃取柱进行净化处理, 并通过乙酸酐-吡啶溶液衍生化, 提高了灵敏度及抗干扰能力, 使谱图峰形区分度更强。总离子流图和质量色谱图如图 1 所示。

### 2.2 方法的线性范围和检出限

在上述条件下, 对所配制的 50、100、200、500、1000 ng 五氯酚系列浓度的混合标准溶液进行测定。结果显示, 五氯酚在以上浓度范围内与峰面积呈现良好的线性关系, 相关系数均大于 0.9995, 详见表 3。

以某食品用纸制品作为空白基质, 称样量 2.0 g 时, 以 3 倍信噪比计算方法的检出限, 以 10 倍信噪比计算方法的定量限。测得方法检出限为 0.008 mg/kg, 定量限为 0.025 mg/kg, 方法灵敏度较高。

### 2.3 方法的回收率和精密度

为了保证分析结果的准确可靠性, 要求在分析样品时, 进行 3 个浓度水平的加标回收试验。在上述实验条件下, 向空白样品中添加不同水平的标准溶液(0.05、0.15、0.25 mg/kg), 每个添加水平重复 6 次, 进行加标回收率和精密度的测定。表 4 结果显示, 加标回收率范围为 89.3%~109.8%, 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)分别为 3.2%、8.6%和 4.4%, 说明方法准确可靠, 重现性好。

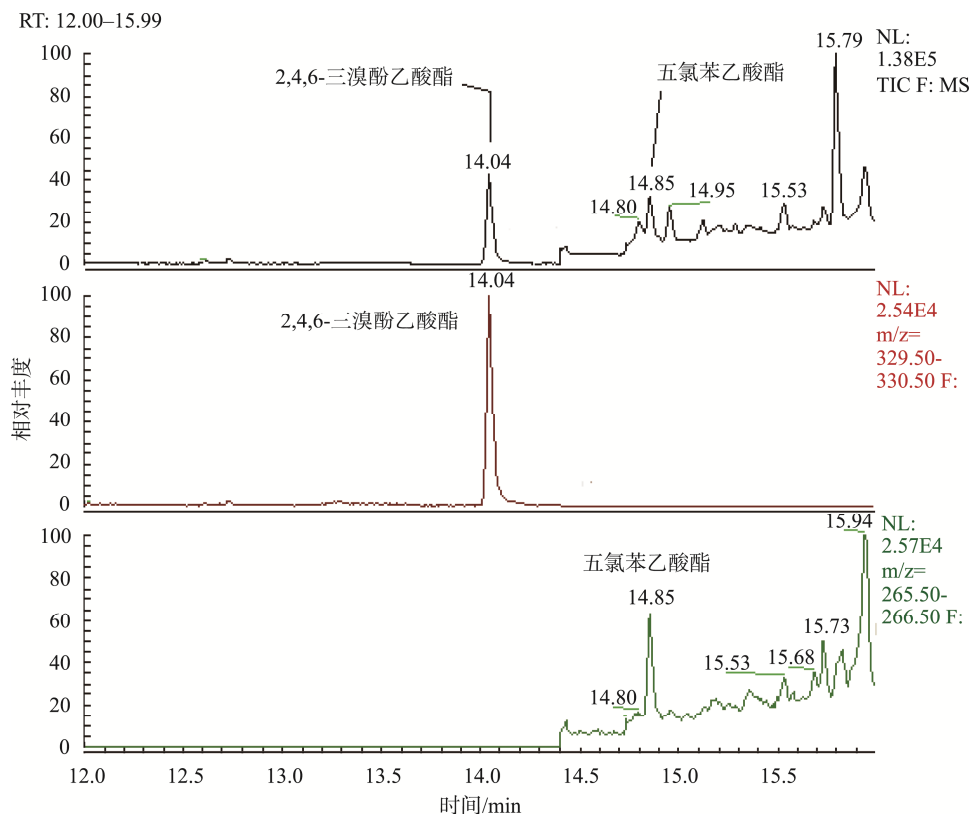


图 1 五氯酚乙酸酯及其内标的总离子流图和质量色谱图

Fig.1 The total ion chromatograms and mass chromatograms of pentachlorophenyl acetate and its internal standard

表 3 五氯酚在不同批次实验的标准曲线

Table 3 Standard curve of PCB in different batches

	五氯酚含量范围/ng	线性回归方程	r
曲线 1	50 ~ 1000	$Y = -3.21 \times 10^{-2} + 8.06 \times 10^{-3} X$	0.9999
曲线 2	50 ~ 1000	$Y = -6.20 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-3} X$	0.9997
曲线 3	50 ~ 1000	$Y = 7.92 \times 10^{-2} + 7.61 \times 10^{-3} X$	0.9999

表 4 不同浓度下五氯酚的加标回收率(n=6)

Table 4 Recovery results of pentachlorophenol at different concentrations(n=6)

加标水平 mg/kg	加标回收率/%						平均回收率/%	相对标准偏差/%
	1	2	3	4	5	6		
0.05	103.8	103.4	109.8	99.8	103.4	102.6	103.8	3.2
0.15	91.3	89.3	95.6	106.4	90.5	108	96.8	8.6
0.25	107.1	101.7	108.4	96.7	108.1	103.6	104.3	4.4

## 2.4 纸制品中五氯酚含量的测定

本研究共计采集食品用纸制品 106 份, 其中检出阳性样品 8 份, 阳性率为 7.5%, 检出情况如表 5 所示。阳性样品中包括纸碟 3 份, 纸碗 2 份, 纸杯、纸袋、纸盘各 1 份。阳性率从高到低依次为纸碟(30%)、纸碗(10%)、纸袋(9.1%)、纸盘(6.2%)、纸杯(2.6%)、食品垫纸(0.0%)。不同

的采样地点类型中, 农贸市场采集的样本阳性率最高, 为 12%。从网店和商店采集的样本阳性率分别为 6.5%和 4.8%。另外散装样品的阳性率(11%)要明显高于定型包装样品(4.8%)。

阳性样品的五氯酚含量范围为 0.011~0.045 mg/kg, 平均值为 0.027 mg/kg。其中 3 份阳性样品的含量介于检出限

与定量限之间,范围为0.011~0.015 mg/kg。检测数据表明,食品用纸制品中五氯酚检出风险不大,不影响消费者正常使用。该结果与王成云等<sup>[23]</sup>关于食品用纸制品中五氯酚的研究结果相吻合。但需要注意的是,阳性样品中散装样品的五氯酚含量要明显高于定型包装。

表5 食品用纸制品样品检出情况  
Table 5 Results of pentachlorophenol in paper packaging materials for foodstuffs

样品编号	采样地点类型	样品类型	包装类型	五氯酚含量/(mg/kg)
Y007	农贸市场	纸碟	定型包装	0.035
Y031	农贸市场	纸盘	散装	0.027
Y039	商店(超市、便利店、专营店)	纸杯	定型包装	0.012
Y056	商店(超市、便利店、专营店)	纸碟	定型包装	0.011
Y057	农贸市场	纸碟	散装	0.015
Y083	网店	纸袋	散装	0.045
Y086	网店	纸碗	散装	0.043
Y094	农贸市场	纸碗	散装	0.031

### 3 结 论

本研究建立了GC-MS检测食品用纸中五氯酚含量的检测方法。样品经乙腈超声离心提取后,通过SLC型固相萃取柱进行净化处理,乙酸酐-吡啶溶液衍生化,该方法灵敏度较高,精密度好,适用食品用纸中五氯酚含量于准确定量检测。此外,通过对食品用纸制品中五氯酚的污染状况进行研究,初步了解了河北省市场上食品用纸制品中五氯酚污染状况。虽然五氯酚总体检出风险不大,但是散装样品的阳性率和五氯酚含量都要高于定型包装样品,因此加强对五氯酚风险系数较大的食品及食品接触材料的管控不能放松,这对保障我国的食品安全和人民群众的健康具有重要意义。

### 参考文献

- 王旭刚,孙丽蓉. 五氯酚的污染现状及其转化研究进展[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(8): 93-100.  
WANG XG, SUN LR. Pentachlorophenol pollution: Status quo and studies on its degradation and fate [J]. Environ Sci Technol, 2009, 32(8): 93-100.
- 胡滨,陈一资,胡惠民. 动物性食品中五氯酚钠残留及对人畜毒害的研究[J]. 肉品卫生, 2005, 2: 27-29.  
HU B, CHEN YZ, HU HM. Research on the harm to humanbeing and livestock caused by residues of sodium pentachlorophenate in animal foodstuff [J]. Meat Hyg, 2005, 2: 27-29.
- 杨淑贞,韩晓冬,陈伟. 五氯酚对生物体的毒性研究进展[J]. 环境与

- 健康杂志, 2005, 22(5): 396-398.
- YANG SZ, HAN XD, CHEN W. Advances in the toxicity of pentachlorophenol on organism [J]. J Environ Health, 2005, 22(5): 396-398.
- 余晋霞,郭婧怡,高宇,等. 五氯酚毒理学研究进展[J]. 环境卫生学杂志, 2019, 9(6): 614-620.  
YU JX, GUO JY, GAO Y, et al. Research advances in toxicology of pentachlorophenol [J]. J Environ Hyg, 2019, 9(6): 614-620.
- 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.  
XIA Y, DONG XL, MENG Z, et al. A study on the development toxicity and genotoxicity induced by sodium pentachlorophenate [J]. Prev Med, 2016, 28(11): 1081-1086.
- 陈海刚,李兆利,徐韵,等. 五氯酚钠对鲤鱼肾细胞 DNA 损伤的体内和体外研究[J]. 环境与健康杂志, 2006, 23(6): 515-517.  
CHEN HG, LI ZL, XU Y, et al. DNA damage induced by sodium pentachlorophenate in crucian kidney cells *in vivo* and *in vitro* [J]. J Environ Health, 2006, 23(6): 515-517.
- 司晓喜,朱瑞芝,刘志华,等. 超高效液相色谱-串联质谱法快速测定纸质包装材料中多类防腐剂[J]. 分析试验室, 2015, 34(8): 984-988.  
SI XX, ZHU RZ, LIU ZH, et al. Raped determination of multiple preservatives in paper packaging materials using ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Anal Lab, 2015, 34(8): 984-988.
- 张聪,黄金凤,蔡玮红,等. UPLC-MS/MS法同时测定食品接触纸包装材料中的异噻唑啉酮类和氯酚类杀菌防腐剂[J]. 现代食品科技, 2015, 34(8): 303-308.  
ZHANG C, HUANG JF, CAI WH, et al. Simultaneously detecting chlorophenols and isothiazolinones in food contact paper packaging materials using ultra-high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Mod Food Sci Technol, 2015, 34(8): 303-308.
- 周颖红,郭仁宏. 纸制品中有毒有害物质分析及限量要求[J]. 造纸科学与技术, 2005, 24(4): 34-36.  
ZHOU YH, GUO RH. Analysis and limit requirements of toxic and harmful substances in paper products [J]. Paper Sci Technol, 2005, 24(4): 34-36.
- 黄崇杏,王志伟,王双飞. 纸质食品包装材料中的残留污染物[J]. 包装工程, 2007, 28(7): 12-15.  
HUANG CX, WANG ZW, WANG SF. Residual contaminants in paper food packaging materials [J]. Packag Eng, 2007, 28(7): 12-15.
- 杨左军,王成云,顾浩飞,等. 纸质食品包装材料中五氯酚的测定[J]. 中国造纸, 2010, 29(5): 43-46.  
YANG ZJ, WANG CY, GU HF, et al. Determination of pentachlorophenol in paper packaging materials for foodstuffs [J]. China Pulp Paper, 2010, 29(5): 43-46.
- GB 4806.1—2016 食品安全国家标准 食品接触材料及制品通用安全要求[S].  
GB 4806.1 — 2016 National food safety standard-General safety requirements for food contact materials and products [S].
- GB 4806.8—2016 食品安全国家标准 食品接触用纸和纸板材料及制品[S].  
GB 4806.8 — 2016 National food safety standard-Paper and board materials and products for food contact [S].

- [14] GB 9685—2016 食品安全国家标准 食品接触材料及制品用添加剂使用标准[S].  
GB 9685—2016 National food safety standard-Application standard of additives for food contact materials and products [S].
- [15] GB 30603—2015 食品安全国家标准 食品接触材料及制品生产通用卫生规范[S].  
GB 30603—2015 National food safety standard-General hygienic specification for food contact materials and products [S].
- [16] 杨秋红, 程小艳, 杨坪, 等. 气相色谱-电子捕获法直接测定水体中的五氯酚钠[J]. 中国环境监测, 2012, 28(1): 44-46.  
YANG QH, CHENG XY, YANG P, *et al.* Non-derivative direct determination sodium pentachlorophenol in water by gas chromatography with electron capture detection [J]. Environ Monitor China, 2012, 28(1): 44-46.
- [17] 杨萍, 刘阳, 徐丹先, 等. 2016年云南省部分地区鸡蛋中兽药及禁用药物残留监测结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(10): 3854-3857.  
YANG P, LIU Y, XU DX, *et al.* Analysis of monitoring results of veterinary drugs and banned drugs in eggs in some areas of Yunnan province in 2016 [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(10): 3854-3857.
- [18] 廖林川, 颜有仪, 林岚, 等. 高效液相色谱法检测生物样品中五氯酚[J]. 四川大学学报: 医学版, 2004, 3: 427-428.  
LIAO LC, YAN YY, LIN L, *et al.* Detection of pentachlorophenol in biomaterial using HPLC [J]. J Sichuan Univ(Med Sci Edit), 2004, 3: 427-428.
- [19] GB 29708—2013 食品安全国家标准 动物性食品中五氯酚钠残留量的测定 气相色谱-质谱法[S].  
GB 29708—2013 National food safety standard-Determination of sodium pentachlorophenol residues in animal derived food by gas chromatography-mass spectrometric method [S].
- [20] 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酚类化合物残留量[J]. 中国食品卫生杂志, 2019, 31(3): 226-230.  
ZHANG ZR, ZHANG LY, WANG YJ, *et al.* Determination of chlorophenols in food paper products by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Food Hyg, 2019, 31(3): 226-230.
- [21] 王天娇, 林勤保, 宋欢, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定食品包装纸中的酚类化合物[J]. 分析测试学报, 2012, 29(12): 1153-1157.  
WANG TJ, LIN QB, SONG H, *et al.* Determination of phenols in food packaging paper by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. J Instrum Anal, 2012, 29(12): 1153-1157.
- [22] 王娇, 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]. 中国卫生产业, 2020, 17: 165-167.  
WANG J, ZHU JK, ZHANG L, *et al.* Analysis and test of herbicide sodium pentachlorophenol on food paper products in environmental sanitation pollution [J]. China Health Ind, 2020, 17: 165-167.
- [23] 王成云, 徐嵘, 杨左军, 等. 气相色谱-串联质谱法快速测定纸质食品包装材料中五氯酚残留[J]. 2012, 33(8): 44-47.  
WANG CY, XU R, YANG ZJ, *et al.* Rapid determination of residual pentachlorophenol in paper packing materials for foodstuffs by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. 2012, 33(8): 44-47.
- [24] 陈彦宏, 黄松, 陈穗, 等. 五氯酚及其钠盐的样品前处理和检测技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(14): 4465-4473  
CHEN YH, HUANG S, CHEN H, *et al.* Research progress of sample pretreatment and analytical techniques for determination of pentachlorophenol and sodium pentachlorophenate [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(14): 4465-4473
- [25] 国家食品安全风险评估中心. 2018年国家食品污染和有害因素监测工作手册 食品用纸制品、竹木砧板及筷子中五氯酚测定的标准操作程序[Z].  
National Food Safety Risk Assessment Center. 2018 national food pollution and harmful factors monitoring manual. Standard operating procedures for the determination of pentachlorophenol in food paper products, bamboo cutting boards and chopsticks [Z].

(责任编辑: 韩晓红)

## 作者简介



云鹏, 硕士, 主管技师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: yunpeng2014@foxmail.com



刘印平, 副主任技师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: liuyinping0930@163.com