

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240204003

气相色谱-质谱法测定食品中 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃

张瑾如, 王伟达, 张洁吟, 杨 睿, 卢灿鑫, 蔡 琳, 刘晓晗, 林长虹*

(深圳市计量质量检测研究院, 深圳 518131)

摘 要: **目的** 建立气相色谱-质谱法(gas chromatography mass spectrometry, GC-MS)测定食品中合成香料 3-乙酰基-2, 5-二甲基呋喃的方法。**方法** 样品用正己烷涡旋提取后过滤, 含油脂样品采用冷冻过滤技术去除油脂和其他杂质, 选用 TG-5MS 毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μ m), 载气流速 1 mL/min 进行分离后进质谱分析。**结果** 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃在 0.005~10.000 μ g/L 质量浓度范围内曲线线性良好, 相关系数为 0.9997; 在不同基质及不同加标浓度下, 加标回收率为 80.16%~103.76%, 相对标准偏差为 1.83%~7.87% ($n=6$); 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃在不同基质中的检出限均可达到 1 μ g/kg, 定量限均可达到 3 μ g/kg。**结论** 该方法简单、准确度高、灵敏度好, 可以用于食品中 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃含量的快速检测, 为合成香料的安全使用和监管提供技术手段。

关键词: 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃; 气相色谱-质谱法; 食品; 合成香料; 定性定量分析

Determination of 3-acetyl-2,5-dimethylfuran in food by gas chromatography-mass spectrometry

ZHANG Jin-Ru, WANG Wei-Da, ZHANG Jie-Yin, YANG Rui,
LU Can-Xin, CAI Lin, LIU Xiao-Han, LIN Chang-Hong*

(Shenzhen Academy of Metrology & Quality Inspection, Shenzhen 518131, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of 3-acetyl-2, 5-dimethylfuran in food by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). **Methods** Samples were extracted with n-hexane vortex and filtered, and the oil-containing samples were filtered by freeze filtration to remove the oil and other impurities. The 3-acetyl-2,5-dimethylfuran was well separated using the TG-5MS capillary chromatographic column (30 m×0.25 mm×0.25 μ m) with a carrier gas flow rate of 1 mL/min before mass spectrometry analysis. **Results** The linear curves of 3-acetyl-2,5-dimethylfuran was good in the mass concentration range of 0.005–10.000 μ g/L, and the correlation coefficient was 0.9997. The recoveries were 80.16%–103.76% and the relative standard deviations ($n=6$) were 1.83%–7.87% under different substrates and spiked concentrations. The limits of detection of 3-acetyl-2,5-dimethylfuran in different substrates were up to 1 μ g/kg, and the limits of quantitation were up to 3 μ g/kg. **Conclusion** The method is simple, accurate and sensitive, and can be used for the rapid detection of 3-acetyl-2,5-dimethylfuran content in food, providing technical means for the safe use and supervision of synthetic flavors.

*通信作者: 林长虹, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测及风险评估、食品化学。E-mail: 249562473@qq.com

*Corresponding author: LIN Chang-Hong, Master, Senior Engineer, Shenzhen Academy of Metrology & Quality Inspection, No.114, Minkang Road, Longhua District, Shenzhen 518131, China. E-mail: 249562473@qq.com

KEY WORDS: 3-acetyl-2,5-dimethylfuran; gas chromatography-mass spectrometry; food; synthesized flavor; qualitative and quantitative analysis

0 引言

加工食品是指运用工业制造的流程和化学配方来制造的食品(如焙烤食品、罐头食品等), 既方便又快捷, 能够更好地满足大众的口感需求, 因此已经成为当前最受欢迎的食物^[1]。然而, 与传统厨房产品相比, 制造加工食品需要添加适量的香料和香精以提升其品质^[2-3]。市场和消费者的双重需求, 为香精香料的发展提供了良好的机遇, 全球对香精香料的需求呈不断上升的趋势, 逐渐覆盖到各行各业, 其发展前景不可估量^[4-7]。我国制定的国家标准 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》明确了 2352 种可用的食品添加剂, 其中有 1870 种是香精香料, 占比高达 79.5%。其中, 人工合成的香料达到 1477 种, 占了可食用香精香料总数的 80.0%^[8-9]。在今后较长一段时间内, 香精香料还将会在食品及其他行业被较大规模地使用, 此类添加物质对人体是否有害也备受争议^[10-11]。随着近些年层出不穷的食品安全问题, 让香精香料的安全性也受到空前关注^[12-13]。为防止香精香料乱用滥用、掺杂掺假等现象的发生, 建立有效的检测手段、加强对香精香料的监督管理是十分必要的^[14-15]。

乙酰基-2,5-二甲基呋喃是我国 GB 2760—2014 中规定为暂时允许使用的合成香料, 其使用和用量没有明确的限制要求, 常用于配制果仁、樱桃和烟熏型香味的香精。2022 年 4 月 22 日, 日本厚生劳动省发布药生食基发 0422 第 2 号通知, 根据国立医药食品卫生研究所对 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃的毒性试验结果以及该研究所专家的意见, 因该物质可能存在遗传毒性致癌风险, 因此决定自 2022 年 12 月 31 日起将该物质从指定的 18 类香料物质列表中删除, 自 2023 年 1 月 1 日开始, 所有含有该添加剂的复合添加剂和食品都不能在生产、进口、加工、使用、储存或展示等各个环节中销售^[16]。美国联邦应急管理局也规定了食品中 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃的使用限量值: 软饮料 1.0 mg/kg; 冷饮 0.6 mg/kg; 糖果 1.5 mg/kg; 焙烤食品 2.0 mg/kg; 布丁类 1.5 mg/kg; 肉类、肉酱、汤类 1.0 mg/kg; 奶及奶制品 0.6 mg/kg^[17]。

作为存在安全风险的合成香料, 应该对 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃的使用和用量加以持续关注, 同时也应注意国外政策带来的贸易风险。目前食品中香精香料检测常用的前处理方法有萃取法、蒸馏法和溶剂辅助香气物质蒸发法等, 检测方法为气相色谱-串联质谱法、液相色谱-串联质谱法等^[18-21]。而我国目前并无食品中 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃检测的相关标准。鉴于此, 本研究建立了气相色谱-串联质谱法测定食品中 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃的方法, 为合

成香料的安全使用和监管提供技术手段。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

加工食品(深圳市某商店)。

正己烷(色谱纯, 德国默克公司); 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃标准品(纯度 99.80%, 德国 CNW 公司)。

1.2 仪器与设备

TRACE 1310-TSQ 9000 气相色谱-质谱仪(美国赛默飞世尔科技公司); Sartorius CPA225D 电子分析天平(精度 0.01 mg, 德国赛多利斯公司); CommaMix 多功能混匀仪(深圳逗点生物技术有限公司); H1850 湘仪高速离心机(湘仪离心机仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 固体试样前处理

糖果、焙烤食品、布丁类、肉类。

称取 1 g(精确至 0.01 g)试样于 50 mL 离心管内, 加入 10 mL 正己烷, 涡旋 5 min, 以 4000 r/min 离心 3~5 min。对于不含油脂试样(成分中不含奶、油、油脂, 具体成分见配料表), 取 100 μ L 定容至 2 mL, 过 0.22 μ m 有机微孔滤膜供气相色谱-质谱仪测定。对于含油脂试样, 将上清液转移至离心管中, 置于-20℃冰箱冷冻 90 min 后, 取 100 μ L 定容至 2 mL, 过 0.22 μ m 有机微孔滤膜供气相色谱-质谱仪测定。

1.3.2 液体试样前处理

软饮料、冷饮、奶及奶制品。

称取 1 g(精确至 0.01 g)试样于 50 mL 离心管内, 加入 10 mL 正己烷, 涡旋 5 min, 加入 2 g 无水硫酸钠, 涡旋混合 1 min, 以 4000 r/min 离心 3~5 min。对于不含油脂试样(成分中不含奶、油、油脂, 具体成分见配料表), 取 100 μ L 定容至 2 mL, 过 0.22 μ m 有机微孔滤膜供气相色谱-质谱仪测定。对于含油脂试样, 将上清液转移至离心管中, 置于-20℃冰箱冷冻 90 min 后, 取 100 μ L 定容至 2 mL, 过 0.22 μ m 有机微孔滤膜供气相色谱-质谱仪测定。

1.3.3 气相色谱条件

进样口温度设定为 220 ℃; 载气使用高纯氦气; 流速为 1 mL/min; 不分流进样; 毛细管色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μ m), 柱温度程序设定为初始温度 50℃, 保持 1 min, 20℃/min 升温至 200℃保持 8 min, 25℃/min 升温至 240℃保持 2 min。

1.3.4 质谱条件

电子轰击离子源; 电离能量 70 eV; 离子源温度 300℃;

四极杆温度 280℃; 传输线温度 280℃; 碰撞气为氩气; 扫描模式为选择反应检测扫描(selective reaction monitoring, SRM)模式。采集条件如下: 定量离子对 123.0/43.0, 碰撞能量 15 eV, 定性离子对 138.1/123.1, 碰撞能量 5 eV。

1.4 数据处理

实验数据采用仪器配套的变色龙软件及内置的 NIST 数据库对物质进行定性、定量分析, 采用面积归一化法定量; 数据图表使用 Origin 8 绘图软件进行绘制。

2 结果与分析

2.1 提取方式的选择

大部分的食品组成包括水分、脂质化合物、芳香族物质及有机酸等多种元素, 它们之间的相互作用会产生吸附效应^[22-23]。3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃微溶于水, 但可以溶于乙醇、丙二醇和其他一些非挥发性的油^[24-25]。因此, 采用有机溶剂提取食品中的 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃, 并利用涡旋振荡技术以提升效果并减少所需时间。

2.2 提取溶剂的选择

提取溶剂是提取过程中起到重要作用的物质, 本研究选取色谱方法中常用的甲醇、乙腈、正己烷和正庚烷 4 种溶剂来进行预处理步骤, 并依据其回收率的结果对提取效果进行评估。从图 1 的数据可以看出, 4 种溶剂中甲醇与乙腈的提取性能较差, 它们的回收率范围为 30%~60%; 正己烷和正庚烷具有良好的提取能力, 且回收率基本超过了 90%。相比较而言, 正己烷提取效率更高, 且正己烷沸、闪点比正庚烷要低, 同等温度下更容易气化和燃烧, 因此本研究选取正己烷作为提取溶剂。

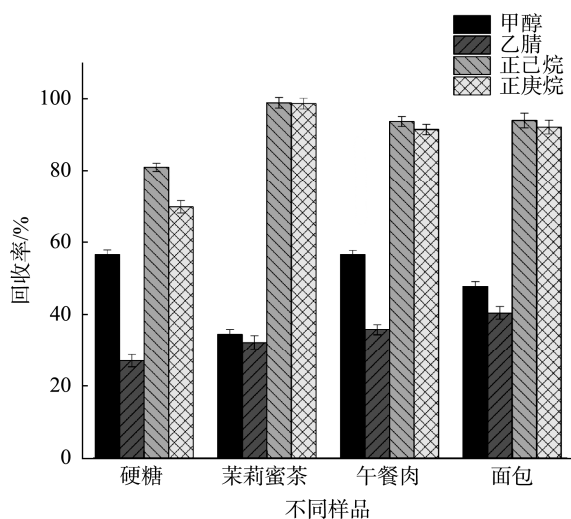


图1 不同提取溶剂中3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃的回收率
Fig.1 Recoveries of 3-acetyl-2,5-dimethylfuran in different extraction solvents

然而, 针对含有油脂的样本而言, 其在提取过程中会导致油脂融入到正己烷与正庚烷之中, 对色谱分析产生影响, 从而削弱仪器的敏感度并增加设备的污染风险, 同时还会缩短色谱柱的使用期限^[8]。冷冻过滤是一种常用的低成本、易操作的除脂方法, 为了确保提取出的成分具有高质量和高纯度, 本研究采用了该技术来去除提取阶段产生的油脂和其他杂质^[26-28]。

2.3 提取时间的考察

选取不同形态的基质代表进行实验, 考察提取时间对方法回收率的影响。称取适量的面包、糖、茉莉蜜茶和午餐肉罐头 4 种阴性基质, 分别在其中添加 5 $\mu\text{g/kg}$ 的 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃标准溶液, 采用正己烷作为提取溶剂按 1.3 所述前处理方法进行实验, 涡旋振荡时间分别采取 5、10、15 和 20 min, 根据回收率结果比较提取效果, 选择最合适的涡旋振荡时间, 结果见图 2。从图 2 可以看出, 不同涡旋振荡时间下的回收率有轻微差异, 但总体上都在 85%~95%之间, 没有明显的波动。考虑到时间消耗和检测效率, 本研究选择将涡旋振荡萃取的时间为 5 min。

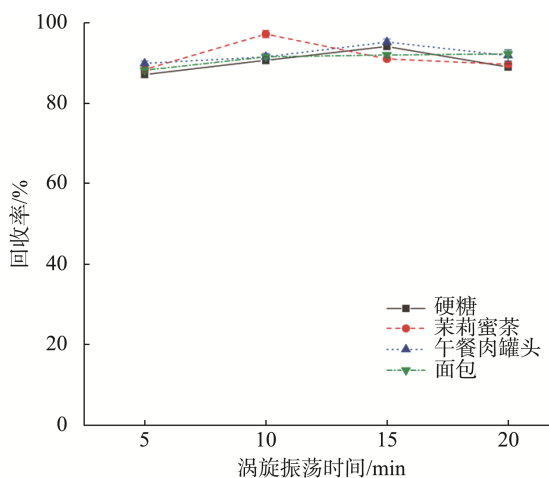
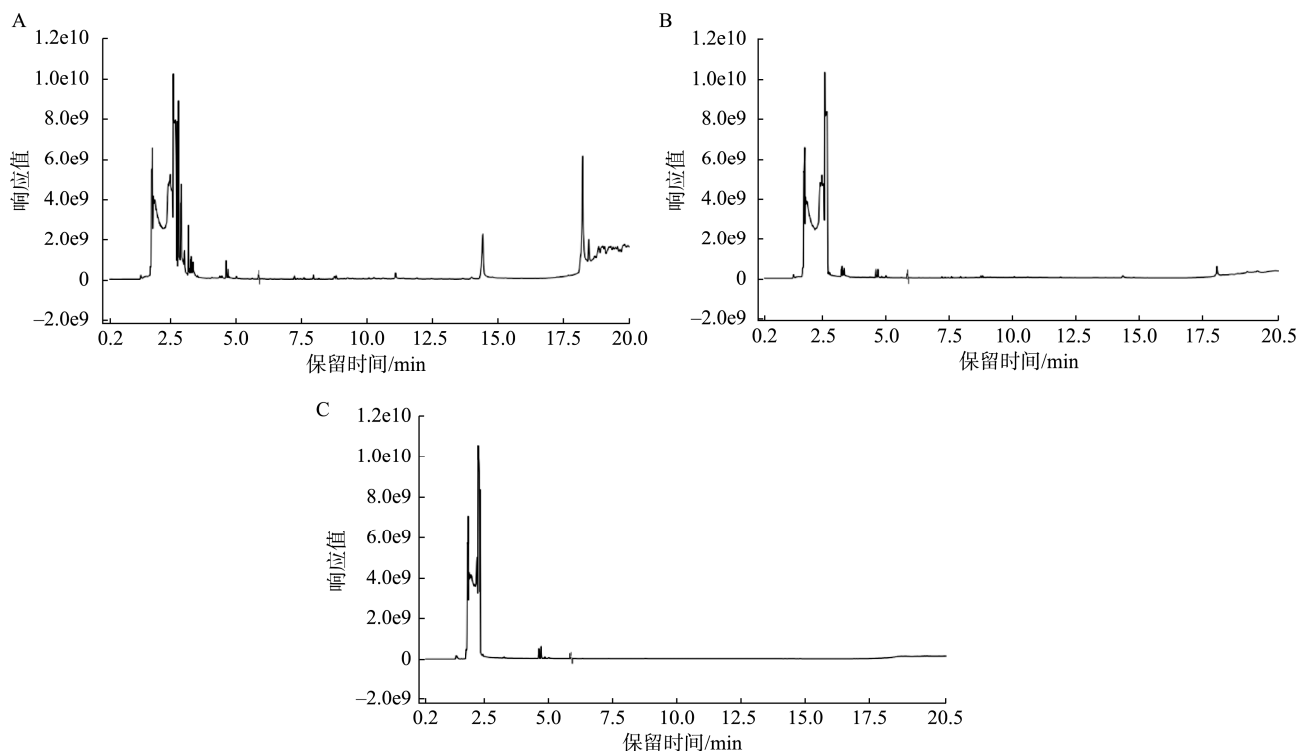


图2 不同振荡时间下3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃回收率
Fig.2 Recoveries of 3-acetyl-2,5-dimethylfuran with different oscillating time

2.4 色谱条件的选择

本研究改变进样口温度和程序升温等条件, 考察 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃峰型的情况, 确保色谱峰尖锐不拖尾。研究发现, 进样口温度低于 200℃时, 样品中目标分析物会汽化不完全, 导致待测物残留; 进样口温度高于 280℃时, 程序升温至 200℃基线会出现漂移。因此, 在保证液态待测物能够汽化, 而且不会发生高温分解的前提下, 选择峰型最佳的 220℃为最佳进样口温度, 优化后色谱条件见 1.3.1。以进样 20230223 为例, 进样口温度为 200、220、280℃的全扫描色谱图见图 3。



注: A: 进样口温度为280℃的色谱图; B: 进样口温度为220℃的色谱图; C: 进样口温度为200℃的色谱图。

图3 不同进样口温度下某样品的全扫描色谱图

Fig.3 Full scan chromatogram of a sample at different inlet temperatures

2.5 质谱条件的选择

按照仪器条件对 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃标准品进行全扫描, 并结合该物质在 NIST 谱库中的质谱图可以确定, 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃的碎片离子有 m/z 43、81、123、138, NIST 谱库中 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃的质谱图见图 4。通过全自动离子对优化软件优化离子对, 选择背景较低、相对丰度较高的离子作为定量离子和定性离子,

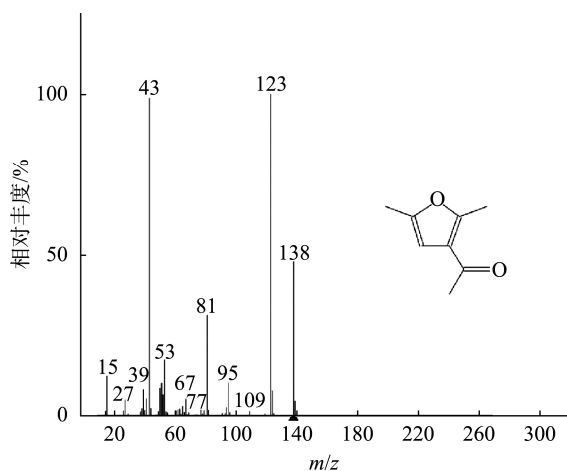


图4 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃标准品的质谱图

Fig.4 Mass spectrum of 3-acetyl-2,5-dimethylfuran standard

可以降低方法的检出限^[29-30]。最终选择 m/z 138.1→123.1 作为方法的定性离子, m/z 123.0→43.0 为方法的定量离子。

2.6 方法学考察

2.6.1 标准曲线

用正己烷制备 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃标准系列工作液, 选取 11 个浓度水平的 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃标准溶液, 分别为 0.005、0.010、0.020、0.050、0.100、0.200、0.500、1.000、2.000、5.000、10.000 $\mu\text{g/L}$, 按照 1.3.4 仪器条件进行气相色谱-质谱法分析, 测定方法的线性范围。标准曲线的横坐标为 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃溶液的 11 个浓度水平, 纵坐标为相对应的峰面积。标准曲线的线性方程为 $Y=4216.3132X+81.1532$, 相关系数(r^2)为 0.9997。因此, 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃在 0.005~10.000 $\mu\text{g/L}$ 的范围内线性关系良好, 满足实际样品检测的灵敏度需求。

2.6.2 检出限与定量限

选取不同类别的基质代表进行实验, 确定方法在不同基质中的检出限和定量限。称取适量的面包、糖、茉莉蜜茶、牛奶、午餐肉罐头和果冻 6 种阴性基质, 分别加入 1 $\mu\text{g/kg}$ 的 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃标准溶液, 按步骤 1.3 和 1.4 进行气相色谱-质谱的测定。根据 3 倍信噪比计算得出 6 种基质的检出限均为 1 $\mu\text{g/kg}$, 10 倍信噪比计算得出定量限均为 3 $\mu\text{g/kg}$ 。美国联邦应急管理署规定食品中 3-乙酰

基-2,5-二甲基呋喃的使用限量值最低为 0.6 mg/kg, 该方法满足出入境的检测需求。

2.6.3 精密度与准确性

选取不同类别的基质代表进行加标回收实验, 确定方法的回收率和精密度。称取适量的面包、糖、茉莉蜜茶、牛奶、午餐肉罐头和果冻 6 种阴性基质, 每种基质添加 3 个浓度水平(0.2、0.6 和 1.0 mg/kg), 每个浓度水平做 6 个平行, 按照步骤 1.3 进行测定。结果如表 1 所示, 3-乙酰基-2, 5-二甲基呋喃在不同基质中的加标回收率介于 80.16%~103.76%之间, 相对标准偏差范围在 1.83%~7.87%之间, 表明本方法具有较高的精确度和良好的重复性, 满足国家标准 GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》的要求。

表 1 3-乙酰基-2, 5-二甲基呋喃在不同基质中的回收率和精密度
Table 1 Recoveries and precisions of 3-acetyl-2,5-dimethylfuran in different matrices

样品名称	添加水平/(mg/kg)	平均回收率/%	相对标准偏差/%
面包	0.2	85.34	4.80
	0.6	80.79	5.59
	1.0	92.71	5.36
糖	0.2	82.11	4.05
	0.6	94.73	2.45
	1.0	94.66	4.53
茉莉蜜茶	0.2	92.91	7.71
	0.6	89.85	2.35
	1.0	96.58	4.42
牛奶	0.2	100.05	5.33
	0.6	93.27	2.11
	1.0	97.20	2.95
午餐肉罐头	0.2	103.76	7.87
	0.6	98.64	2.98
	1.0	100.02	1.83
果冻	0.2	89.62	4.91
	0.6	80.16	3.43
	1.0	89.30	6.31

2.7 实际样品的检测

采用建立的气相色谱-串联质谱方法对 5 类食品(糖果、软饮料、奶及奶制品、冷饮、焙烤食品)共计 26 批次样品开展 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃的检测, 结果未检出。由于检测的样品种类和数量有限, 未能说明 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃在食品中的添加使用情况。3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃的国内供应商达上百家, 占据全球供应商的 50%以上, 该合成香料的生产、加工和销售在国内占据了更高的比例, 针对日本和美国等国家和地区的禁用和限制使用情

况, 需要采取必要的贸易措施, 并对国内的使用情况及其风险予以关注。

3 结 论

本研究建立了一种检测食品中 3-乙酰基-2, 5-二甲基呋喃的简便高效、高灵敏度的气相色谱-质谱方法。本方法操作简单快速、精密度高、准确性好、灵敏度高, 检出限为 1 μg/kg, 定量限 3 μg/kg。本项工作可以为食品中风险性合成香料 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃的检测和风险控制提供有效的技术支持, 提前做好风险预判, 避免贸易纠纷。

参考文献

- [1] 陈清平, 沈俊毅. 加工食品中反式脂肪酸研究进展[J]. 现代食品, 2023, 29(17): 13–20.
CHEN QP, SHEN JY. Research progress of trans fatty acids in processed foods [J]. Mod Food, 2023, 29(17): 13–20.
- [2] 李海玲, 康冬梅, 韩佳佳, 等. 食品香料香精对食品安全影响分析[J]. 食品界, 2022, (12): 118–120.
LI HL, KANG DM, HAN JJ, *et al.* Analysis of food spice fragrance on food safety [J]. Food Ind, 2022, (12): 118–120.
- [3] 穆旻, 刘华, 梁彦会, 等. 我国食品用香料香精管理现状、问题与对策[J]. 食品科学技术学报, 2022, 40(5): 36–42.
MU W, LIU H, LIANG YH, *et al.* Status, challenges and countermeasures of supervision on food flavorings in China [J]. J Food Sci Technol, 2022, 40(5): 36–42.
- [4] 孙宝国, 田红玉, 刘玉平, 等. 食品香精香料对食品安全的影响[J]. 现代科学仪器, 2006, (1): 49–51.
SUN BG, TIAN HY, LIU YP, *et al.* Effects of flavorings on food safety [J]. Mod Sci Instrum, 2006, (1): 49–51.
- [5] 程雷, 孙宝国, 宋焕禄, 等. 食用香精香料的安全性评价现状及发展趋势[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 409–412.
CHENG L, SUN BG, SONG HL, *et al.* Current research and trend of safety evaluation of food flavorings [J]. Food Sci, 2010, 31(21): 409–412.
- [6] 宋关梁, 程少峰, 赵前程, 等. 烟熏香料在水产品加工中的研究与应用[J/OL]. 食品工业科技: 1–11. [2024-05-31]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024010281>
SONG GL, CHENG SF, ZHAO QC, *et al.* Research and application of smoke flavorings in aquatic products processing [J/OL]. Sci Technol Food Ind: 1–11. [2024-05-31]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024010281>
- [7] 胡思怡. 特殊医学用途配方食品中多种人工香料的检测研究[D]. 杭州: 浙江海洋大学, 2019.
HU SY. Study on the determination of artificial flavors in formula food for special medical use [D]. Hangzhou: Zhejiang Ocean University, 2019.
- [8] 魏本华, 赖艳, 张琪, 等. 对我国食用香精香料规范使用的几点思考[J]. 食品安全导刊, 2017, (7): 75–77.
WEI BH, LAI Y, ZHANG Q, *et al.* Thinking about the use of the norms of edible flavors of flavors in my country [J]. China Food Saf Magaz, 2017, (7): 75–77.
- [9] 张俭波. 食品用香料香精的主要食品安全国家标准及修订进展[J]. 香料香精化妆品, 2023, (6): 49–50.
ZHANG LB. Main national food safety standards and revision progress of essence for food [J]. Flavour Fragr Cosmet, 2023, (6): 49–50.
- [10] 冯涛, 柳倩, 叶蓓, 等. 欧美食品用香料香精监管及安全评价体系研究[J]. 食品科学技术学报, 2022, 40(5): 28–35.
FENG T, LIU Q, YE R, *et al.* Study on supervision and safety assessment

- system of food flavorings in EU and USA [J]. *J Food Sci Technol*, 2022, 40(5): 28–35.
- [11] 黄学泓, 林文, 林晓涵, 等. 国产化妆品中 24 种致敏原香料含量调查[J]. *香料香精化妆品*, 2021, (5): 40–50.
- HUAGN XH, LIN A, LIN XH, *et al.* Investigation on the contents of 24 kinds of allergenic perfumes in domestic cosmetics [J]. *Flavour Fragr Cosmet*, 2021, (5): 40–50.
- [12] 田红玉, 陈海涛, 孙宝国, 等. 食品香料香精发展趋势[J]. *食品科学技术学报*, 2018, 36(2): 1–11.
- TIAN HY, CHEN HT, SUN BG, *et al.* Advances and trends in study on flavors and flavorings [J]. *J Food Sci Technol*, 2018, 36(2): 1–11.
- [13] JOHN C. Biotechnology: Conquests and challenges in flavors & fragrances [J]. *Leffingwell Reports*, 2015, 7(2): 1–11.
- [14] GAN SL, ZHANG M, ARUN SM, *et al.* Advances in processing, encapsulation, and analysis of food flavor compounds [J]. *J Food Process Eng*, 2023, 46: e14406.
- [15] SAIFULLAH M, SHISHIR MRI, FERDOWSI R, *et al.* Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2019, 86: 230–251.
- [16] 中华人民共和国商务部. 日本将禁用香精“3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃”[EB/OL]. [2022-04-25]. <http://chinawto.mofcom.gov.cn/article/jsbl/zcfg/202204/20220403307427.shtml> [2024-04-02]. Ministry of Commerce of the People's Republic of China. Japan to ban flavor “3-acetyl-2,5-dimethylfuran” [EB/OL]. [2022-04-25]. <http://chinawto.mofcom.gov.cn/article/jsbl/zcfg/202204/20220403307427.shtml> [2024-04-02].
- [17] SMITH RL, FORD RA. Recent progress in the consideration in of flavoring ingredients under the food additives amendment III. *gras substances* [J]. *Food Technol*, 1965, 19(2): 151–197.
- [18] 段联勃, 符海霞, 雷华美, 等. 超高效液相色谱串联质谱法检测蜜桃香型调味茶中 4 种常用香料[J]. *中国茶艺*, 2022, 44(6): 47–51.
- DUAN LB, FU HX, LEI HM, *et al.* Determination of four common spices in peach flavored tea by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *China Tea*, 2022, 44(6): 47–51.
- [19] 叶琳洋. 气-液微萃取技术结合 GC-MS 分析几种休闲食品中常用香精香料成分[D]. 长春: 长春大学, 2020.
- YE LY. Gas-liquid microextraction technology combined with GC-MS analysis of flavor and fragrance ingredients commonly used in several snack foods [D]. Changchun: Changchun University, 2020.
- [20] 冷月, 胡芸, 张进. 基于代谢组学方法的混合香料差异性物质鉴定与品质分析[J]. *分析测试学报*, 2024, 43(2): 226–235.
- LENG Y, HU Y, ZHANG J. Identification of differential components and quality analysis of blended flavors and fragrances based on metabolomics methods [J]. *J Instrum Anal*, 2024, 43(2): 226–235.
- [21] 陈玉珍, 梁志森, 曾广丰. 气相色谱-四极杆/飞行时间质谱法同时测定茶叶中 10 种香料化合物[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(23): 9043–9049.
- CHEN YZ, LIANG ZS, ZENG GF. Simultaneous determination of 10 aromatic compounds in tea by gas chromatography-quadrupole/time-of-flight mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(23): 9043–9049.
- [22] 陈玉珍, 梁志森, 曾广丰, 等. 气相色谱-四极杆/飞行时间质谱法同时测定茶叶中 10 种香料化合物[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(23): 9043–9049.
- CEHN YZ, LIANG ZS, ZENG GF, *et al.* Simultaneous determination of 10 kinds of fragrance compounds in tea by gas chromatography-high resolution quadrupole time-of-flight mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(23): 9043–9049.
- [23] 陈克云, 张红霞, 王艳丽, 等. 气相色谱-质谱法测定食品中的 3-乙酰基-2,5-二甲基呋喃[J]. *中国食品添加剂*, 2020, 31(5): 101–106.
- CHEN KY, ZHANG HX, WANG YL, *et al.* Determination of 3-acetyl-2,5-dimethyl thiophene in food by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *China Food Addit*, 2020, 31(5): 101–106.
- [24] 胡爱军, 郑捷. 食品工业中的超声提取技术[J]. *食品与机械*, 2004, 20(4): 57–60.
- HU AIJ, ZHENG J. Ultrasound assisted extraction technique in food industry [J]. *Food Mach*, 2004, 20(4): 57–60.
- [25] 鲁莉, 密叶, 赵莉, 等. 气相色谱-串联质谱法测定水产品中 7 种多溴联苯醚[J]. *预防医学论坛*, 2022, 28(3): 184–187.
- LU Y, MI Y, ZHAO L, *et al.* Determination on 7 polybrominated diphenyl ethers in aquatic products by gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Prev Med Trib*, 2022, 28(3): 184–187.
- [26] 潘晓玉, 王宗义, 赵逸涵, 等. 冷冻脱脂-分散固相萃取/气相色谱-串联质谱法检测食用植物油中 4 种多环芳烃[J]. *分析试验室*, 2022, 41(4): 419–423.
- PAN XY, WANG ZY, ZHAO YH, *et al.* Determination of 4 kinds of PAHs in edible plant oil by gas chromatography-tandem mass spectrometry with frozen defatting-dispersive solid-phase extraction [J]. *Chin J Anal Lab*, 2022, 41(4): 419–423.
- [27] 张艳萍, 张敏, 周宗洲. 气相色谱-质谱联用法同时测定化妆品中 38 种致敏香料的含量[J]. *香料香精化妆品*, 2023, (6): 122–128.
- ZHANG YP, ZHANG M, ZHOU ZZ. Simultaneous determination of 38 allergenic fragrances in cosmetics by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Flavour Fragr Cosmet*, 2023, (6): 122–128.
- [28] 潘晓玉, 赵逸涵, 王宗义. 冷冻脱脂 HPLC 测定食用植物油中 4 种多环芳烃[J]. *北京农学院学报*, 2022, 37(2): 113–116.
- PAN XY, ZHAO Y, WANG ZY. Determination of four polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oil by HPLC with frozen degreasing [J]. *J Beijing Univ Agric*, 2022, 37(2): 113–116.
- [29] 李晓娟, 彭涛, 贾然, 等. 气相色谱-质谱法测定食品基质中四聚乙醛残留量[J]. *食品科学*, 2011, 32(16): 224–228.
- LI XJ, PENG T, JIA R, *et al.* Determination of metaldehyde residue in foodstuffs by GC-MS [J]. *Food Sci*, 2011, 32(16): 224–228.
- [30] 骆灿, 龚丽婷, 郑刚. 气相色谱串联三重四极杆质谱法测定果蔬中四聚乙醛残留量[J]. *食品安全导刊*, 2022, (36): 40–42.
- LUO C, GONG LT, ZHENG G. Determination of metaldehyde residue in fruits and vegetables by gas chromatography tandem triple quadrupole mass spectrometry [J]. *China Food Saf Magaz*, 2022, (36): 40–42.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

作者简介

张瑾如, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向为食品质量安全与分析。
E-mail: 455024409@qq.com

林长虹, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测及风险评估、食品化学。
E-mail: 249562473@qq.com