

实验技术与方法

同位素稀释气相色谱-质谱法测定意面酱中的环氧乙烷和
2-氯乙醇的含量刘光臣^{1,2}, 董一童^{2,3}, 时逸之^{2,3}, 苗宏健², 李敬光^{1,2}

(1. 南京医科大学, 江苏 南京 211166; 2. 国家食品安全风险评估中心, 北京 100022; 3. 中国农业大学, 北京 100091)

摘要:目的 建立一种意面酱中环氧乙烷与 2-氯乙醇的气相色谱-串联质谱(GC-MS/MS)测定方法。方法 样品采用乙腈提取, 经过 QuEChERS 净化剂 C18/PSA/MgSO₄ (10/10/60 mg/mL) 净化, 采用 GC-MS/MS 以多反应监测模式(MRM)测定, 同位素内标标准曲线法定量。结果 环氧乙烷与 2-氯乙醇在 10~100 µg/L 浓度范围内呈良好的线性关系, $R^2 > 0.99$, 方法检出限为 0.02 mg/kg, 定量限为 0.05 mg/kg; 在 0.05、0.10、0.35 mg/kg 的 3 个加标浓度水平下, 样品平均回收率为 87.79%~108.46%, 相对标准偏差(RSD)为 2.03%~11.79%, 日内精密度和日间精密度分别为 9.62%~10.09% 和 9.40%~11.82%。结论 该方法分析速度快、准确性高, 可用于意面酱中环氧乙烷和 2-氯乙醇残留量的测定。

关键词: 环氧乙烷; 2-氯乙醇; 同位素内标稀释技术; QuEChERS; 气相色谱-串联质谱

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2025)06-0520-06

DOI: 10.13590/j.cjfh.2025.06.003

Determination of ethylene oxide and 2-chloroethanol in pasta sauces by isotope dilution gas
chromatography-mass spectrometryLIU Guangchen^{1,2}, DONG Yitong^{2,3}, SHI Yizhi^{2,3}, MIAO Hongjian², LI Jingguang^{1,2}

(1. Nanjing Medical University, Jiangsu Nanjing 211166, China; 2. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China; 3. China Agricultural University, Beijing 100091, China)

Abstract: Objective To establish a gas chromatography-tandem mass spectrometry (GC-MS/MS) method for the determination of ethylene oxide and 2-chloroethanol in pasta sauce. **Methods** The sample was extracted with acetonitrile, cleaned-up by QuEChERS purification agent C18/PSA/MgSO₄ (10/10/60) mg/mL, and determined by GC-MS/MS in multiple reaction detection mode (MRM) and quantified by isotope internal standard curve. **Results** The linear relationship between ethylene oxide and 2-chloroethanol was good in the concentration range of 10-100 µg/L with $R^2 > 0.99$, the method limit of detection (LOD) was 0.02 mg/kg, and the limit of quantification (LOQ) was 0.05 mg/kg. The average recoveries of the samples at the three spiked concentration levels of 0.05, 0.10, 0.35 mg/kg were 87.79%-108.46%, and the relative standard deviations (RSDs) were 2.03%-11.79%. The intra-day and inter-day precision were 9.62%-10.09% and 9.40%-11.82%, respectively. **Conclusion** The method is rapid in analysis, accurate and reliable, and can be used for the determination of ethylene oxide and 2-chloroethanol residues in pasta sauce.

Key words: Ethylene oxide; 2-chloroethanol; isotope internal standard dilution technique; QuEChERS; GC-MS/MS

环氧乙烷(Ethylene oxide, EO)是一种挥发性极强的广谱杀菌剂^[1], 常用作塑料容器、医疗设备等产品的熏蒸消毒^[2]。世界卫生组织国际癌症研究机构(International Agency for Research on Cancer, IARC)将 EO 认定为 1B 类致癌物。同时, EO 可转化为 2-

氯乙醇(2-Chloroethanol, 2-CE), 亦对人体健康构成致癌风险^[3-4]。目前, 针对食品中的 EO 及 2-CE 的管控, 欧盟、澳新及美国均设置管理限量值, 尤其是欧盟对谷物、果蔬等食品的管理限量值低至 0.02 mg/kg^[5]。而我国至今仍未对食品中 EO 及 2-

收稿日期: 2024-12-31

作者简介: 刘光臣 男 在读研究生 研究方向为营养与食品卫生学 E-mail: 13754908551@163.com

通信作者: 苗宏健 男 研究员 研究方向为食品安全 E-mail: miaohj@cfsa.net.cn

CE 进行限量管理和制定标准检测技术。随着近年来国内外一系列复杂食品基质如芝麻、方便面、调味料和面食等频繁发生 EO 残留量超标事件,建立针对复杂食品基质的高效精准的 EO 和 2-CE 检测技术,对 EO 等有害物的暴露分析、规范食品中 EO 的安全管控机制具有重要意义^[6-8]。

EO 和 2-CE 沸点差异性较大(10.7 °C 和 128 °C),使得很多前处理技术在复杂食品基质中的应用受限^[4,9-10]。采用顶空进样前处理同时检测 EO 和 2-CE 时,2-CE 的定量限(Limit of detection, LOQ)为 0.05~10 mg/kg^[11-15]。而针对较为复杂的食品基质,此 LOQ 已无法满足进出口检测需求。基于此,本课题组以意面酱为基质,建立同时检测 EO 和 2-CE 的一一对应同位素内标稀释结合 QUECHERS 前处理气相色谱-串联质谱(Gas chromatography-tandem mass spectrometry, GC-MS/MS)检测技术。

1 材料与方法

1.1 主要仪器与试剂

TSQ 9000 气相色谱-三重四极杆质谱仪(美国 Thermo 公司)、3K15 离心机(德国 Sigma 公司)、Vortex Genie 2 涡旋混合器(美国 Scientific Industries 公司)。

环氧乙烷(EO, 1 000 µg/mL, CAS: 75-21-8)、二氯乙醇(2-CE, 1 000 µg/mL, CAS: 598-38-9)、D₄-环氧乙烷(D₄-EO, 100 µg/mL, CAS: 6552-57-4)、D₄-二氯乙醇(D₄-2-CE, 100 µg/mL, CAS: 17060-07-0)均购于天津阿尔塔科技有限公司,纯度均>98%;乙腈(色谱纯)购自美国 Fisher Scientific 公司,柠檬酸氢二钠(DHS, C₆H₆Na₂O₇) (纯度≥99.5%)、柠檬酸钠(TSCD, C₆H₅Na₃O₇) (纯度≥99%)、硫酸镁(MgSO₄) (纯度≥99.99%)、氯化钠(NaCl) (纯度≥99%)、乙二胺-N-丙基硅烷化硅胶(PSA) (40~60 µm),均购自德国 Merck 公司;实验所需超纯水通过美国 Millipore 公司的纯水设备制得。

1.2 方法

1.2.1 标准溶液配制

分别准确移取 10 µL 浓度为 1 000 µg/mL 的 EO 标准品和浓度为 1 000 µg/mL 的 2-CE 标准品于 10 mL 容量瓶中,使用乙腈定容,混匀,配制成 1 µg/mL 的混合标准中间液。分别准确移取 100 µL 浓度为 100 µg/mL 的 D₄-EO 和浓度为 100 µg/mL 的 D₄-2-CE 于 10 mL 容量瓶中,使用乙腈定容,混匀,配制成 1 µg/mL 的同位素内标标准中间液,现配现用。使用时,准确移取同位素内标标准中间液 50 µL,再分别准确移取混合标准中间液 10、20、30、

50、70、100 µL 于 1 mL 容量瓶中,用乙腈稀释并定容至刻度,混匀,配制成 EO 与 2-CE 浓度为 10、20、30、50、70、100 µg/L 的标准工作溶液,D₄-EO 与 D₄-2-CE 浓度为 50 µg/L。

1.2.2 样品前处理

选取意面酱为典型代表性基质进行样品前处理,准确称量意面酱样品(2±0.02)g,置于装有 MgSO₄/NaCl/DHS/TSCD (80/20/10/20 mg/mL)的 50 mL 聚丙烯离心管中,加入 10 mL、4 °C 乙腈与混合同位素内标中间液 50 µL,并涡旋振荡提取 5 min,在-10 °C 下以 9 500 r/min(离心半径为 148 mm)冷冻离心 10 min 后,取上清液至装有 C18/PSA/MgSO₄ (10/10/60 mg/mL)的 15 mL 聚丙烯离心管中,对提取物进行净化,以去除脂质和脂肪酸,涡旋振荡 5 min,在-10 °C 下以 9 500 r/min(离心半径为 148 mm)冷冻离心 10 min 后,取 1 mL 上清液装瓶进行 GC-MS/MS 检测。

除冷冻离心外,前处理其余过程在-20 °C 冰箱环境下进行。实验过程中,操作人员需佩戴防护手套、护目镜、N95 口罩和实验防护服确保安全防护。

1.2.3 仪器条件

色谱条件:安捷伦 HP-VOC 毛细管色谱柱(30 m×0.20 mm, id: 1.10 µm);载气为高纯氦气,恒流模式,流速 1.0 mL/min;升温程序:45 °C 保持 2 min,以 50 °C/min 增至 150 °C,130 °C/min 增至 280 °C 保持 10.9 min。

进样方式:PTV 进样口程序:90 °C 保持 0.8 min,然后以 12 °C/s 升温至 250 °C,保持 10 min;分流进样,分流比 4:1,进样量 1 µL。

质谱条件:采用电子轰击源(Electron impact source, EI),选择多反应监测(Multiple reaction monitoring, MRM)模式进行检测;离子源温度:270 °C;传输线温度:250 °C;待测化合物定性、定量离子对及碰撞能量等参数见表 1。

2 结果

2.1 前处理方法优化

2.1.1 低温操作对 EO 的回收率影响

EO 沸点为 10.7 °C,室温下具有极强的挥发性。且 EO 为 1B 类致癌物,具有较强的毒性。为避免提取过程中盐溶解放热导致 EO 挥发对人体造成的潜在风险,前处理全程在-20 °C 冰箱环境下实施,结合同位素内标法同步校正操作误差。结果显示,室温下配制的 EO 标准溶液在保留时间 2.5 min 处出现显著杂质干扰峰(图 1),但两种环境下 EO 标准品

表1 EO和2-CE的定性、定量离子对、保留时间及碰撞能量参数

Table 1 Qualitative and quantitative ion pairs, retention times and collision energy parameters of ethylene oxide and 2-chloroethanol

分析物	保留时间/ min	定性离子对/ (m/z)	定量离子对/ (m/z)	碰撞能量/eV
EO	2.24	44.0/14.0	44.0/29.0	20
		44.0/28.0		5
2-CE	4.24	82.0/31.0	80.0/31.0	5
		80.0/43.0		5
D ₄ -EO	2.24	48.0/16.0	48.0/30.0	20
D ₄ -2-CE	4.24	86.0/33.0	84.0/33.0	5

在 2.25 min 处的峰面积无明显差别。实验考察了低温操作过程中挥发性物质的损失状况,分别将浓度为 50 μg/L 的混合标准溶液敞口放置于-20 ℃冰箱与常温下,每隔 30 min 上机检测 EO 与 2-CE 的响应值。如图 2 所示,常温前处理过程中 EO 挥发迅速,反映了低温操作在实验过程中的必要性。

2.1.3 QuEChERS对2-CE在意面酱中的适用性

由文献[5]可知,EO 和 2-CE 具有一定的水溶

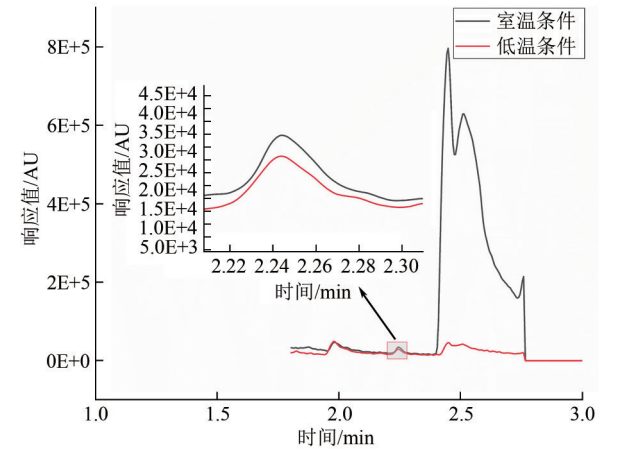


图1 低温条件(-20 ℃)与室温条件下 10 μg/L 环氧乙烷标准品对比图

Figure 1 Comparison of 10 μg/L ethylene oxide standard under low temperature condition (-20 ℃) and room temperature condition

表2 不同化合物的混合标准曲线信息

Table 2 information on mixed standard curves for different chemical compounds

化合物	线性范围/(μg/L)	线性方程	相关系数(R ²)	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)
EO	10~100	Y=1.287 6X+4.487 0	0.997 4	0.02	0.05
2-CE	10~100	Y=0.980 7X+1.442 2	0.995 0	0.02	0.05

2.3 方法的精密度与准确度

本试验向意面酱基质中添加适量的 EO 和 2-CE 标准溶液,制成 EO 与 2-CE 添加水平为 0.05、0.10、0.35 mg/kg 的意面酱样品,每个加标水平做 6 次平行实验,考察方法的回收率。加标量为 0.05 和 0.10 mg/kg 时,EO 和 2-CE 加标回收率为

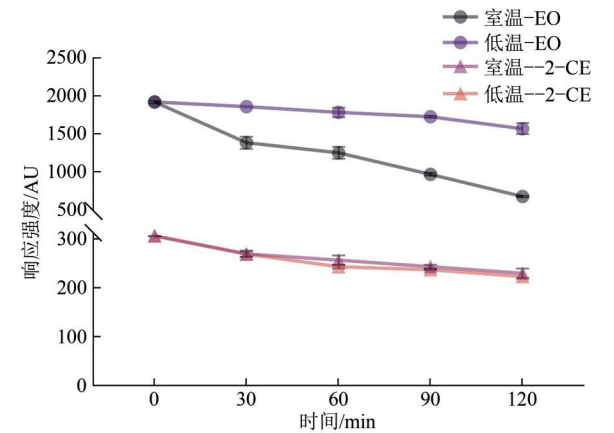


图2 室温条件与低温条件下 50 μg/L 混合标准品挥发情况

Figure 2 Volatilization of 50 μg/L mixed standard under room temperature condition and low temperature condition

性。而不同食品基质含水量不同,因此 QuEChERS 方法是否可以从水中竞争性提取 EO 和 2-CE 关系到检测回收率和实验结果的准确性。首先,由欧盟对食用芝麻等食品基质中的 EO 和 2-CE 检测方法可知,QuEChERS 提取包中的硫酸镁有效降低乙腈及食品基质中的含水量。针对不同基质,QuEChERS 可将含水量从 8% 降至 2%,极大地提高乙腈对目标物的提取效率。另一方面,本课题组在 QuEChERS 方法适用性上考察了同位素内标的绝对回收率。在排除意面酱基质效应的前提下,QuEChERS 方法对内标的绝对回收率为 95%~102%,RSD 为 1.2% (n=12)。由此说明,QuEChERS 方法对于 EO 和 2-CE 的适用性强,可有效提高目标物提取效率,排除食品基质因含水量造成的结果不确定性。

2.2 方法的线性范围、回归方程、检出限和定量限

由表 2 可知,EO 与 2-CE 在 10~100 μg/L 范围内所得回归方程均呈现良好的线性关系,相关系数(R²)>0.990。按照已经改良的方法测定,以 3 倍信噪比(S/N=3)所对应的浓度为方法检出限为 0.02 mg/kg;以 10 倍信噪比(S/N=10)所对应的浓度为方法定量限为 0.05 mg/kg。

87.79%~108.46%,RSD 为 2.22%~11.79%;加标量为 0.350 mg/kg 时,EO 和 2-CE 加标回收率分别为 94.71% 与 99.55%,RSD 分别为 2.31% 与 2.03% (见表 3),不同添加水平的精密度,实验室内相对标准偏差<12%,均符合 GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范食品理化检测》要求。

表3 意面酱3种加标水平下各化合物的回收率与相对标准偏差(n=6)

Table 3 Recoveries and relative standard deviations of compounds at three spiked levels in spaghetti sauce(n=6)

化合物	加标水平/(mg/kg)	回收率/%	RSD/%	GB/T 27404—2008 要求	
				回收率/%	RSD/%
EO	0.05	94.37	11.79	60~120	21
	0.10	87.79	2.22	60~120	21
	0.35	94.71	2.31	60~120	21
2-CE	0.05	108.46	5.23	60~120	21
	0.10	106.25	11.52	60~120	21
	0.35	99.55	2.03	60~120	21

在空白意面酱中加入标准中间液,配制成浓度为 0.05 mg/kg 的样品,日内连续测定 6 次,连续 6 天测定,计算日内、日间精密度。日内精密度与日间精密度如表 4 所示,其 RSD 均<12%,该方法具有良好的精密度与准确度。

表4 环氧乙烷和2-氯乙醇日间精密度及日内精密度试验(n=6)

Table 4 Interday precision and intraday precision tests for ethylene oxide and 2-chloroethanol (n=6)

样品	待测物质	日内 精密度/%	SD	日间 精密度/%	SD
意面酱	EO	9.62	1.16	11.82	1.35
	2-CE	10.09	1.24	9.40	1.15

2.4 低温进样的优势

本研究采用程序升温进样(Programmed temperature vaporizer,PTV)技术,通过精确的温度梯度实现 EO 与 2-CE 的高效特异性分离。本实验关键在于利用 PTV 的低温控制能力:初始设定 90℃ 的进样温度,使低沸点(10.7℃)的 EO 优先挥发并在色谱柱上快速分离,有效避免其在高温区的热降解风险(如转化为甲醛等干扰物);随后程序升温释

放高沸点的 2-CE,实现基线分离。此外,低温进样结合优化的分离比(4:1)进一步降低了甲醛等副产物的生成。相较于常用的顶空进样,PTV 进样结合优化的色谱条件不仅解决了 EO 易热降解的关键难题,同时还实现了 EO 与 2-CE 在极短时间内的高效、特异性分离(图 3)。相对于其他研究,本研究所实现的较低灵敏度更契合食品接触材料迁移所致痕量污染物的检测需求。本研究旨在突破现有方法和技术体系的局限性,建立高效检测方案,以提升应急事件响应能力。

2.5 实际样品的检测

采购原产地分别来自意大利、泰国、日本、法国、西班牙、韩国、法国、德国、澳大利亚和土耳其的意面酱样品,共 26 份。采用本研究建立的 QuEChERS 前处理方法结合 GC-MS/MS 定量检测方法对 26 份意面酱样品进行检测,结果发现,美国进口的意面酱中 2-CE 超标(0.45±0.02)mg/kg,超出欧盟 0.05 mg/kg 限值 9.06 倍,其他意面酱样品中均未检出。该结果提示了跨境食品供应链中存在熏蒸剂违规使用的潜在风险。建议将 EO/2-CE 纳入进口食品的常规监控指标。

表5 顶空气相色谱法下不同样品中EO和2-CE的验证参数

Table 5 Validation parameters for EO and 2-CE in different samples using headspace gas chromatography.

文献	样品	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)
顶空气相色谱法测定辛基酚聚氧乙烯醚 40 中的 4 种挥发性杂质 ^[9]	药用辅料	0.02	0.05
顶空气相色谱-电子捕获检测器法测定明胶空心胶囊中 2-氯乙醇残留量 ^[16]	明胶空心胶囊	5	10
顶空-气相色谱法同时检测一次性使用无菌医疗器械产品中环氧乙烷和 2-氯乙醇残留量的效果 ^[14]	一次性使用无菌医疗器械产品	EO:0.06 2-CE:1	EO:0.16 2-CE:3
顶空/气相色谱-质谱法测定食品中环氧乙烷及其代谢物 2-氯乙醇残留量 ^[11]	芝麻、洋葱粉、辣椒粉、胡椒粉	0.20	0.50
GC-MS/MS 法检测食品中环氧乙烷的代谢物 2-氯乙醇 ^[13]	白芝麻、芝麻酱、黑胡椒	0.50	1.50
乳及乳制品中环氧乙烷及 2-氯乙醇的检测 ^[12]	液态乳(牛乳)、婴幼儿配方乳粉及冰淇淋	EO:0.12~0.60 2-CE:0.60~3	EO:0.40~2 2-CE:2~10
同位素稀释气相色谱-质谱法测定意面酱中的环氧乙烷和 2-氯乙醇的含量(本实验方法)	意面酱	0.02	0.05

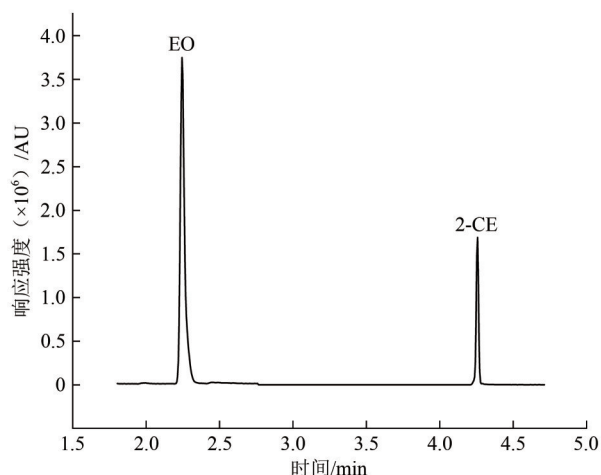


图3 环氧乙烷与2-氯乙醇的总离子流图

Figure 3 Total ion chromatogram of ethylene oxide and 2-chloroethanol

3 总结

本研究针对EO高挥发性及复杂基质干扰等关键问题,构建了基于低温QuEChERS-同位素稀释GC-MS/MS的联用检测方法。该方法采用全流程温控,在-20℃冰箱内进行操作,有效解决前处理过程中EO挥发性损失的问题。本方法在26例来自多国的意面酱中检出美国样品2-CE超标9.06倍(0.45 mg/kg),检出率为4%。由此提示进口食品尤其是意面酱中EO的安全问题需要持续关注。

参考文献

- [1] 徐燕,孙巍,吴晓松.环氧乙烷灭菌技术应用与发展[J].中国消毒学杂志,2013,30(2):146-151.
XU Y, SUN W, WU X S. Application and development of ethylene oxide sterilization technology [J]. Chinese Journal of Disinfection, 2013, 30(2): 146-151.
- [2] 兰海,乔艳,李志刚.纸塑包装减少环氧乙烷残留评价分析[J].湖南中医药大学学报,2013,33(12):8-9.
LAN H, QIAO Y, LI Z G. Evaluation and analysis of reduced ethylene oxide residue in paper-plastic packaging[J]. Journal of Hunan University of Chinese Medicine, 2013 33(12): 8-9.
- [3] 薄亚莉,王卉.环氧乙烷健康危害研究现状[J].职业与健康,2019,35(15):2157-2160.
BO Y L, WANG H. Research status on health hazards of ethylene oxide[J]. Occupation and Health, 2019, 35(15): 2157-2160.
- [4] 刘柏东,贺伟罡,陈敏.医疗器械中环氧乙烷灭菌残留物的来源分析[J].中国医疗器械杂志,2020,44(5):443-447.
LIU B D, HE W G, CHEN M. Source analysis of ethylene oxide sterilization residues in medical devices[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2020, 44(5): 443-447.
- [5] EURL | Single Residue Methods | Analysis of ethylene oxide and 2-chloroethanol in oily seeds using QuOil and QuEChERS in combination with GC-MS/MS [EB/OL]. [2024-11-13]. https://eurl-pesticides.eu/docs/public/tmpl_article.asp?LabID=200&CntID=1164&Lang=EN.
- [6] Hearn L, Szafnauer R, Cole R, et al. Automated, cryogen-free headspace-trap with gas chromatography-mass spectrometry analysis of ethylene oxide and 2-chloroethanol as residual fumigants in foods[J]. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 2024, 59(3): 1-7.
- [7] 黄庆林,刘永胜,楼旭日,等.环氧乙烷对小麦矮腥黑穗病菌的杀灭效果[J].福建农林大学学报(自然科学版),2007(6):571-575.
HUANG Q L, LIU Y S, LOU X R, et al. Sterilization effect of ethylene oxide on *Tilletia controversa* Kühn causing dwarf bunt of wheat[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2007, (6): 571-575.
- [8] 张鹏,刘贺,刘玮琦,等.食品中环氧乙烷检测研究进展及分析建议[J].中国口岸科学技术,2022,4(1):14-20.
ZHANG P, LIU H, LIU W Q, et al. Research progress and analysis recommendations on ethylene oxide detection in food[J]. China Port Science and Technology, 2022, 4(1): 14-20.
- [9] 吕波,姜真真,杜坤宇,等.顶空气相色谱法测定辛基酚聚氧乙烯醚40中的4种挥发性杂质[J].中国医药工业杂志,2025,56(4):541-546.
LYU B, JIANG Z Z, DU K Y, et al. Determination of four volatile impurities in octylphenol polyoxyethylene ether-40 by headspace gas chromatography[J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Industry, 2025, 56(4): 541-546.
- [10] 肖桂英,池连学,王丹,等.SPME-气相色谱串联质谱法检测食品中的环氧乙烷及其代谢物2-氯乙醇[J].分析仪器,2024,25(4):31-35.
XIAO G Y, CHI L X, WANG D, et al. Determination of ethylene oxide and its metabolite 2-chloroethanol in food by SPME-gas chromatography tandem mass spectrometry [J]. Analytical Instrumentation, 2024, 25(4): 31-35.
- [11] 江丰,吴婉琴,黎星,等.顶空/气相色谱-质谱法测定食品中环氧乙烷及其代谢物2-氯乙醇残留量[J].食品科技,2021,46(7):295-300.
JIANG F, WU W Q, LI X, et al. Determination of ethylene oxide and its metabolite 2-chloroethanol residues in food by headspace/gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Science and Technology, 2021, 46(7): 295-300.
- [12] 周静,徐红斌,周泽琳,等.乳及乳制品中环氧乙烷及2-氯乙醇的检测[J].乳业科学与技术,2023,46(1):24-29.
ZHOU J, XU H B, ZHOU Z L, et al. Detection of ethylene oxide and 2-chloroethanol in milk and dairy products[J]. Dairy Science and Technology, 2023, 46(1): 24-29.
- [13] 樊亚光,赵世红,仵军红,等.Gc-ms/ms法检测食品中环氧乙烷的代谢物2-氯乙醇[J].食品安全导刊,2024(4):100-102,106.
FAN Y G, ZHAO S H, WU J H, et al. Determination of ethylene oxide metabolite 2-chloroethanol in food by GC-MS/MS[J]. Food Safety Guide, 2024(4): 100-102,106.
- [14] 刘若锦,刘宝煜,李挥,等.顶空-气相色谱法同时检测一次性使用无菌医疗器械产品中环氧乙烷和2-氯乙醇残留量的效果[J].医疗装备,2024,37(17):42-48,52.
LIU R J, LIU B Y, LI H, et al. Effectiveness of headspace gas chromatography for simultaneous determination of ethylene oxide

and 2-chloroethanol residues in disposable sterile medical devices [J]. Medical Equipment, 2024, 37(17):42-48,52.

[15] 尹戈, 范军, 黄涛宏. 顶空-气相色谱法测定医用口罩和防护服中环氧乙烷和2-氯乙醇[J]. 环境化学, 2020, 39(5): 1448-1450. YIN G, FAN J, HUANG T H. Determination of ethylene oxide and 2-chloroethanol in medical masks and protective clothing by headspace gas chromatography [J]. Environmental Chemistry, 2020, 39(5):1448-1450.

[16] 程磊, 郭文旭, 王丹丹, 等. 顶空气相色谱-电子捕获检测器法测定明胶空心胶囊中2-氯乙醇残留量[J]. 分析测试技术与仪器, 2023, 29(3): 299-303. CHENG L, GUO W X, WANG D D, et al. Determination of 2-chloroethanol residues in gelatin hollow capsules by headspace gas chromatography-electron capture detector method [J]. Analysis and Testing Technology and Instruments, 2023, 29 (3) : 299-303.

(上接第 512 页)

- 刘长青(河北省疾病预防控制中心)
- 刘成伟(江西省疾病预防控制中心)
- 刘兆平(国家食品安全风险评估中心)
- 刘守钦(济南市疾病预防控制中心)
- 刘烈刚(华中科技大学公共卫生学院)
- 刘爱东(国家食品安全风险评估中心)
- 孙长颢(哈尔滨医科大学)
- 李 宁(国家食品安全风险评估中心)
- 李 黎(中华预防医学会)
- 李凤琴(国家食品安全风险评估中心)
- 李业鹏(国家食品安全风险评估中心)
- 李国梁(陕西科技大学食品与生物工程学院)
- 李静娜(武汉市疾病预防控制中心)
- 杨 方(福州海关技术中心)
- 杨 钧(青海省卫生健康委员会卫生监督所)
- 杨大进(国家食品安全风险评估中心)
- 杨小蓉(四川省疾病预防控制中心)
- 杨杏芬(南方医科大学公共卫生学院)
- 肖 荣(首都医科大学公共卫生学院)
- 吴永宁(国家食品安全风险评估中心)
- 何更生(复旦大学公共卫生学院)
- 何来英(国家食品安全风险评估中心)
- 何洁仪(广州市疾病预防控制中心)
- 聂俊雄(常德市疾病预防控制中心)
- 贾旭东(国家食品安全风险评估中心)
- 徐 娇(国家食品安全风险评估中心)
- 徐海滨(国家食品安全风险评估中心)
- 高志贤(军事科学院军事医学研究院)
- 郭云昌(国家食品安全风险评估中心)
- 郭丽霞(国家食品安全风险评估中心)
- 唐振柱(广西壮族自治区疾病预防控制中心)
- 黄 薇(深圳市疾病预防控制中心)
- 黄锁义(右江民族医学院药学院)
- 常凤启(河北省疾病预防控制中心)
- 崔生辉(中国食品药品检定研究院)
- 章 宇(浙江大学生物工程与食品学院)
- 章荣华(浙江省疾病预防控制中心)
- 梁进军(湖南省疾病预防控制中心)
- 程树军(广州海关技术中心)
- 傅武胜(福建省疾病预防控制中心)
- 谢剑炜(军事科学院军事医学研究院)
- 赖卫华(南昌大学食品学院)
- 裴晓方(四川大学华西公共卫生学院)
- 廖兴广(河南省疾病预防控制中心)
- 熊丽蓓(上海市疾病预防控制中心)
- 樊永祥(国家食品安全风险评估中心)