

预制菜中氯酸盐和季铵盐类消毒剂污染情况调查分析

黄彬红, 高宇, 何芸*, 黄乌妹, 廖晓磊, 傅德江

(福建省产品质量检验研究院, 福建 福州 350002)

摘要:目的:对预制菜中的氯酸盐和季铵盐类消毒剂污染情况进行调查分析。方法:采用液相色谱-串联质谱法,同位素内标法定量测定氯酸盐,外标法定量测定季铵盐类消毒剂,对测定结果进行分析。结果:预制菜中氯酸盐的检出率为46.0%,季铵盐类消毒剂的检出率为16.7%,氯酸盐检出率明显高于季铵盐类消毒剂。6种季铵盐类消毒剂中仅C₁₂-苯扎氯铵、C₁₄-苯扎氯铵有检出,C₁₆-苯扎氯铵、十二烷基三甲基溴化铵、二癸基二甲基氯化铵、四丁基硫酸氢铵均未检出。预制菜存在一定程度的氯酸盐污染,平均膳食暴露量低于每日最大允许耐受量(Tolerable Daily Intake, TDI),但有4批次样品膳食暴露量超过TDI,且有1批次样品暴露量超过了急性参考剂量(Acute Reference Dose, ARfD);苯扎氯铵的污染水平相对较低,平均膳食暴露量远低于毒理学参考值(Toxicity Reference Values, TRVs),且没有样品暴露量超过TRVs。结论:预制菜存在氯酸盐和季铵盐类消毒剂的污染风险,其中氯酸盐污染风险相对较高,且存在膳食暴露风险,需引起重点关注;季铵盐类消毒剂污染风险相对较低,苯扎氯铵膳食暴露处于可接受水平。

关键词:预制菜;氯酸盐;季铵盐类消毒剂;苯扎氯铵

中图分类号:O657.3 文献标识码:A 文章编号:1009-8143(2026)02-0018-08

Doi:10.3969/j.issn.1009-8143.2026.02.04

Investigation Analysis of Contamination of Chlorate and Quaternary Ammonium Disinfectants in Pre-prepared Foods

Huang Bin-Hong, Gao Yu, He Yun*, Huang Wu-mei, Liao Xiao-lei, Fu De-jiang

(Fujian Inspection and Research Institute for Product Quality, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: Objective: To investigate analysis the contamination of chlorate and quaternary ammonium disinfectants in pre-prepared foods. **Methods:** Quantitative determination of chlorate by isotope internal standard and quaternary ammonium disinfectants by external standard using liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS), and analysis to the results. **Results:** The detection rate of chlorate in pre-prepared foods was 46.0%, and the detection rate of quaternary ammonium disinfectants was 16.7%. The detection rate of chloride was significantly higher than that of quaternary ammonium disinfectants. Among 6 quaternary ammonium disinfectants, only C₁₂-benzalkonium chloride and C₁₄-benzalkonium chloride were detected, while C₁₆-benzalkonium chloride, dodecyltrimethylammonium bromide, didecyldimethylammonium chloride, and tetrabutylammoniumhydrogen sulfate were undetected. The pre-prepared foods was contaminated with chlorate to some extent, and the average dietary exposure was below the Tolerable Daily Intake (TDI). However, four samples' dietary exposures exceeded the TDI and one sample's exposure exceeded the Acute Reference Dose (ARfD). The contamination level of benzalkonium chloride was relatively low, and the average dietary exposure was far below the Toxicity Reference Values (TRVs), and no samples' exposure exceeded the TRVs. **Conclusion:** Pre-prepared foods had the risk of contamination by chlorate and quaternary ammonium disinfectants, among which the risk of contamination by chlorate was relatively high and there had dietary exposure risk, which should require special attention.

收稿日期:2025-10-21

基金项目:福建省产品质量检验研究院课题项目(KY202329A)

第一作者简介:黄彬红(1986—),女,高级工程师,主要研究方向为食品安全检测与风险预警分析。E-mail: 441562184@qq.com

通讯作者简介:何芸(1978—),女,高级工程师,主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 537398@qq.com

The risk of contamination by quaternary ammonium disinfectants was relatively low, and the dietary exposure of benzalkonium chloride was at an acceptable level.

Key words: pre-prepared foods; Chlorate; Quaternary ammonium disinfectants; Benzalkonium chloride

引言

消毒剂广泛用于加工设备、生产线、包装材料及操作台面的杀菌处理。食品生产中,次氯酸等含氯消毒剂易与原料有机物反应生成氯酸盐副产物^[1],并可在食品基质中逐步蓄积富集^[2-4]。欧盟食品安全局(EFSA)2015年设定氯酸盐每日耐受摄入量(TDI)为 $3 \mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$ ^[5],并对动物性食品实施分级限量,鸡肉制品限量为 $0.05 \text{ mg}/\text{kg}$,部分品类低至 $0.01 \text{ mg}/\text{kg}$ 。2025年我国出口鸡肉制品因氯酸盐检出 $0.42 \text{ mg}/\text{kg}$ 被欧盟通报,引发贸易壁垒与质量信任危机。我国目前仅在GB 5749-2022《生活饮用水卫生标准》中规定氯酸盐限值为 $0.7 \text{ mg}/\text{L}$,食品领域专属限量标准仍为空白。氯酸盐具有强氧化性,可损害人体血液、呼吸及生殖系统,长期过量摄入可能影响甲状腺功能,对儿童、孕妇等特殊人群风险更高^[6-7]。

季铵盐类消毒剂是以季铵盐化合物为有效成分的广谱杀菌剂,常见品种包括苯扎氯铵、十二烷基三甲基溴化铵、二癸基二甲基氯化铵等^[8-9]。根据我国原卫生部《食品用消毒剂原料(成分)名单(2009版)》,苯扎氯铵、二癸基二甲基氯化铵等可用于食品接触器具消毒^[10]。欧盟对该类物质残留管控严格:2013年对17个成员国5472份食品监测显示,304份样品苯扎氯铵与二癸基二甲基氯化铵残留超标^[11];2015年我国婴儿奶粉被检出季铵盐类残留^[12];2023年欧盟修订(EC)No 396/2005条例,对部分植物源性产品分别设定苯扎氯铵 $100 \mu\text{g}/\text{kg}$ 、二癸基二甲基氯化铵 $50 \mu\text{g}/\text{kg}$ 的最大残留限量^[13]。我国尚未建立食品中季铵盐类残留限量标准,监管存在短板。苯扎氯铵主要危害为皮肤刺激与过敏反应^[14-15],长期接触可引发红斑、瘙痒及过敏性皮炎,吸入高浓度蒸汽还可导致呼吸道刺激症状^[16-17]。

目前国内外已在乳制品、婴幼儿配方食品等领域开展较多消毒剂残留研究,但针对预制菜中氯酸盐与季铵盐类的系统监测数据仍较为缺乏。预制菜生产涉及原料清洗、设备消毒、包装杀菌等关键环节,合理使用消毒剂可有效控制食源性致病菌、

延长货架期;但若存在浓度过高、冲洗不彻底等不规范操作,仍可能造成成品残留超标^[18],对消费者健康构成潜在风险。为此,本研究以150批次预制菜为对象,系统检测氯酸盐与季铵盐类残留水平并开展膳食暴露风险评估,旨在为预制菜质量安全监管提供数据支撑,为我国制定相关残留限量标准提供科学依据。

1 实验部分

1.1 主要仪器与试剂

超高效液相色谱仪—串联6490三重四极杆质谱仪:1290 Infinity型,美国Agilent公司。

涡旋振荡器:IKA MS3型,德国IKA公司。

台式高速离心机:H1650-W型,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司。

超声波恒温水浴振荡器:DS-8510 DTH型,上海生析超声仪器有限公司。

电子天平:BSA224S型,赛多利斯科学仪器。

HLB固相萃取柱: $60 \text{ mg}/3 \text{ mL}$,深圳逗点生物技术有限公司。

氯酸根 ClO_3^- :编号BW 0538,标准值 $1000 \mu\text{g}/\text{mL}$,相对扩展不确定度 5% , $k=2$,北京海岸鸿蒙标准物质技术有限责任公司。

氯酸盐同位素内标氯酸根- $^{18}\text{O}_3$:编号CDAA-S-200265S-1.2 mL,标准值 $200 \text{ mg}/\text{L}$,绝对扩展不确定度 $10 \text{ mg}/\text{L}$, $k=2$,上海安谱瑾世标准技术服务有限公司。

C_{12} -苯扎氯铵:纯度 $\geq 99.9\%$; C_{14} -苯扎氯铵:纯度 $\geq 97.4\%$; C_{16} -苯扎氯铵:纯度 $\geq 99.0\%$;十二烷基三甲基溴化铵:纯度 $\geq 99.0\%$;二癸基二甲基氯化铵:纯度 99.7% ;四丁基硫酸氢铵:纯度 $\geq 99.0\%$,天津阿尔塔科技有限公司。

乙腈:色谱纯,德国Merck公司。

甲醇、甲酸、甲酸铵、乙酸铵:均为色谱纯,美国Fisher公司。

150批次预制菜样品采购于各大电商平台。

为使调查更具代表性,样品覆盖了预制菜中常

见的8个类别,具体情况详见表1。

表1 预制菜样品类别情况

样品类别	主要品种	样品批次	占比/%
猪肉类预制菜	猪颈肉、糖醋里脊、荔枝肉、水煮肉片等	20	13.3
牛肉类预制菜	牛肉滑、牛肉片、牛柳等	20	13.3
牛肉丸预制菜	牛肉丸、牛筋丸	20	13.3
鸡肉类预制菜	奥尔良鸡腿、鸡翅、鸡排	20	13.3
鸡汤类预制菜	鸡汤、猪肚鸡汤、椰子鸡汤	20	13.3
鱼类预制菜	酸菜鱼、水煮鱼	20	13.3
虾滑预制菜	虾滑、虾丸	10	6.7
蔬菜类预制菜	莲藕海带、木耳笋片等以蔬菜为主料的混合产品	20	13.3
合计		150	100

1.2 实验方法

1.2.1 氯酸盐的测定

蔬菜类预制菜参照BJS 201706《食品中氯酸盐和高氯酸盐的测定》中胡萝卜、哈密瓜的试样前处理进行提取,其余类预制菜参照猪肉、鱼肉的试样前处理进行提取,上清液经固相萃取柱净化,采用液相色谱—串联质谱检测,同位素内标法定量测定预制菜中的氯酸盐,具体操作步骤见文献^[19],仪器条件如下:

(1) 质谱条件

离子源:电喷雾电离离子源;扫描方式:负离子模式;毛细管电压:3 000 V;干燥气温度:160℃;干燥气流速:16 L/min;雾化气压力:30 psi;鞘气温度:350℃;鞘气流速:12 L/min;扫描模式:多反应监测(MRM);各化合物的质谱参数见表2。

表2 氯酸盐质谱参数

化合物	母离子(m/z)	子离子(m/z)	锥孔电压(V)	碰撞能量(eV)
氯酸根	83.0	67.0*	60	22
	85.0	69.0	60	20
氯酸根内标	89.0	71.0*	60	16

注:“*”表示定量离子。

(2) 液相色谱条件

色谱柱:Agilent Acclaim TRINITY P1 复合离子

交换柱(100 mm×2.1 mm, 3 μm);柱温:35℃;进样量:3.0 μL;流速:0.5 mL/min;流动相:乙腈和20 mmol/L 甲酸铵,梯度洗脱,梯度洗脱程序见表3。

表3 梯度洗脱程序

时间/min	乙腈/%	20 mmol/L 甲酸铵/%
Initial	70	30
0.2	70	30
3.0	90	10
7.0	90	10
8.0	70	30
10.0	70	30

1.2.2 季铵盐类消毒剂的测定

参照BJS 202007《婴幼儿配方食品中消毒剂残留检测》中的试样前处理方法进行提取,提取液过膜后采用液相色谱—串联质谱检测,外标法定量测定预制菜中的6种季铵盐类消毒剂(C₁₂-苯扎氯铵、C₁₄-苯扎氯铵、C₁₆-苯扎氯铵、十二烷基三甲基溴化铵、二癸基二甲基氯化铵、四丁基硫酸氢铵),具体操作步骤见文献^[20],仪器条件如下:

(1) 质谱条件

离子源:电喷雾电离离子源;扫描方式:正离子源;毛细管电压:4 000 V;干燥气温度:340℃;干燥气流速:8 L/min;雾化气压力:40 psi;扫描模式:多反应监测(MRM);各化合物的质谱参数见表4。

表4 季铵盐类消毒剂质谱参数

化合物	母离子(m/z)	子离子(m/z)	碎裂电压(V)	碰撞能量(eV)
C ₁₂ -苯扎氯铵	304.3	91.1*;212.3	60	35;20
C ₁₄ -苯扎氯铵	332.3	91.1*;240.3	60	35;20
C ₁₆ -苯扎氯铵	360.4	91.1*;268.3	60	30;20
十二烷基三甲基溴化铵	228.3	60.1*;57.1	120	25;25
二癸基二甲基氯化铵	326.4	186.3*;57.2	100	30;25
四丁基硫酸氢铵	242.3	142.2*;100.2	120	25;35

注:“*”表示定量离子。

(2) 液相色谱条件

色谱柱:Agilent RRHD Eclipse Plus C₁₈ 色谱柱(150 mm×2.1 mm, 5 μm);柱温:25℃;进样量:2.0 μL;流速:0.25 mL/min;流动相:20 mmol/L 乙酸铵水溶

液(含0.2%甲酸)+甲醇(15:85,体积比)。

1.2.3 数据处理

(1)日膳食暴露量计算见公式(1):

$$Z = X \times \frac{S}{M \times 1000} \quad (1)$$

式中: Z ——日膳食暴露量, $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$;

X ——预制菜中氯酸盐或季铵盐类消毒剂含量, $\mu\text{g}/\text{kg}$;

S ——日消费量, g/d ;

M ——体质量, kg ;

1 000——换算系数。

(2)体质量及不同类型预制菜日消费量

《中国居民营养与慢性病状况报告(2020)年》,18岁及以上居民男性和女性的平均体重分别为69.6 kg和59 kg,调查中体质量按男女平均体重设定为64.3 kg。

《中国居民膳食指南(2022)》中推荐,平均每天摄入蔬菜类300~500 g,动物性食物120~200 g。调查中蔬菜类预制菜日消费量按蔬菜类最低推荐摄入量设定为300 g,其余类型预制菜日消费量按动物性食物最低推荐摄入量设定为120 g。

2 结果与讨论

2.1 预制菜中氯酸盐和季铵盐类消毒剂方法学验证

对预制菜中氯酸盐及6种季铵盐类消毒剂开展方法学验证,标准品色谱图、空白样品加标回收色谱图及空白样品色谱图详见图1~图6,具体验证结果详见表5。结果表明,所有目标分析物的线性方程相关系数(r)均 ≥ 0.995 ,表明在相应浓度范围内,目标物浓度与仪器响应值呈现良好的线性相关性,满足定量分析要求;氯酸盐在3个加标水平下的回收率介于94.9%~108.6%,6种季铵盐类物质在3个不同浓度的加标水平下的回收率介于87.5%~113.7%,回收率范围符合GB/T 27404-2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》对痕量分析的要求;各目标物的相对标准偏差(RSD)介于0.36%~3.91%($n \geq 6$),表明方法具有优异的精密性与稳定性。氯酸盐的检出限(LOD)和定量限(LOQ)分别为20.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和50.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$,6种季铵盐类物质的LOD和LOQ均为0.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 和1.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$,方法检出灵敏度可满足预制菜中该类物质的定量需求。

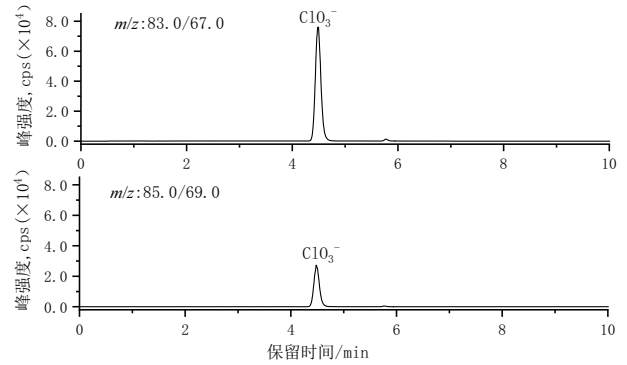


图1 氯酸盐标准品色谱图

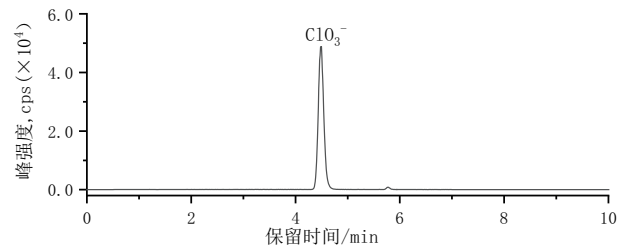


图2 氯酸盐空白样品加标回收色谱图

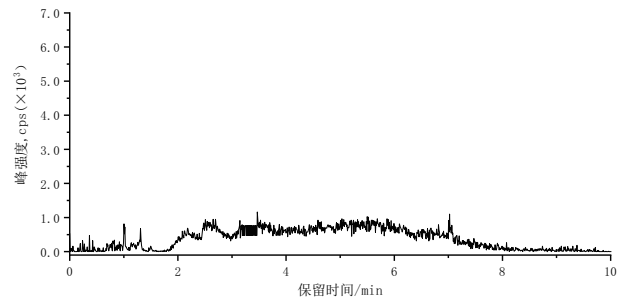


图3 氯酸盐空白样品色谱图

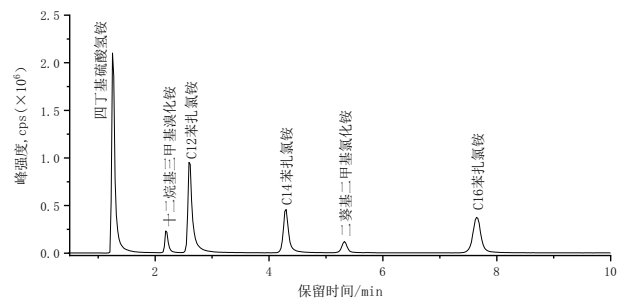


图4 季铵盐类消毒剂标准品色谱图

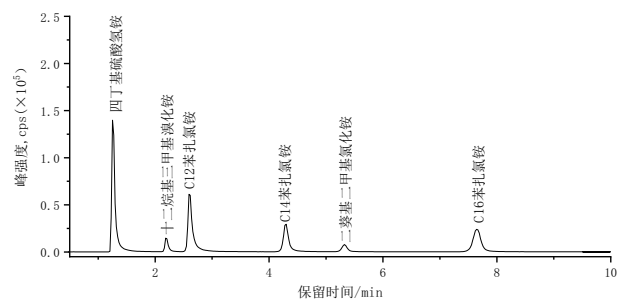


图5 季铵盐类消毒剂空白样品加标回收色谱图

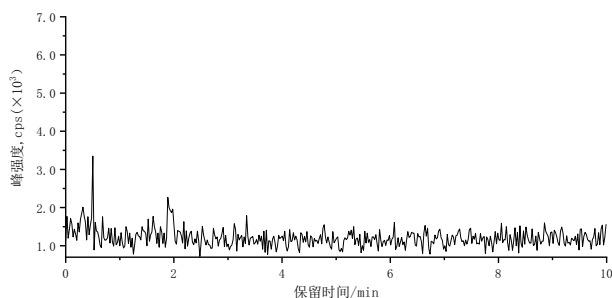


图6 季铵盐类消毒剂空白样品色谱图

2.2 预制菜中氯酸盐和季铵盐类消毒剂检出情况分析

150批次样品中,氯酸盐检出69批次,检出率为46.0%,其中蔬菜类预制菜检出率最高,为

65.0%。6种季铵盐类消毒剂中C₁₂-苯扎氯铵检出23批次,检出率为15.3%;C₁₄-苯扎氯铵检出13批次,检出率为8.7%;所有样品均未检出C₁₆-苯扎氯铵、十二烷基三甲基溴化铵、二癸基二甲基氯化铵、四丁基硫酸氢铵。季铵盐类消毒剂整体检出率为16.7%,其中牛肉类预制菜检出率最高,为50.0%。具体情况详见表6。从调查结果可以看出,预制菜存在氯酸盐和季铵盐类消毒剂的污染风险,且氯酸盐的污染风险明显高于季铵盐类消毒剂。

氯酸盐和苯扎氯铵的污染均与预制菜加工中的消毒行为直接相关。氯酸盐的核心来源是含氯消毒剂的副产物生成与残留^[21]。当次氯酸钠等含氯

表5 氯酸盐和季铵盐类消毒剂方法学验证结果

项目	线性方程	相关系数(<i>r</i>)	加标水平/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均回收率/%	RSD/%	检出限/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	定量限/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
氯酸盐	$Y=0.949\ 09X-0.035\ 90$	0.999 83	50.0、100、500	94.9~108.6	1.32~2.92	20.0	50.0
C ₁₂ -苯扎氯铵	$Y=2.013\ 98\times 10^6X+2.581\ 32\times 10^5$	0.999 29	1.00、5.00、20.0	95.5~111.0	0.88~2.69	0.50	1.00
C ₁₄ -苯扎氯铵	$Y=2.027\ 02\times 10^6X+1.335\ 40\times 10^5$	0.998 83	1.00、5.00、20.0	93.5~105.0	0.86~2.04	0.50	1.00
C ₁₆ -苯扎氯铵	$Y=1.611\ 34\times 10^6X+4.949\ 43\times 10^4$	0.997 64	1.00、5.00、20.0	87.5~106.2	0.70~1.91	0.50	1.00
十二烷基三甲基溴化铵	$Y=1.769\ 54\times 10^5X+1.394\ 49\times 10^4$	0.999 60	1.00、5.00、20.0	92.4~101.8	0.71~3.91	0.50	1.00
二癸基二甲基氯化铵	$Y=8.322\ 26\times 10^5X+6.451\ 95\times 10^4$	0.999 57	1.00、5.00、20.0	89.9~101.7	0.72~2.59	0.50	1.00
四丁基硫酸氢铵	$Y=1.317\ 66\times 10^6X+1.081\ 42\times 10^6$	0.995 58	1.00、5.00、20.0	105.9~113.7	0.36~2.90	0.50	1.00

表6 氯酸盐和季铵盐类消毒剂的检出情况

样品类别	氯酸盐	季铵盐类消毒剂检出率/%			整体
		C ₁₂ -苯扎氯铵	C ₁₄ -苯扎氯铵	C ₁₆ -苯扎氯铵、十二烷基三甲基溴化铵、二癸基二甲基氯化铵、四丁基硫酸氢铵	
猪肉类预制菜	40.0	15.0	15.0	0.0	15.0
牛肉类预制菜	25.0	50.0	10.0	0.0	50.0
牛肉丸预制菜	65.0	5.0	5.0	0.0	5.0
鸡肉类预制菜	55.0	10.0	5.0	0.0	10.0
鸡汤类预制菜	25.0	15.0	0.0	0.0	15.0
鱼类预制菜	45.0	5.0	5.0	0.0	5.0
虾滑预制菜	50.0	10.0	20.0	0.0	20.0
蔬菜类预制菜	65.0	10.0	15.0	0.0	15.0
总计	46.0	15.3	8.7	0.0	16.7

消毒剂在加工中接触肉类、蔬菜中的蛋白质、脂肪等有机物,或与水中溴离子反应时,会转化为氯酸盐等有害副产物。这种转化并非偶然,而是消毒过程中的必然化学反应,尤其在消毒剂浓度过高、作用时间过长时更易加剧。苯扎氯铵的污染则源于消毒后的清洁疏漏。作为季铵盐类消毒剂的核心成分,它被广泛用于食品加工设备、接触面的消毒,若消毒后未进行充分冲洗,残留的苯扎氯铵会直接迁移至预制菜中。本次调查中氯酸盐的检出率明显高于季铵盐类消毒剂,原因可能是由于食品加工过程中含氯消毒剂的普及度高于季铵盐类消毒剂,还有可能与这两类物质的形成机制不同有关,消毒后冲洗能够降低季铵盐类消毒剂的残留,

但对氯酸盐的污染却影响不大。

2.3 预制菜中氯酸盐的污染水平及膳食暴露分析

本次调查参考 GB 5749-2022 中生活饮用水氯酸盐的限量规定,对预制菜氯酸盐污染水平进行评价。从表 7 可知,猪肉类预制菜氯酸盐平均值最高,超过 700 $\mu\text{g}/\text{kg}$,高达 1 518 $\mu\text{g}/\text{kg}$,分析原因是有 2 批次样品氯酸盐含量较高,其中 1 批次高达 23 143 $\mu\text{g}/\text{kg}$,超过参考限量 32.1 倍;其次是蔬菜类预制菜,氯酸盐平均值为 200 $\mu\text{g}/\text{kg}$,有 2 批次样品氯酸盐含量超过 700 $\mu\text{g}/\text{kg}$;其余类别预制菜氯酸盐平均值相对较低,没有样品氯酸盐含量超过 700 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。综上,预制菜存在一定程度的氯酸盐污染,个别样品检测值异常高,需引起关注。

表 7 预制菜中氯酸盐的含量水平和膳食暴露量

样品类别	氯酸盐					
	含量范围/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均值/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	中位值/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	超过参考限量的 检测值/($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均膳食 暴露量/ [$\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$]	超过 TDI 的 膳食暴露量值/ [$\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$]
猪肉类预制菜	25.0~23 143	1518	25.0	6515,23 143	2.83	12.15,43.19
牛肉类预制菜	25.0~165	41.5	25.0	/	0.08	/
牛肉丸预制菜	25.0~475	94.3	25.0	/	0.18	/
鸡肉类预制菜	25.0~174	58.2	25.0	/	0.11	/
鸡汤类预制菜	25.0~204	49.9	25.0	/	0.09	/
鱼类预制菜	25.0~317	73.4	25.0	/	0.14	/
虾滑预制菜	25.0~397	115	25.0	/	0.22	/
蔬菜类预制菜	25.0~1 223	200	57.7	1 136,1 223	0.93	5.30,5.71
合计	25.0~23 143	279	25.0	1 136,1 223,6 515,23 143	0.60	5.30,5.71,12.15,43.19

注:1、“/”表示无相关数据;

2、对所有小于定量限的数据按 1/2 定量限计算,其中氯酸盐定量限为 50.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$,苯扎氯铵定量限为 1.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

调查中以 2015 年 EFSA 设定的氯酸盐 3.0 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$ 的 TDI 值进行膳食暴露评估,氯酸盐的急性参考剂量(Acute Reference Dose, ARfD)为 36 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$ ^[5]。从表 7 可以看出,各类预制菜氯酸盐的平均膳食暴露量均低于 TDI,猪肉类预制菜因有 2 批次样品氯酸盐含量较高导致平均膳食暴露量明显高于其他类别。调查中还发现,有 4 批次样品氯酸盐的膳食暴露量超过 TDI,存在膳食暴露风险,且有 1 批次样品氯酸盐暴露量超过了 ARfD,高达 43.19 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$,需引起重点关注。

2.4 预制菜中苯扎氯铵污染水平及膳食暴露分析

季铵盐类消毒剂中仅苯扎氯铵有检出,因此调查中仅对苯扎氯铵的污染水平及膳食暴露量进一步分析。本次调查参考欧盟法规(EC)对部分植物来源产品的限量规定,对预制菜苯扎氯铵污染水平进行评价。从表 8 可知,各类别预制菜苯扎氯铵平均值均未超过 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$,但有 4 批次样品含量超过 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$,分别为 2 批次蔬菜类预制菜、1 批次猪肉类预制菜和 1 批次牛肉类预制菜,最高值为 548 $\mu\text{g}/\text{kg}$,超过参考限量 4.5 倍。综上,预制菜苯扎氯铵的污

表8 预制菜中苯扎氯铵的含量水平和膳食暴露量

样品类别	苯扎氯铵				平均膳食暴露量/ [$\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$]	超过TRVs的膳食暴露量值/ [$\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$]
	含量范围/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	平均值/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	中位值/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	超过参考限量的检测值/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
猪肉类预制菜	0.50~298	21.5	0.50	298	0.04	/
牛肉类预制菜	0.50~320	28.2	2.85	320	0.05	/
牛肉丸预制菜	0.50~92.6	5.10	0.50	/	0.01	/
鸡肉类预制菜	0.50~56.2	3.62	0.50	/	<0.01	/
鸡汤类预制菜	0.50~16.2	1.94	0.50	/	<0.01	/
鱼类预制菜	0.50~21.2	1.54	0.50	/	<0.01	/
虾滑预制菜	0.50~70.1	8.43	0.50	/	0.02	/
蔬菜类预制菜	0.50~548	40.6	0.50	165, 548	0.19	/
合计	0.50~548	14.2	0.50	165, 298, 320, 548	0.04	/

注：“/”表示无相关数据。

染水平相对较低,但仍存在超参考限量的情况。

调查中以德国联邦风险评估研究所关于苯扎氯铵 100 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw}\cdot\text{d})$ 的毒理学参考值 (Toxicity Reference Values, TRVs)^[22] 进行膳食暴露评估。从表8可以看出,各类预制菜苯扎氯铵的平均膳食暴露量远远低于TRVs,且没有样品暴露量超过TRVs,说明预制菜苯扎氯铵的膳食暴露风险低,处于可接受水平。

3 结论

本次调查结果显示,预制菜中两类消毒剂污染风险差异显著:氯酸盐检出率46.0%,部分品类污染水平偏高,4批次样品膳食暴露量超过每日耐受摄入量(TDI)、1批次超出急性参考剂量(ARfD),存在潜在健康风险;季铵盐类消毒剂仅苯扎氯铵被检出,检出率16.7%,污染水平及膳食暴露量均远低于毒性参考值(TRVs),风险处于可接受范围。该结果既印证了氯酸盐易在食品基质中蓄积的特性,也与欧盟食品通报预警的风险根源一致。

预制菜消毒剂残留问题,本质是传统加工模式与现代食品安全需求的矛盾体现。我国尚未针对预制菜中氯酸盐、季铵盐类消毒剂制定强制性限量标准,传统含氯消毒剂的不规范使用进一步加剧了氯酸盐残留风险;而本研究结论与EFSA^[23]、俞淑^[24]、谢响^[25]等团队成果相符,佐证了季铵盐类消毒剂残留整体可控。

在预制菜“添加剂焦虑”的背景下,消毒剂残留检出易引发消费者质疑与舆情风险。本次调查虽未发现季铵盐类存在膳食暴露风险,但仍需持续监测以支撑舆情应对。针对氯酸盐高风险问题,建议参照欧盟标准,结合我国预制菜加工工艺与品类特性制定分级限量标准,并推广过氧化氢银离子复合型等无残留消毒技术,从源头避免氯酸盐生成,统筹健康风险管控与舆情应对,为预制菜产业高质量发展提供保障。

参考文献

- [1] 刘丽君,周娅琳,阮建明,等. 次氯酸钠消毒剂的分解特性及氯酸盐副产物形成规律探讨[J]. 给水排水, 2019, 45(6):54-58.
- [2] 黄彬红. 婴幼儿配方奶粉中氯酸盐和高氯酸盐污染情况的调查分析[J]. 中国乳品工业, 2024, 52(3):30-35.
- [3] 张晓艺,张秀尧. 温州市水果、蔬菜和调味品中高氯酸盐和氯酸盐的污染及膳食暴露分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 33(12):1521-1524.
- [4] 邓锁成,毕瑞锋,张伟伟,等. 高效液相色谱—串联质谱法检测新鲜蔬菜中的氯酸盐残留[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(6):1841-1845.
- [5] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Risks for public health related to the presence of chlorate in food[J]. EFSA Journal, 2015, 13(6):4135.
- [6] ALI S N, ANSARI F A, KHAN A A, et al. Sodium chlorate, a major water disinfection byproduct, alters brush border mem-

- [10] 吴忠文, 虞安楠, 吴小说. 火焰原子吸收光谱法测量不同产地红枣中钙、铁、锌[J]. 云南化工, 2023, 50(11): 61-64.
- [11] 全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC 243). 硬质合金 钴粉中钙、铜、铁、钾、镁、锰、钠、镍和锌含量的测定 火焰原子吸收光谱法: GB/T 42511-2023[S]. 中国标准出版社, 2023.
- [12] Jamali R M, Gorji K S, Rahnema R. Assessment of In Situ Sorbent Formation Solid-Phase Extraction for the Determination of Cadmium in Natural Water Samples and Plant Leaves by Flame Atomic Absorption Spectrometry[J]. Journal of Analytical Chemistry, 2025, 80(8): 1445-1453.
- [13] 张鏢, 付裕. 分析化学实验指导[M]. 上海: 上海浦江教育出版社, 2025: 125-136.
- [14] 魏良璟, 郭艳萍. 硬脂酸铅(轻质). HG 2337-92[S]. 北京: 企业标准信息公共服务平台.
- [15] 黄一石, 吴朝华, 杨小林. 仪器分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2022: 158-212.

(上接第 24 页)

- brane enzymes, carbohydrate metabolism and impairs antioxidant system of Wistar rat intestine[J]. Environ Toxicol, 2017, 32(5): 1607 - 1616.
- [7] Zhang Y, Li M, Wang H, et al. Chlorate-induced oxidative stress and hematological toxicity in Sprague-Dawley rats: A subchronic exposure study[J]. Toxicology Letters, 2020, 335: 82-90.
- [8] 张卓娜, 孙琦, 杨艳伟. 国内市场季铵盐类消毒剂使用情况调查[J]. 中国消毒学杂志, 2018, 35(1): 23 - 25.
- [9] 李俊, 张勇杰, 李运玲, 等. 季铵盐杀菌剂的现状与发展趋势[J]. 日用化学品科学, 2015, 38(9): 32 - 35, 39.
- [10] 中华人民共和国卫生部办公厅. 食品用消毒剂原料(成分)名单(2009年版)[EB/OL]. (2010-01-30)[2025-12-13].
- [11] European Food Safety Authority (EFSA). Evaluation of monitoring data on residues of didecylidimethylammonium chloride(DDAC) and benzalkonium chloride(BAC)[J]. EFSA Supporting Publications, 2013, 10(9): 483E.
- [12] 韩丽. 奶粉中的季铵盐咋回事[J]. 江苏卫生保健, 2019, 21(11): 55.
- [13] The European Parliament and the Council. Commission directive (EU) 2023/377 of 15 February 2023 amending annexes II, III, IV and V to regulation (EC) No 396/2005[J]. Official Journal of the European Union, 2023(55): 1 - 16.
- [14] 龙璇周, 文玉杨, 雪婷. 苯扎氯铵致颗粒状角化不全 2 例及文献回顾[J]. 实用皮肤病学杂志, 2024, 17(4): 253 - 256.
- [15] Zhang Y, Liu J, Wang L. Allergic reactions induced by residual quaternary ammonium compounds in food processing equipment[J]. Food and Chemical Toxicology, 2022, 165: 113089.
- [16] 牛洪梅, 朱华剑, 许莉, 等. 苯扎氯铵适应对食源性致病菌杀菌剂耐受性影响的研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(11): 329 - 337.
- [17] Kim J W, Kim M S, Kim H R. Research review and transcriptomic insights into Benzalkonium chloride inhalation and disease association[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2025, 289: 117610.
- [18] 孙成虎, 吕孝云. 预制菜加工环节食品安全问题及控制措施[J]. 食品安全导刊, 2023(23): 35 - 38.
- [19] 成都市食品药品检验研究院. 食品中氯酸盐和高氯酸盐的测定: BJS 201706[S]. 北京: 国家食品药品监督管理总局, 2017.
- [20] 北京市食品安全监控和风险评估中心(北京市食品检验所). 婴幼儿配方食品中消毒剂残留检测: BJS 202007[S]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2020.
- [21] KETTLITZ B, KEMENDI G, THORGRIMSSON N, et al. Why chlorate occurs in potable water and processed foods: a critical assessment and challenges faced by the food industry[J]. Food Addit Contam A, 2016, 33(6): 968 - 982.
- [22] German Federal Institute for Risk Assessment. Health assessment of benzalkonium chloride residues in food: BfR opinion No 032/2012[EB/OL]. (2012-07-13) [2024-09-25].
- [23] European Food Safety Authority. Risk assessment related to the presence of benzalkonium chloride (BAC), didecylidimethyl ammonium chloride (DDAC) and chlorates in fish and fish products[R/OL]. (2023-05-30)[2025-10-21].
- [24] 俞淑. 婴幼儿配方乳粉中苯扎氯铵和二癸基二甲基氯化铵的污染水平监测及膳食暴露评估[J]. 乳业科学与技术, 2025, 48(1): 7 - 13.
- [25] 谢响, 周伟娥, 许秀丽, 等. 食品中季铵盐类消毒剂检测方法建立及北京市市售食品及膳食样品中含量分析[J]. 食品科学, 2024, 45(6): 261 - 270.