DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20251230005
引用格式: 郭佳乐, 韩家乐, 金莉莉, 等. 气相色谱-三重四极杆串联质谱法测定食品接触用植物纤维/聚丙烯材料中的两种紫外线吸收剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(14): 152–159.
Guo Jiale, Han Jiale, Jin Lili, et al. Determination of 2 kinds of ultraviolet absorbers in plant fiber/polypropylene materials for food contact by gas chromatography-tandem quadrupole mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(14): 152–159. (in Chinese with English abstract).

气相色谱-三重四极杆串联质谱法测定食品接触用植物纤维/聚丙烯材料中的两种紫外线吸收剂

郭佳乐[1], 韩家乐[1], 金莉莉[2], 邹 凯[2], 孙仁悦[2], 刘桂华[3], 罗世鹏[1,2*]

(1. 江苏理工学院化学化工学院, 常州 213001; 2. 常州工业及消费品检验有限公司, 常州 213000; 3. 南京海关危险货物与包装检测中心, 常州 213000)

摘 要: 目的 建立新型食品接触材料中两种紫外线吸收剂的残留量检测方法。**方法** 将样品冷冻粉碎后, 以二氯甲烷为提取溶剂, 在室温下超声提取 60 min, 重复提取 2 次后采用气相色谱-三重四极杆串联质谱法进样分析, 通过设置程序升温条件, 在多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式下进行检测, 采用内标法定量。**结果** 两种紫外线吸收剂 2-(2'-羟基-5'-甲基苯基)苯并三氮唑(drometrizole, UV-P)和 2-(2'-羟基-3'-叔丁基-5'-甲基苯基)-5-氯苯并三唑(bumetrizole, UV-326)呈现出良好的线性关系(r^2 大于 0.99), 检出限低至 0.03 mg/kg。添加回收率实验表明, 回收率在 89.2%~102.1%之间, 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)在 1.9%~5.6%之间。**结论** 本方法检出限低, 准确度较高, 能够满足植物纤维/聚丙烯材料中 UV-P 及 UV-326 残留量的检测要求, 为生物降解植物纤维/聚丙烯材料在食品包装上的使用风险控制提供技术支撑; 残留量结果表明, 植物纤维/聚丙烯材料中两种紫外线吸收剂的检出率较高, 需进一步关注其迁移风险。

关键词: 植物纤维/聚丙烯; 气相色谱-三重四极杆串联质谱法; 2-(2'-羟基-5'-甲基苯基)苯并三氮唑; 2-(2'-羟基-3'-叔丁基-5'-甲基苯基)-5-氯苯并三唑; 残留量
中图分类号: TS206.4 **文献识别码:** A **文章编号:** 2095–0381(2026)14–0152–08

Determination of 2 kinds of ultraviolet absorbers in plant fiber/polypropylene materials for food contact by gas chromatography-tandem quadrupole mass spectrometry

GUO Jia-Le[1], HAN Jia-Le[1], JIN Li-Li[2], ZOU Kai[2], SUN Ren-Yue[2], LIU Gui-Hua[3], LUO Shi-Peng[1,2*]

(1. *School of Chemistry and Chemical Engineering*, *Jiangsu University of Technology*, *Changzhou* 213001, *China*; 2. *Changzhou Industrial and Consumable Products Inspection Co., Ltd.*, *Changzhou* 213000, *China*; 3. *Nanjing Customs District Testing Center for Dangerous Goods and Packaging*, *Changzhou* 213000, *China*)

收稿日期: 2025-12-30
基金项目: 海关总署科研项目(2023HK118); 乳业科技创新基金项目(CDIAKCJJ-MN-2025-008)
第一作者: 郭佳乐(2002—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为食品接触材料中风险物质检测。E-mail: 1540149406@qq.com
***通信作者:** 罗世鹏(1986—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为非靶向高通量筛查技术研究、有机合成。E-mail: spluo@jsut.edu.cn

ABSTRACT: Objective　To establish a method for determination of the residual levels of 2 kinds of ultraviolet absorbers in new food contact materials. **Methods**　The sample was firsty frozen and crushed, and then extracted under ultrasonic extraction at room temperature for 60 min, by using dichloromethane as the extraction solvent. After being extracted twice repeatedly, the sample was analyzed with gas chromatography-tandem quadrupole mass spectrometry. By setting the programmed heating conditions, the analysis was carried out in multiple reaction monitoring (MRM) mode, and quantified by using internal standard method. **Results**　The working curves of these 2 kinds of ultraviolet absorbers drometrizole (UV-P) and bumetrizole (UV-326) showed a good linear relationship (r^2 greater than 0.99), with a limit of detection as low as 0.03 mg/kg. The recovery rate addition experiment showed that the recovery rates ranged from 89.2% to 102.1%, with relative standard deviations (RSDs) between 1.9% and 5.6%. **Conclusion**　This method shows a low limit of detection and high accuracy, which can meet the detection requirements for UV-P and UV-326 residues in plant fibers/polypropylene materials. This method can provide technical support for the risk control of food packaging which is composed of biodegradable plant fiber/polypropylene materials. The residual results indicate that the detection rates of these 2 kinds of ultraviolet absorbers in plant fiber/polypropylene materials are relatively high, and further attention should be paid to their migration risks.

KEY WORDS: plant fiber/polypropylene; gas chromatography-tandem quadrupole mass spectrometry; drometrizole; bumetrizole; residual levels

0　引　言

随着全球环保要求的日趋严格, 塑料食品接触材料难以降解的缺点, 对生态、环境及消费者健康所带来的潜在风险越来越受到大家的重视[1–2]。各国“禁塑令”政策不断收紧, 各类新型可降解食品接触材料不断推陈出新[3–4], 除了传统的聚乳酸、聚丁二酸丁二醇酯等可生物降解食品接触材料[5–6]外, 植物纤维/塑料因其植物纤维材料来源丰富、成本低廉且环境友好等多项优点, 逐渐成为食品接触材料的重点发展领域。为了获得优异的加工及产品性能, 这些新型植物纤维/塑料的生产加工过程中往往会加入一些新型加工助剂, 如表面活性剂、紫外线吸收剂、耐水剂、黏合剂等。与食品接触的过程中, 它们可能会给食品带来与传统单一塑料不同的潜在安全风险[7–10]。

植物纤维/聚丙烯塑料(plant fiber/polypropylene plastics, PF/PP)是一种由竹纤维、秸秆纤维、木纤维等天然 PF 与 PP 基体复合而成的可生物降解环保材料[11–15]。这类新材料在食品接触材料领域使用逐渐增多。欧盟食品和饲料快速预警系统每年对 PF/塑料类产品进行了相关通报, 我国对于这类新型食品接触材料的管控尚不够成熟, 大多数 PF/PP 食品接触材料也属于未授权使用状态[8]。因此, 建立这些新型 PF/PP 中潜在风险物质的检测方法, 可为考察它们的使用安全风险及后续优化产品工艺及可降解食品接触材料行业发展提供技术支撑[16–17]。

紫外线吸收剂是广泛用于塑料食品接触材料中的一种助剂[18], 能够有效减缓 PF/PP 塑料在光线条件下的老化速度。2-(2’-羟基-5’-甲基苯基)苯并三氮唑(drometrizole, UV-P)和 2-(2’-羟基-3’-叔丁基-5’-甲基苯基)-5-氯苯并三唑(bumetrizole, UV-326)是工业上使用极为广泛的两种紫外线吸收剂(图 1), 由于需求量大, 近年来在多种环境介质中被检出。研究表明, 它们是一类新型的内分泌干扰效应的环境污染物, 且它们亲脂性高, 具有较强的生物富集特性[18–19]。欧盟食品接触塑料法规(EU) No 10/2011 以及我国现行 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》对紫外线吸收剂 UV-P、UV-326 及 2-(2’-羟基-3’,5’-二叔丁基苯基)-5-氯苯并三唑[2-(2’-hydroxy-3’,5’-di-*tert*-butylphenyl)-5-chlorobenzotriazole, UV-327]进行了迁移总限量 30 mg/kg 的规定; 因此, 对新型 PF/PP 中苯并三氮唑类紫外线吸收剂 UV-P 及 UV-326 的检测监控具有重要意义。

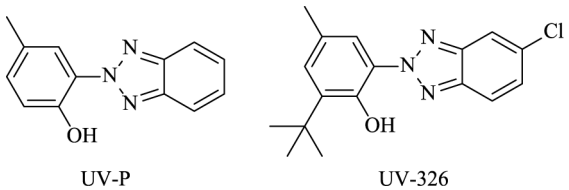


图 1　UV-P 和 UV-326 的结构式
Fig.1　Structural formula of UV-P and UV-326

对于苯并三氮唑类紫外线吸收剂的检测已有部分文献报道[20], 由于其兼具紫外吸收以及热稳定性好、沸点适中的特点, 因此既可以采用液相色谱法[21–23]、液相色谱-质谱法[24–26], 也可以采用气相色谱-质谱法[27–30]进行检测。如朱晓艳等[21]报道了采用高效液相色谱法测定食品模拟物中 14 种苯并噻唑类紫外线吸收剂迁移量, 检出限低至 8 μg/L,

回收率在 82.4%~108%之间; 勾新磊等[25]报道了采用超高效液相色谱-三重四极杆串联质谱法测定食品接触塑料中 3 种苯并三唑类紫外吸收剂的特定迁移量的方法, 其检出限在 0.6~4.0 μg/kg 之间, 回收率在 65.2%~87.2%之间。这些检测主要应用于传统的塑料制品或食品模拟物中的检测, 且都是采用外标法定量, 外标法针对简单基质具有良好的效果, 然而对于复杂基质中的目标物定量检测准确度容易受影响。此外, PF/PP 属于最近出现的新型材料, 与传统塑料的生产工艺不同, 其成分、溶胀性以及各类助剂的使用量也不同, 基质效应及前处理方法也和传统塑料有所不同。因此, 将气相色谱-三重四极杆串联质谱(gas chromatography-tandem quadrupole mass spectrometry, GC-MS/MS)法技术成功应用于 PF/PP 这一新型食品接触材料基质中苯并三氮唑类紫外线吸收剂的检测, 具有重要的应用价值。

鉴于此, 本研究拟利用 GC-MS/MS 建立食品接触用 PF/PP 塑料中 UV-P 以及 UV-326 的残留量检测方法, 并利用该方法应用于市场上的 PF/PP 塑料进行筛查检测, 从而为新型 PF/PP 类食品接触材料及制品的使用安全风险提供检测技术及数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

PF/PP 碗(PP 塑料+小麦秸秆, 淘宝采购), 黑、蓝、绿、白和灰色样品各 5 批。

UV-P (CAS: 2440-22-4, 纯度 99%)、UV-326 (CAS: 3896-11-5, 纯度 99%)、2-辛基-2H-苯并三唑(2-octyl-2H-benzotriazole, UV-O, CAS: 112642-69-0, 纯度 98%)(上海萨恩化学技术有限公司); 甲醇、乙醇、二氯甲烷、乙酸乙酯(色谱纯, 江苏强盛功能化学股份有限公司); 正己烷(分析纯, 坛墨质检科技股份有限公司)。

7890A-7000B 气相色谱-串联三重四极杆质谱仪、DB-5 MSUI 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)(美国安捷伦公司); XS205 DU 万分之一分析天平(瑞士梅特勒托利多公司); MM400 冷冻混合球磨仪(德国莱驰公司); SK2510HP 型超声仪(上海科导超声仪器有限公司); MC-5L276 冰箱(美的集团股份有限公司)。

1.2 标准溶液制备

分别准确称取 10.0~15.0 mg UV-P、UV-326 以及内标 UV-O, 使用二氯甲烷分别溶解定容至 3 个 10 mL 棕色容量瓶中, 摇匀即可分别配制出 1000~1500 mg/L 质量浓度的标准储备液, 置于 4 ℃冰箱中避光储存。然后根据 UV-P、UV-326 储备液的浓度, 计算并准确移取对应体积 UV-P 和 UV-326 的储备液于同一容量瓶中, 用二氯甲烷稀释定容至 UV-P 和 UV-326 质量浓度均为 50 mg/L 的混标中间液。同样的方式, 用内标 UV-O 储备液稀释成 100 mg/L 的内标中间液。随后将混标中间液用 10 mL 容量瓶进行稀释, 得到两组分均为 0.01~0.50 mg/L 的 7 个浓度梯度, 然后分别在每个浓度点中加入 50 μL 质量浓度为 100 mg/L 的内标中间液, 用二氯甲烷定容至刻度, 此为系列标准工作液。

1.3 前处理方法

将样品剪碎, 用球磨粉碎仪冷冻粉碎后, 精确地称取 0.50 g 样品于 20 mL 顶空瓶中, 加入 50 μL 的 100 mg/L 的内标 UV-O 中间液, 并加入 4.50 mL 二氯甲烷溶液, 封盖后在室温下, 超声提取 1.0 h 后分离提取液; 残留物再次加入 4.50 mL 二氯甲烷重复提取一次, 合并两次提取液并定容至 10.00 mL, 用 0.22 μm 尼龙滤膜过滤后进样分析。

1.4 仪器条件

气相色谱条件: 进样口温度: 300 ℃; 分流进样, 分流比 20:1; 载气: 氦气, 柱流量 1.0 mL/min; 进样量: 1 μL, 柱温箱升温程序: 初始温度: 80 ℃, 维持 3 min, 升温速率为 20 ℃/min, 升至 260 ℃, 保持 6 min, 后运行 320 ℃, 维持 5 min。

质谱条件: 电离方式: 电子轰击离子源, 离子源温度: 230 ℃; 电子能量: 70 eV, 碰撞气: 氮气; 溶剂延迟 3.5 min; 扫描模式: 多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)。质谱参数设置条件如表 1 所示。

表 1 质谱参数设置条件

Table 1 Parameter condition of mass spectrometry

化合物	保留时间/min	定量离子对(碰撞能量/eV)	定性离子对(碰撞能量/eV)
UV-O	10.32	120.0→65.0 (20)	120.0→39.1 (30)
UV-P	11.41	225.1→93.1 (25)	225.1→66.0 (45)
UV-326	13.94	300.0→119.0 (20)	300.0→91.0 (45)

1.5 数据处理

本研究中所有分析测试结果均基于 3 次独立样品测试, 样品检测数据首先经 Agilent 配套的 Mass Hunter B.09.00 工作软件采集与计算, 最后采用 Origin 2018 完成各类图表的绘制。

2 结果与分析

2.1 色谱条件的优化

考虑到目标物 UV-P、UV-326 以及内标 UV-O 的极性中等偏小, 本研究选用惰性非极性色谱柱 DB-5MS UI 进行分析测试, 通过对程序升温等色谱条件进行优化, 使内标以及两种目标物达到良好分离, 它们的总离子流图如图 2 所示, 其中内标 UV-O 的保留时间为 10.32 min, 目标物

UV-P 的保留时间为 11.41 min, 目标物 UV-326 的保留时间为 13.94 min。

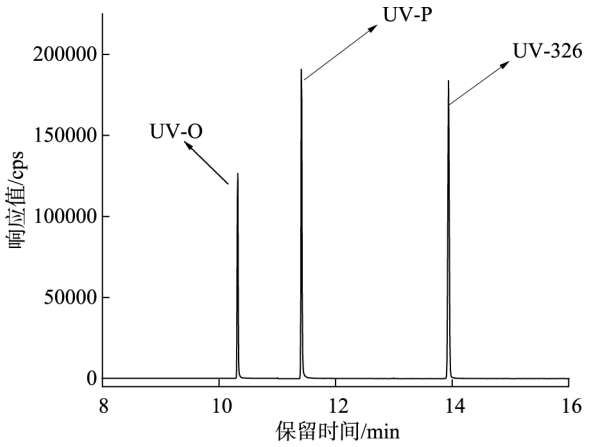


图 2　UV-O、UV-P 和 UV-326 在优化条件下的色谱图

Fig.2　Chromatograms of UV-O, UV-P and UV-326 under optimized conditions

2.2　质谱条件优化

首先选择全扫描模式对目标物的混标溶液(含内标)上机分析, 以丰度最大的质荷比作为母离子, 内标 UV-O 的母离子为 120.0; UV-P 的母离子为 225.1, UV-326 的母离子为 300.0。

然后选择子离子扫描模式, 上述 3 个质核比作为前级母离子, 设置 5、20、35、50 eV 4 个碰撞能量, 找出它们最佳子离子。由质谱分析结果如图 3, UV-O 的丰度最高的两个子离子是 39.1 和 65.0; UV-P 丰度最高的两个子离子是 93.1 和 66.0; UV-326 丰度最高的两个子离子的是 119.0 和 91.0。

最后采用 MRM 模式, 设置好母离子及子离子参数, 优化碰撞能量, 选定范围为 5~55 eV, 每隔 5 eV 采集一次数据; 根据提取不同碰撞能量的峰面积结果进行比较确定最佳碰撞能量。对于内标 UV-O, 离子对 *m/z* 120.0→65.0 的最佳碰撞能量为 20 eV, 离子对 *m/z* 120.0→39.1 的最佳碰撞能量为 30 eV[图 4(a)]; 对于目标物 UV-P, *m/z* 225.1→93.1 的最佳碰撞能量为 25 eV, *m/z* 225.1→66.0 的最佳碰撞能量为 45 eV[图 4(b)]; 对于目标物 UV-326, *m/z* 300.0→119.0 的最佳碰撞能量为 20 eV, *m/z* 300.0→91.0 的最佳碰撞能量为 45 eV[图 4(c)]。

2.3　定量方法的选择

根据优化好的仪器条件, 采用外标法对阳性样品进行检测以及加标回收验证实验, 研究结果显示在外标法定量条件下, 两种紫外线残留量检测的添加回收率为 115.1%~142.4%, 可能是 PF/PP 材质中, 由于加入了大量的

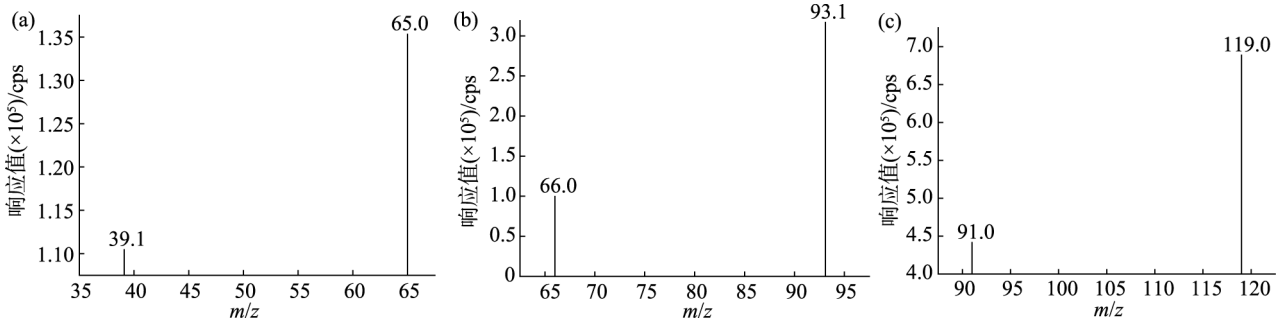


图 3　化合物 UV-O (a)、UV-P (b)和 UV-326 (c)的二级质谱图

Fig.3　Secondary mass spectrum of compound UV-O (a), UV-P (b) and UV-326 (c)

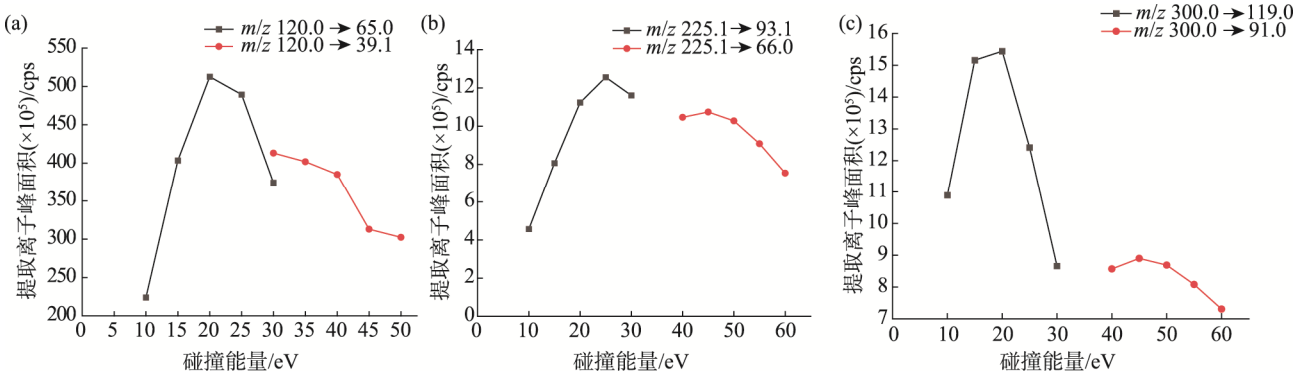


图 4　UV-O (a)、UV-P (b)、UV-326 (c)的碰撞能量优化图

Fig.4　Optimized collision energy diagrams of UV-O (a), UV-P (b) and UV-326 (c)

PF 作为基材，它们中有各类纤维素成分以及一些有机质组分，基质比传统塑料复杂，使得苯并三氮唑类物质的检测受基质效应影响显著[27]，最终本研究采用内标法进行定量，选择与目标物含有相似官能团的 UV-O 作为内标，在样品粉碎后溶剂提取前加入样品中，采用最佳条件进行样品前处理及检测分析，能够满足要求。

2.4 样品前处理的优化

2.4.1 提取溶剂的优化

准确称取 0.5 g 冷冻粉碎后的样品于 20 mL 顶空瓶中作为一份测试样，考查最佳提取溶剂，向每份试样中分别准确加入 5.00 mL 的正己烷、乙酸乙酯、乙醇、二氯甲烷，每个溶剂分别做 3 个平行，然后用顶空瓶盖封住盖口，同时放入超声仪中室温超声 15 min，超声完成后用 0.22 μm 尼龙滤膜过滤后上机检测，单次提取初测结果表明(图 5)，针对目标物 UV-P 和 UV-326 的最佳提取溶剂均为二氯甲烷。可能原因是目标物的极性较小，易溶于二氯甲烷，且二氯甲烷对 PF/PP 的渗透性比正己烷更强，因此能够更有效地将目标物从 PF/PP 中提取出来。

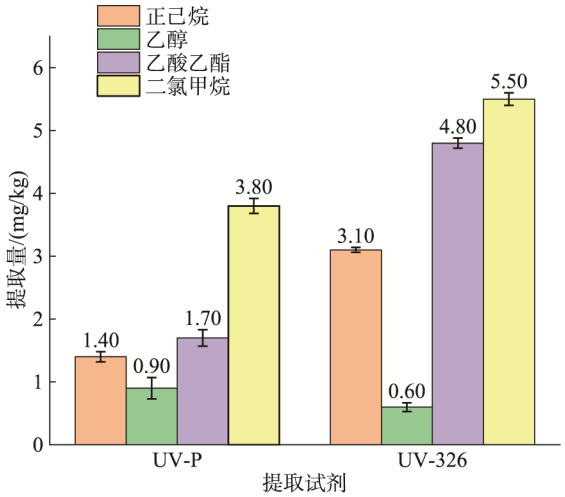


图 5 4 种溶剂对 UV-P 及 UV-326 的残留量提取效果

Fig.5 Extraction effects for the residue level of 4 kinds of solvents on UV-P and UV-326

2.4.2 提取时间及提取次数的优化

由于二氯甲烷的沸点较低，因此考虑在室温下进行超声提取。为了优化提取时间，本研究称取 4 份粉碎后的样品 0.5 g 于 20 mL 顶空瓶中，加入 5.00 mL 二氯甲烷，封盖。分别在 15、30、45、60 min 的时间下室温提取，将提取液用 0.22 mm 尼龙滤膜过滤后上机检测。实验结果表明(图 6)，随着检测时间的增加，残留量结果逐渐增大，增加幅度越来越小，但尚未达到平衡；考虑到时间效率以及操作简便性，本研究最终选择 60 min 为提取时间，通过优化提取次数来使目标物提取完全。

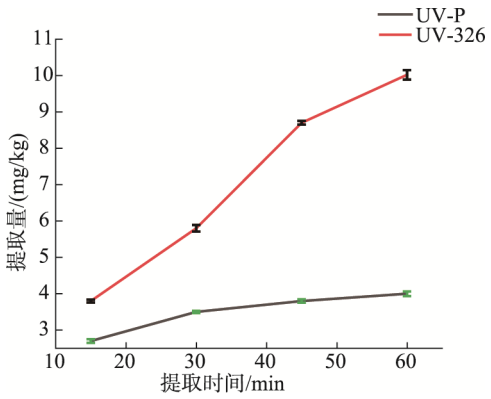


图 6 提取时间对 UV-P 及 UV-326 的残留量提取影响

Fig.6 Extraction effects for the residue level of extraction time on UV-P and UV-326

准确称取 0.5 g 样品，加入 5 mL 二氯甲烷溶液，封盖后室温超声提取 60 min，分离提取溶液并洗涤定容后进行上机检测；残留物重复上述提取、检测操作 3 次。研究结果如表 2 所示，UV-P 在第 2 次提取量占总残留量的 3.5%，第 3 次提取量已小于 1%；UV-326 在第二次开始基本提取完全，因此本研究确定最佳提取次数为 2 次。

表 2 不同提取次数下目标物残留量结果

Table 2 Results of residual level in target substances with different extraction times

提取次数	目标物提取量/(mg/kg)	
	UV-P	UV-326
1	3.97±0.15	10.02±0.33
2	0.14±0.02	0.10±0.02
3	0.04±0.01	ND
4	ND	ND

注: ND 为未检出，表 6 同。

2.5 方法学考察

2.5.1 线性关系、检出限与定量限

采用二氯甲烷为溶剂，将混标液逐级稀释成 0.05、0.10、0.20、0.50、1.00、2.00、2.50、5.00 mg/L 的混合标准工作液 10.00 mL(定容前移入 50 μL 的 100 mg/L 内标)，各取 1 mL 于棕色进样小瓶中上机待测。以质量浓度为横坐标(X, mg/L)，目标物的定量离子峰面积与内标的定量离子峰面积比值为纵坐标(Y)进行线性分析，工作曲线在 0.05~5.00 mg/L 范围线性良好，决定系数均大于 0.99。通过配制更低浓度标准溶液进行检测，分别以 3 倍和 10 倍信噪比，确定检出限和定量限。结果表明 UV-P 和 UV-326 的检出限均为 0.03 mg/kg，定量限为 0.10 mg/kg(表 3)。本方法的检出限较低，远远小于迁移限量要求，因此可以用于快速筛查实验。

表 3　线性方程、决定系数(r^2)、检出限和定量限
Table 3　Linear equations, determination coefficient (r^2), limits of detection and limits of quantitation

化合物	标准曲线方程	r^2	LODs/(mg/kg)	LOQs/(mg/kg)
UV-P	Y=1.304X+0.0579	0.9966	0.03	0.10
UV-326	Y=1.354X+0.0415	0.9935	0.03	0.10

注: 检出限(limit of detection, LOD); 定量限(limit of quantitation, LOQ)。

2.5.2　准确度与精密度

根据 GB 31604.59—2023《食品安全国家标准 食品接触材料及制品 化学分析方法验证通则》的要求, 对本方法进行阳性样品重复性验证(n=8), 采用最佳样品前处理及仪器检测方法, 对阳性样品进行 8 次独立重复性测定, 结果如表 4 所示, 采用本方法对阳性样品中两种目标物进行重复检测实验, RSDs 小于 10%, 重复性良好。

为了进一步验证方法准确性, 采用上述阳性样品进行添加回收率实验, 准备 6 份平行样品, 在冷冻粉碎后, 溶剂提取前, 分别添加低、中、高 3 个水平下添加目标物(n=6)。低浓度下 UV-P 添加量为 2.00 mg/kg, UV-326 添加量为 4.00 mg/kg; 中浓度下 UV-P 添加量为 4.00 mg/kg, UV-326 添加量为 8.00 mg/kg; 高浓度下 UV-P 添加量为 8.00 mg/kg, UV-326 添加量为 16.0 mg/kg。加入内标后, 采用最佳前处理及仪器条件进行检测, 考察添加回收率和 RSDs。结果如表 5 所示, 回收率在 89.2%~102.1%之间, RSDs 在 1.9%~5.6%之间, 符合分析方法的规定要求。所有结果均表明, 该方法回收率良好、精密度符合分析测试要求。

表 4　重复性验证(n=8)
Table 4　Repetitive verification (n=8)

化合物	平行样测定结果/(mg/kg)								平均值/(mg/kg)	RSDs/%
	1	2	3	4	5	6	7	8		
UV-P	3.88	3.98	4.02	3.88	3.93	3.75	3.79	3.68	3.86	3.0
UV-326	7.31	7.50	7.44	7.36	7.22	6.87	7.15	6.95	7.23	3.1

注: 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)。

表 5　方法的回收率及精密度试验(n=6)
Table 5　Tests for the recovery rate and precision of the method (n=6)

化合物	低		中		高	
	回收率/%	RSDs/%	回收率/%	RSDs/%	回收率/%	RSDs/%
UV-P	91.0	3.8	100.2	1.9	94.2	5.6
UV-326	89.2	3.8	97.1	4.5	102.1	4.2

2.6　实际样品检测

本方法采用内标法进行定量, 可以消除残留量检测时的复杂基质因素, 提高了检测的准确性。从市场上购买 5 种颜色的同一类型不同批次可降解 PF/PP 碗各 5 批, 按照本研究的最佳检测条件进行测试, 每个样品做 3 个平行, 检测结果见表 6。由实际样品的检测结果可知: 市场上的新型 PF/PP 食品接触产品中 UV-P 和 UV-326 的检出率为 80%, 残留量检出率较高, 具有一定的迁移概率; 检出样品中, UV-P 的残留量浓度在 2.04~8.68 mg/kg 之间, UV-326 的残留量浓度在 2.12~15.39 mg/kg 范围, 可见 PF/PP 中 UV-326 整体残留水平高于 UV-P。

表 6　实际样品检测结果
Table 6　Testing results of market samples

样品编号	目标物含量/(mg/kg)	
	UV-P	UV-326
1#	3.86	7.23
2#	4.11	10.12
3#	6.25	9.33
4#	8.56	15.28
5#	4.88	12.35
6#	ND	ND
7#	ND	ND
8#	ND	ND
9#	ND	ND
10#	ND	ND
11#	3.03	4.86
12#	2.56	4.61
13#	3.98	7.06
14#	3.62	6.74
15#	2.04	2.12
16#	2.75	3.87
17#	5.42	12.05
18#	8.68	15.39
19#	2.28	4.32
20#	5.36	9.98
21#	4.78	11.67
22#	3.86	9.35
23#	3.66	8.58
24#	4.26	10.88
25#	5.15	12.54

3 结 论

本研究采用 GC-MS/MS, 以 UV-O 为内标, 建立了 PF/PP 食品接触材料中 2 种苯并三氮唑类紫外线吸收剂的残留量检测方法, 该方法具有前处理操作简便、检出限低以及准确度高的优点。该方法能够为国家监管部门和企业对新型可降解塑料样品中苯并三氮唑类紫外线吸收剂的检测及管控提供技术支撑。利用该检测方法对市场上的 25 批 PF/PP 食品接触材料进行筛查检测, 结果表明, UV-P 和 UV-326 的残留量检出率较高, 检出浓度在 2.04~15.39 mg/kg 之间, 可进一步关注其在不同食品模拟物中的迁移水平; 此外, 应持续关注其他新型未授权紫外线吸收剂及工业级紫外线吸收剂在植物纤维/塑料食品接触材料中的使用情况; 同时可利用非靶向筛查技术, 对新型植物纤维塑料中其他新型添加剂及紫外线吸收剂产生的 NIAS 成分进行识别鉴定。

参考文献

[1] Haider T P, Völer C, Kramm J, et al. Plastics of the future? the impact of biodegradable polymers on the environment and on society [J]. Angewandte Chemie International Edition, 2019, 58(1): 50–62.

[2] Pedersen A F, Meyer D N, Petriv A V, et al. Nanoplastics impact the zebrafish (*Danio rerio*) transcriptome: associated developmental and neurobehavioral consequences [J]. Environmental Pollution, 2020, 266: 115090.

[3] 孙李炜, 彭友雪, 雷文, 等. 熔融沉积法 3D 打印天然植物纤维/可降解塑料复合材料的进展[J]. 塑料, 2024, 53(4): 139–144, 165.
Sun Liwei, Peng Youxue, Lei Wen, et al. Progress in 3D printing of natural plant fiber/degradable plastic composite by melting deposition [J]. Plastics, 2024, 53(4): 139–144, 165.

[4] 金玉杰, 王康, 李祎. 农作物秸秆改性可降解聚合物复合材料研究进展[J]. 塑料包装, 2025, 35(4): 29–33.
Jin Yujie, Wang Kang, Li Wei. Progress of research on degradable polymer composites modified by crop straws [J]. Plastics Packaging, 2025, 35(4): 29–33.

[5] 张蕊, 龚先政. 可降解塑料的研究现状及未来展望[J]. 河南化工, 2025, 42(11): 1–7.
Zhang Rui, Gong Xianzheng. Research status and future prospects of degradable plastics [J]. Henan Chemical Industry, 2025, 42(11): 1–7.

[6] 刘子溱, 王俊丽, 周晓芳. 生物可降解塑料包装材料的降解性能研究[J]. 塑料包装, 2025, 35(5): 7–9.
Liu Ziqin, Wang Junli, Zhou Xiaofang. Research on the degradation performance of biodegradable plastic packaging materials [J]. Plastics Packaging, 2025, 35(5): 7–9.

[7] 陶强, 吴雄杰, 朱东波, 等. 食品接触用生物可降解塑料吸管的安全性分析[J]. 塑料工业, 2025, 53(5): 120–125.
Tao Qiang, Wu Xiongjie, Zhu Dongbo, et al. Safety analysis of biodegradable plastic straws for food contact [J]. China Plastics Industry, 2025, 53(5): 120–125.

[8] 任照芳, 谭愫蔚, 丘尽花, 等. 植物纤维在食品接触用塑料材料中的应用及合规管理[J]. 包装工程, 2025, 46(15): 100–109.
Ren Zhaofang, Tan Suwei, Qiu Jinhua, et al. Application and compliance management of plant fibers in food contact plastics [J]. Packaging Engineering, 2025, 46(15): 100–109.

[9] 赵莹, 陈文, 齐明阳, 等. 生物可降解塑料在食品包装中的应用和风险浅析[J]. 塑料包装, 2024, 34(6): 5–8.
Zhao Ying, Chen Wen, Qi Mingyang, et al. An analysis of the applications and risks of biodegradable plastics in food packaging [J]. Plastics Packaging, 2024, 34(6): 5–8.

[10] 孙仁悦, 金莉莉, 邹凯, 等. 可降解食品接触材料中三种新型增塑剂的迁移量检测方法及迁移规律研究[J]. 塑料科技, 2024, 52(8): 132–137.
Sun Renyue, Jin Lili, Zou Kai, et al. Study on the determination method and the migration rules of three new plasticizers in degradable food contact material [J]. Plastics Science and Technology, 2024, 52(8): 132–137.

[11] 阮芳涛, 吴浩, 朱金伟, 等. TEOS 改性和长秸秆纤维取向对 PP/SF 复合材料性能的影响[J]. 中国塑料, 2024, 38(2): 15–19.
Ruan Fangtao, Wu Hao, Zhu Jinwei, et al. Effect of TEOS modification and long straw fiber orientation on properties of PP/SF composites [J]. China Plastics, 2024, 38(2): 15–19.

[12] 林宇, 余佳明, 韩梦瑶, 等. PP/玉米秸秆复合材料制备工艺及性能研究[J]. 塑料科技, 2024, 52(8): 89–94.
Lin Yu, Yu Jiaming, Han Mengyao, et al. Study on the preparation process and properties of PP/corn straw composites [J]. Plastics Science and Technology, 2024, 52(8): 89–94.

[13] 孙庆辉, 史会全. 改性秸秆/PP 木塑复合材料性能研究及应用[J]. 山西建筑, 2023, 49(10): 132–135.
Sun Qinghui, Shi Huiquan. Study on properties and application of modified straw/PP wood plastic composites [J]. Shanxi Architecture, 2023, 49(10): 132–135.

[14] 侯人鸾, 何春霞, 薛娇, 等. 麦秸秆粉/PP 木塑复合材料紫外线加速老化性能[J]. 复合材料学报, 2013, 30(5): 87–93.
Hou Renluan, He Chunxia, Xue Jiao, et al. UV accelerated aging properties of whreat straw/PP wood plastic composite [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2013, 30(5): 87–93.

[15] 刘芹, 程建雯, 王亚琴, 等. 改性小麦秸秆粉/聚丙烯复合材料的性能研究[J]. 高分子通报, 2021(7): 58–64.
Liu Qin, Cheng Jianwen, Wang Yaqin, et al. Properties of modified wheat straw powder/polypropylene composites [J]. Polymer Bulletin, 2021(7): 58–64.

[16] 李婷, 陈铭哲, 陈旭明, 等. 食品用植物纤维塑料产品安全风险研究[J]. 塑料包装, 2022, 32(6): 9–14.
Li Ting, Chen Mingzhe, Chen Xumimg, et al. Research on the safety risks of fiber plants plastics productsfor food [J]. Plastics Packaging, 2022, 32(6): 9–14.

[17] 张宁, 黄荣, 周淑美. 食品用可降解塑料制品风险分析[J]. 绿色包装研究·技术, 2023, 4: 31–33.
Zhang Ning, Huang Rong, Zhou Shumei. Risk analysis of biodegradable plastic products for food use [J]. Green Packaging Research Technology, 2023, 4: 31–33.

[18] 张继晔, 黄莹, 李志彤, 等. 苯并三唑紫外光稳定剂对斑马鱼成鱼的免疫毒性[J]. 生态毒理学报, 2023, 18(3): 285–295.
Zhang Jiye, Huang Ying, Li Zhitong, et al. Immunotoxicity of benzotriazole ultraviolet stabilizers in adult zebrafish (*Danio rerio*) [J].

Asian Journal of Ecotoxicology, 2023, 18(3): 285–295.

[19] Sondermann N C, Momin A A, Arold S T, et al. Benzotriazole UV stabilizers disrupt epidermal growth factor receptor signaling in human cells [J]. Environment International, 2024, 190: 108886.

[20] 王遥雪, 魏鑫, 赵素敏, 等. 苯并三唑类紫外吸收剂检测技术的研究进展[J]. 中国口岸科学技术, 2025, 7(8): 34–41.
Wang Yaoxue, Wei Xin, Zhao Sumin, et al. Research progress on detection technologies of be-nzotriazole ultraviolet absorbers [J]. China Port Science and Technology, 2025, 7(8): 34–41.

[21] 朱晓艳, 史红兰, 保琦蓓, 等. 高效液相色谱法测定食品接触材料中 14 种紫外线吸收剂迁移量[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(13): 118–126.
Zhu Xiaoyan, Shi Honglan, Bao Qibei, et al. Determination of the migration of 14 kinds of ultraviolet absorbers in food contact materials by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(13): 118–126.

[22] 崔萍, 曹庆丰, 丁逸梅. 避光型聚氨酯输液器中紫外线吸收剂 UV-P 的溶出性质研究[J]. 塑料科技, 2024, 52(8): 126–131.
Cui Ping, Cao Qingfeng, Ding Yimei. Study on the migration properties of ultraviolet absorbent UV-P in light-resistant TPU infusion device [J]. Plastics Science and Technology, 2024, 52(8): 126–131.

[23] 王磊, 吴越, 田冬. 超声提取-高效液相色谱法测定化妆品中 5 种苯并三唑类紫外线吸收剂[J]. 日用化学工业, 2023, 53(1): 109–114.
Wang Lei, Wu Yue, Tian Dong. Determination of five benzotriazole UV absorbers in cosmetics by ultrasonic extraction and high performance liquid chromatography [J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2023, 53(1): 109–114.

[24] 李若思, 危玲, 刘嘉颖. 超高效液相色谱-四极杆-静电场轨道阱高分辨质谱法检测婴幼儿配方奶粉中苯并三唑类紫外线吸收剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(8): 184–190.
Li Ruosi, Wei Ling, Liu Jiaying. Determination of benzotriazole ultraviolet absorbers in infant formula milk powder by ultra performance liquid chromatography-quadrupoleelectrostatic field orbitrap high resolution mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(8): 184–190.

[25] 勾新磊, 池海涛, 赵新颖, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定食品接触塑料中 3 种苯并三唑类紫外吸收剂的特定迁移量[J]. 分析仪器, 2018, 1: 178–183.
Gou Xinlei, Chi Haotao, Zhao Xinying, et al. Simultaneous determination of specific migration amounts of three benzotriazole ultraviolet stabilizers in food contact plastic by ultra performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry [J]. Analytical Instrumentation, 2018, 1: 178–183.

[26] 史红兰, 翁江赍, 勾新磊, 等. 橄榄油食品模拟物中 14 种紫外线吸收剂迁移量的测定[J]. 包装工程, 2025, 46(15): 122–131.
Shi Honglan, Weng Jianglai, Gou Xinlei, et al. Determination of migration of 14 ultraviolet absorbers in olive oil simulant [J]. Packaging Engineering, 2025, 46(15): 122–131.

[27] 王月, 熊大伟, 贺祥珂, 等. 基质匹配-气相色谱质谱法快速测定聚甲基丙烯酸甲酯塑料中 6 种苯并三唑类紫外线吸收剂含量[J]. 塑料科技, 2024, 52(12): 102–107.
Wang Yue, Xiong Dawei, He Xiangke, et al. Rapid determination of content of six kinds of benzotriazole ultraviolet absorbers in polymethyl methacrylate plastics by matrix matching-gas chromatography mass spectrometry [J]. Plastics Science and Technology, 2024, 52(12): 102–107.

[28] 雷承霖, 龚艳, 闻胜, 等. 固相萃取结合气相色谱-三重四极杆串联质谱法测定水产品中 11 种苯并三唑类紫外吸收剂[J]. 食品科学, 2025, 16(9): 273–280.
Lei Chenglin, Gong Yan, Wen Sheng, *et al*. Solid-phase extraction combined with gas chromatography-triple quadrupole tandem mass spectrometry for the determination of 11 benzotriazole ultraviolet stabilizers in aquatic products [J]. Food Science, 2025, 16(9): 273–280.

[29] 洪佳, 吴玫晓, 董婷. 气相色谱质谱法测定汽车涂料中的苯并三唑类紫外线吸收剂[J]. 中国涂料, 2017, 32(4): 67–70.
Hong Jia, Wu Meixiao, Dong Ting. Determination of benzotriazole ultraviolet absorbers in automotive coatings by gas chromatography/mass spectrometry [J]. China Coatings, 2017, 32(4): 67–70.

[30] 邓钰雯, 杨倩玲, 高丽荣, 等. 气相色谱-三重四极杆质谱法测定大气细颗粒物中 15 种有机紫外线吸收剂[J]. 分析测试学报, 2025, 44(8): 1651–1658.
Deng Yuwen, Yang Qianling, Gao Lirong, *et al*. Determination of 15 organic ultraviolet filters in ambient particulate matter using gas chromatography-triple quadrupole mass spectrometry [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2025, 44(8): 1651–1658.

(责任编辑: 安香玉　曹岱琳)